



Мартынов И.Д., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Петровский С.А.

Эффективность транскраниальной магнитной стимуляции в лечении профессиональной полинейропатии

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия

Введение. При профессиональных полинейропатиях избыточная афферентная импульсация наряду с сенсорными и вегетативными нарушениями может приводить к развитию очагов возбуждения в различных отделах центральной нервной системы. Клиническое значение этого явления в настоящее время недостаточно изучено.

Цель исследования — оценка клинических эффектов транскраниальной магнитной стимуляции дорсолатеральной зоны префронтальной коры у горнорабочих с профессиональной полинейропатией.

Материалы и методы. Были обследованы 36 работников угледобывающих предприятий Кузбасса с установленным диагнозом «полинейропатия верхних конечностей», средний возраст $50,2 \pm 3,7$ года, средний стаж работы — $23,4 \pm 3,5$ года. Для подтверждения полинейропатии исследовали параметры сенсорного проведения по нервам верхних конечностей с помощью электронейромиографии, определяли скорость распространения возбуждения по срединным и локтевым нервам. Оценку вегетативной регуляции проводили с помощью спектрального анализа вариабельности ритма сердца. Функциональное состояние головного мозга определяли с помощью электроэнцефалограммы.

Результаты. Пациенты предъявляли жалобы на боли в конечностях, онемение и парестезии. По данным электронейромиографии наблюдалось снижение скорости распространения возбуждения по соматическим сенсорным нервам верхних конечностей, снижение мощности колебаний во всех частотных диапазонах спектра вариабельности ритма сердца, более выраженное в диапазоне высоких частот. Проводили транскраниальную магнитную стимуляцию зоны префронтальной коры правого полушария стимулом с частотой 1 Гц в течение 5 мин (курс — 5 процедур), после чего наблюдали статистически значимое увеличение средней скорости распространения возбуждения по соматическим сенсорным нервам верхних конечностей, повышение спектральных показателей вариабельности ритма сердца. Увеличение индекса альфа-ритма на электроэнцефалограмме свидетельствовало об усилении интегративной деятельности мозга, обеспечивающей широкий круг регуляторных процессов. Пациенты отмечали снижение интенсивности болей и выраженности чувствительных нарушений, улучшение общего самочувствия.

Ограничения исследования. Исследование ограничено числом горнорабочих с установленным диагнозом «полинейропатия верхних конечностей», без нарушений сердечного ритма, структурных повреждений и металлоимплантатов головного мозга.

Заключение. Транскраниальная магнитная стимуляция дорсолатеральной зоны префронтальной коры эффективна в коррекции сенсорных и вегетативных нарушений при профессионально обусловленной полинейропатии за счёт активации надсегментарных вегетативных центров, участвующих в системных адаптационных процессах. Перспективно дальнейшее расширение перечня мишеней стимуляции и создание эффективных протоколов применения транскраниальной магнитной стимуляции.

Ключевые слова: транскраниальная магнитная стимуляция; полинейропатия; профессиональное заболевание

Соблюдение этических стандартов. Исследование соответствует этическим стандартам биоэтического комитета ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами надлежащей клинической практики», утверждёнными приказом Министерства здравоохранения РФ № 200н от 1 апреля 2016 г.

Для цитирования: Мартынов И.Д., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Петровский С.А. Эффективность транскраниальной магнитной стимуляции в лечении профессиональной полинейропатии. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(4): 351–355. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-4-351-355> <https://elibrary.ru/ucawju>

Для корреспонденции: Мартынов Илья Дмитриевич, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк. E-mail: mart-nov@yandex.ru

Участие авторов: Мартынов И.Д. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста; Ямщикова А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, редактирование; Флейшман А.Н. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Петровский С.А. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 02.02.2023 / Принята к печати: 24.03.2023 / Опубликовано: 29.05.2023

Ilya D. Martynov, Anastasia V. Yamshchikova, Arnold N. Fleishman, Stanislav A. Petrovskiy Efficiency of the transcranial magnetic stimulation in the treatment of occupational polyneuropathy

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

Introduction. In occupational polyneuropathies, along with sensory and autonomic disorders, excessive sensory input can lead to the development of excitation foci in various parts of the central nervous system, clinical significance of which is currently insufficiently studied.

The aim of the study was the evaluation of the clinical effects of the transcranial magnetic stimulation in the dorsolateral zone of the prefrontal cortex in mine workers with occupational polyneuropathy.

Materials and methods. There were examined thirty six workers of coal mining enterprises of Kuzbass with a proven diagnosis of polyneuropathy of the upper extremities, the average age was 50.2 ± 3.7 years, and the average work experience was 23.4 ± 3.5 years. To confirm polyneuropathy, the parameters of sensory conduction along the nerves of the upper extremities were investigated using electroneuromyography, nerve conduction velocity along the median and ulnar nerves was determined. The assessment of autonomic control was carried out using spectral analysis of heart rate variability. The functional brain status was determined by an electroencephalogram.

Results. The patients complained of pain in the extremities, numbness and paresthesia. According to electroneuromyography, there was a decrease in the nerve conduction velocity along the somatic sensory nerves of the upper extremities, a reduction in the power of oscillations in all frequency ranges of the heart rate

variability spectrum, which was more pronounced in the high frequency range. Transcranial magnetic stimulation of the prefrontal cortex zone of the right hemisphere was performed with a stimulus with a frequency of 1 Hz for 5 min, over a course of 5 procedures, after which a statistically significant increase in the average nerve conduction velocity along the somatic sensory nerves of the upper extremities, and a rise in the spectral parameters of the heart rate variability were observed. An increase in the alpha rhythm index at the electroencephalogram indicated an amplification of the integrative brain activity, which provided a wide range of regulatory processes. The patients noted a decrease in the intensity of pain, the severity of sensitive disorders, and improvement in general well-being.

Limitations. The study is limited to the number of mine workers with a proven diagnosis of upper extremity polyneuropathy, without cardiac arrhythmias, structural damage and metal implants in the brain.

Conclusion. Transcranial magnetic stimulation of the dorsolateral zone of the prefrontal cortex is effective in correcting sensory and autonomic disorders in occupationally caused polyneuropathy by activating suprasegmentary autonomic centers involved in systemic adaptation processes. It is promising to further expand the list of stimulation targets and create effective protocols for the use of transcranial magnetic stimulation.

Keywords: transcranial magnetic stimulation; polyneuropathy; occupational disease

Compliance with ethical standards. The study complies with the ethical standards of the Bioethical Committee at the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, elaborated in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association “Ethical Principles for Conducting Research Involving Humans” as amended in 2013 and “Rules of Clinical Practice”, approved by Order of the Ministry of Health in the Russian Federation No. 200n from 01/04/2016.

For citation: Martynov I.D., Yamshchikova A.V., Fleishman A.N., Petrovskiy S.A. Efficiency of the transcranial magnetic stimulation in the treatment of occupational polyneuropathy. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(4): 351-355. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-4-351-355> <https://elibrary.ru/ucawju> (In Russ.)

For correspondence: Ilya D. Martynov, MD, PhD, senior researcher of the applied neurophysiology laboratory, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation. E-mail: mart-nov@yandex.ru

Information about authors:

Martynov I.D., <https://orcid.org/0000-0001-5098-9185>
Fleishman A.N., <https://orcid.org/0000-0002-2823-4074>

Yamshchikova A.V., <https://orcid.org/0000-0002-6609-8923>
Petrovskiy S.A., <https://orcid.org/0000-0002-1337-0989>

Contribution: Martynov I.D. – concept and design of the study, collection and processing of material, writing the text; Yamshchikova A.V. – concept and design of the study, collection and processing of material, editing; Fleishman A.N. – concept and design of the study, editing; Petrovskiy S.A. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: February 2, 2022 / Accepted: March 24, 2023 / Published: May 29, 2023

Введение

Полинейропатия является одним из основных синдромов вибрационной болезни и характеризуется ранним вовлечением вегетативных и сенсорных волокон. Клинические проявления (боль, онемение, вегетативные нарушения) значительно ухудшают качество жизни пациентов и снижают трудоспособность, а потому требуют поиска новых современных способов коррекции. Воздействие вибрации вызывает повышение симпатического тонуса, вазоспазм, а также нарушение автономной регуляции на уровне надсегментарных вегетативных центров и ретикулярной формации ствола головного мозга. В ответ на избыточную афферентную импульсацию рефлекторные реакции могут приводить к развитию очагов возбуждения в различных отделах центральной нервной системы [1].

Для исследования функции соматических нервов широко используется электронейромиография (ЭНМГ). Изменения вегетативной регуляции в настоящее время можно определить с помощью спектрального анализа вариабельности ритма сердца (ВРС). Перспективной методикой является транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС), позволяющая создать магнитное поле высокой плотности для индукции электрического поля внутри коры головного мозга, способного деполяризовать нейроны [2]. ТМС применяется в клинической практике с диагностической и терапевтической целями и способствует увеличению скорости проведения по соматическим сенсорным нервам [3]. Научный интерес представляет исследование эффектов ТМС в отношении активности надсегментарных вегетативных центров, оценка их влияния на течение профессиональных полинейропатий. В ряде публикаций показана роль префронтальной коры в координации автономных нейроэндокринных и поведенческих реакций на стресс, роль лобной коры в усилении вагусного влияния на кардиодинамику [4, 5]. Активно изучаются эффекты воздействия на dorsolateralную зону префронтальной коры, тесно связанную со структурами лимбической системы, участвующими в вегетативной регуляции [6–8].

Цель исследования – оценка клинических эффектов транскраниальной магнитной стимуляции dorsolateralной зоны префронтальной коры у горнорабочих с профессиональной полинейропатией.

Материалы и методы

Были обследованы 36 лиц мужского пола, правши, работники угледобывающих предприятий Кузбасса с установленным диагнозом «полинейропатия верхних конечностей». Средний возраст обследованных – $50,2 \pm 3,7$ года, средний стаж работы – $23,4 \pm 3,5$ года. Критериями исключения из исследования являлись нарушения сердечного ритма, наличие кардиостимулятора, структурных повреждений головного мозга, металлоимплантатов головного мозга.

Добровольцы были проинформированы о протоколе исследования и дали письменное добровольное согласие на участие в исследовании. Исследование соответствует этическим стандартам биоэтического комитета ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами надлежащей клинической практики», утверждёнными приказом Министерства здравоохранения РФ № 200н от 1 апреля 2016 г.

Для подтверждения полинейропатии исследовали параметры сенсорного проведения по нервам верхних конечностей с помощью ЭНМГ, использовали двухканальный электронейромиограф «Нейро-ЭМГ-микро» (ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия). Определяли скорость распространения возбуждения (СРВ) по срединным и локтевым нервам с двух сторон с последующим расчётом средней скорости сенсорного проведения.

Оценку вегетативной регуляции выполняли с помощью спектрального анализа ВРС. Регистрировали пятиминутные участки кардиоритма электрокардиографом «Нейрософт-полиспектр 8Е» (ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия),

Показатели электронейромиографии, вариабельности ритма сердца и электроэнцефалографии до и после курса транскраниальной магнитной стимуляции дорсолатеральной зоны префронтальной коры у обследованных лиц с полинейропатией ($n = 36$), $Me (Q_1-Q_3)$ **Parameters of electroneuromyography, heart rate variability and electroencephalography before and after the course of transcranial magnetic stimulation of the dorsolateral zone of the prefrontal cortex in the subjects with polyneuropathy ($n = 36$), $Me (Q_1-Q_3)$**

Показатель Parameter	До проведения транскраниальной магнитной стимуляции Before performing of the transcranial magnetic stimulation	После проведения транскраниальной магнитной стимуляции After performing of the transcranial magnetic stimulation
Скорость распространения возбуждения, м/с Nerve conduction velocity, m/s	43.9 (40.3–46.7)	53.0 (45.7–51.3)*
Колебания в диапазоне очень низкой частоты, ms^2/Hz Oscillations in the very low frequency range, ms^2/Hz	29.4 (10.3–45.7)	89.8 (25.3–178.2)*
Колебания в диапазоне низкой частоты, ms^2/Hz Oscillations in the low frequency range, ms^2/Hz	9.1 (7.9–11.2)	17.5 (8.9–18.3)
Колебания в диапазоне высокой частоты, ms^2/Hz Oscillations in the high frequency range, ms^2/Hz	1.2 (0.2–3.7)	2.3 (0.8–6.3)*
Индекс альфа-ритма в отведениях O1 и O2, % Alpha rhythm index in O1 and O2 leads, %	22.4 (12.7–29.3)	46.7 (37.4–55.2)*

Примечание. * – статистически значимое различие показателей до и после воздействия по критерию Уилкоксона (при $p < 0,05$).

Note: * – statistically significant difference in the indices before and after the exposure according to the Wilcoxon test (at $p < 0.05$).

после обработки методом быстрого преобразования Фурье выделяли волны в следующих частотных диапазонах: Very Low Frequency (VLF) – диапазон очень низкой частоты (0,004–0,08 Гц), многокомпонентный показатель, включающий эрготропные влияния надсегментарных вегетативных центров; Low Frequency (LF) – диапазон низкой частоты (0,09–0,16 Гц), связанный с симпатическим вазомоторным влиянием; High Frequency (HF) – высокочастотные колебания (0,17–0,5 Гц), отражающие активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Использовались значения максимальной амплитуды спектральных пиков.

ТМС проводили с использованием магнитного стимулятора «Нейро-МС/Д» (ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия) с индуктором «восьмёрка» мощностью 2,2 Тл. Каждому пациенту устанавливали индивидуальные параметры оптимальной стимуляции. Для подбора интенсивности обследуемому находили точку стимуляции первичной моторной коры (M1), для чего накладывали поверхностные электроды на брюшко *m. abductor digiti minimi* кисти левой руки и проводили ТМС правого полушария головного мозга одиночными стимулами высокой интенсивности (примерно 80% от выходной мощности аппарата). Смещая индуктор относительно вертекса вправо примерно на 5 см по межурикулярной линии, находили точку, при стимуляции которой видимое сокращение левой *m. abductor digiti minimi* было наиболее выраженным. Затем определялся индивидуальный порог вызывания коркового моторного ответа путём уменьшения интенсивности стимула. Наименьшая интенсивность стимула, приводящая к сокращению *m. abductor digiti minimi*, принималась за порог вызывания ответа и соответственно за интенсивность ритмической стимуляции префронтальной коры. Далее находили точку стимуляции дорсолатеральной зоны префронтальной коры (F3) правого полушария с помощью программы F3-Beat и выставляли метку на индивидуальной шапочке. Стимуляцию этой зоны проводили в течение 5 мин, с частотой 1 Гц и с интенсивностью индивидуального порогового уровня коркового вызванного моторного ответа. Курс включал 5 процедур.

Для оценки функционального состояния головного мозга осуществляли регистрацию ЭЭГ с помощью цифрового 24-канального электроэнцефалографа Ates Medica Device Neurotravel (Италия) в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами. ЭЭГ записывали в 16 отведениях по международной системе 10–20, с частотой пропускания 70 Гц и постоянной времени 0,1 с. Анализ включал количественную оценку сигналов безартефактных фрагментов

ЭЭГ, с учётом амплитуды и частоты выделяли ритмы альфа-диапазона (частота 8–13 Гц, амплитуда до 100 мкВ), бета-диапазона (частота 14–30 Гц, амплитуда 5–30 мкВ), а также медленные ритмы тета-диапазона (частота 4–16 Гц), дельта-диапазона (частота 0,5–3 Гц). Оценивали симметричность ЭЭГ, совпадение частот, амплитуд и фаз ЭЭГ гомотопных областей обоих полушарий мозга, исключали острые эпиптиформные и пароксизмальные формы активности.

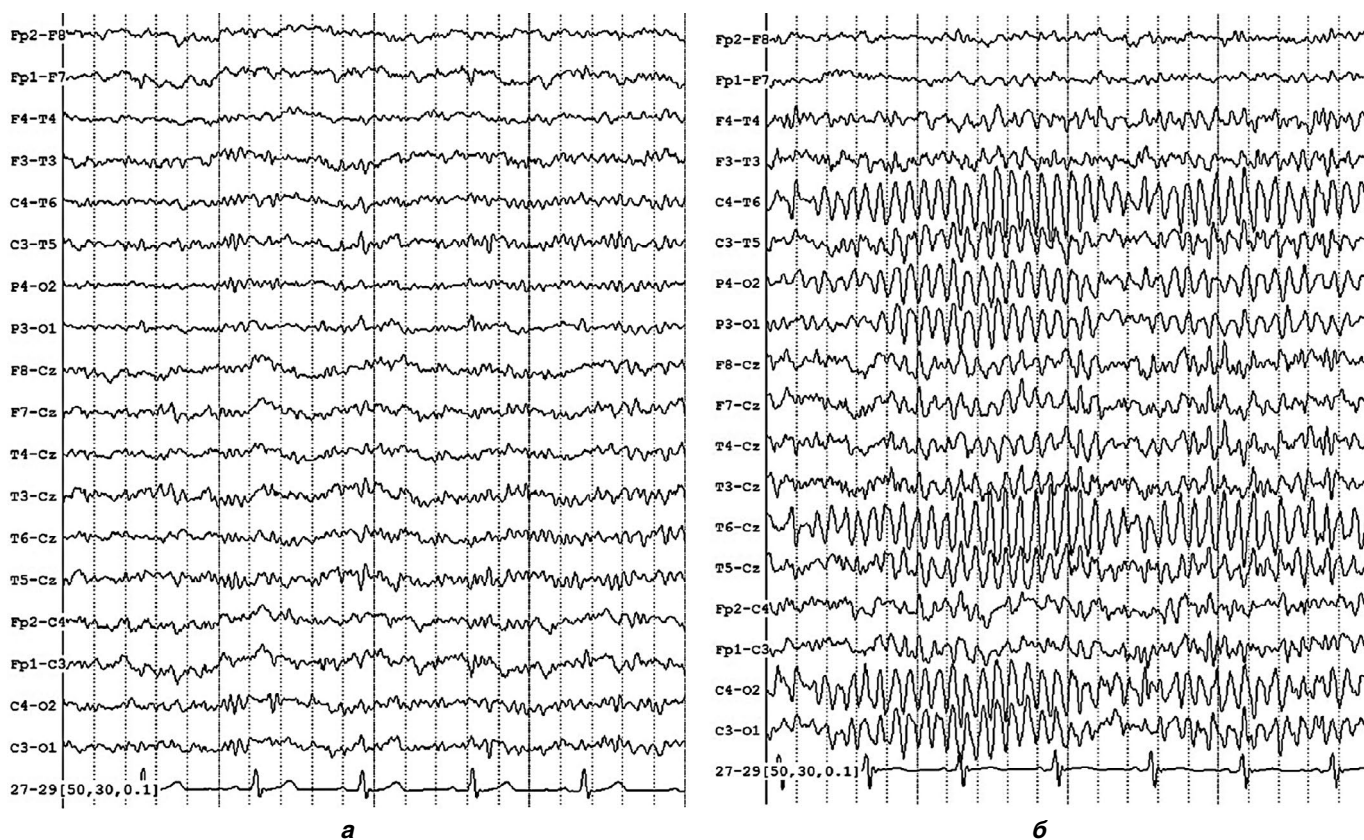
Данные были обработаны с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2003 и пакета статистических программ IBM SPSS Statistics 20. Значимость изменений показателей после пробы оценивали с помощью критерия Уилкоксона, данные представлены в виде медиан (Me) и квартилей (25 и 75%). Достоверными считались различия, уровень значимости которых отвечал условию $p < 0,05$.

Результаты

Обследованные нами пациенты с профессиональной полинейропатией предъявляли схожие жалобы на боли в конечностях, онемение, парестезии. При проведении ЭНМГ у горнорабочих наблюдалось снижение СРВ по соматическим сенсорным нервам верхних конечностей. Определялось снижение мощности колебаний во всех частотных диапазонах спектра ВРС, более выраженное в диапазоне высоких частот (HF). Данные представлены в таблице.

С помощью электроэнцефалограммы оценивали организацию мозговой деятельности и контролируемую роль префронтальной коры. Типичными изменениями на электроэнцефалограмме для обследованных горнорабочих с полинейропатией являлись умеренные общемозговые изменения в виде нерегулярности альфа-ритма, высокого удельного веса диффузной медленноволновой активности (преимущественно тета-диапазона), асинхронной бета-активности, сниженной реакции на функциональные пробы.

После проведения курса ТМС на зону префронтальной коры у обследуемых лиц с полинейропатией наблюдалось увеличение средней СРВ по соматическим сенсорным нервам верхних конечностей. Улучшение проводимости по периферическим нервам сопровождалось увеличением спектральных показателей ВРС. Анализ ЭЭГ после курса ТМС свидетельствовал об уменьшении общемозговых изменений: индекс альфа-ритма увеличился в среднем на 20–30% в сравнении с исследованиями до проведения ТМС. Устойчивых региональных изменений биоэлектрической активности головного мозга, эпиптиформной активности не определялось (см. рисунок).



Ирритативные изменения на электроэнцефалограмме у обследованных горнорабочих до проведения курса транскраниальной магнитной стимуляции (а), увеличение индекса альфа-ритма после стимуляции дорсолатеральной зоны префронтальной коры правого полушария (б).

Irritative changes at the electroencephalogram in the examined mine workers before the performing of transcranial magnetic stimulation (a), an increase in the alpha rhythm index after the stimulation of the dorsolateral zone of the prefrontal cortex of the right hemisphere (b).

Обсуждение

Наблюдаемое у горнорабочих с профессиональной полинейропатией снижение парасимпатического влияния, проявляющееся уменьшением мощности высокочастотных HF-колебаний ВРС, может приводить к нарушению трофической функции иннервируемых органов и тканей. Смещение вегетативного баланса в сторону симпатического преобладания способствовало прогрессированию заболевания за счёт нарушения регуляции сосудистого тонуса, усиления ангиоспазма [9]. В условиях нарушения вегетативной регуляции возрастал риск сердечно-сосудистых осложнений, в частности синдрома внезапной смерти, безболевых форм инфаркта миокарда.

Одним из компенсаторных механизмов при повреждении периферических вегетативных волокон является усиление влияния надсегментарных вегетативных центров, наблюдаемое преимущественно у лиц с умеренными повреждениями периферических нервов [10]. Согласно полученным в исследовании результатам, ТМС дорсолатеральной зоны префронтальной коры способствует увеличению скорости распространения возбуждения по периферическим нервам. Статистически значимое увеличение мощности ВРС, более выраженное в диапазоне VLF, свидетельствует об участии надсегментарных вегетативных центров в реализации терапевтического эффекта ТМС, что согласуется с исследованиями влияния ТМС при других заболеваниях. В частности, у лиц с аутизмом, для которых характерна симпатическая активация на фоне дефицита парасимпатического влияния, после курса ТМС наблюда-

лась нормализация вегетативного баланса за счёт усиления парасимпатического влияния и снижения симпатического тонуса, увеличивалась мощность HF-колебаний спектра ВРС [11]. Авторы делают вывод об ингибировании симпатического тонуса за счёт усиления церебрального контроля. Активация парасимпатического отдела вегетативной нервной системы наблюдалась у здоровых лиц при ТМС префронтальной коры, изменения симпатического отдела отсутствовали [8].

Нормализация корковой ритмики на ЭЭГ после проведения курса ТМС свидетельствовала об усилении интегративной деятельности мозга, обеспечивающей широкий круг регуляторных процессов. Клинический интерес представляют изменения на ЭЭГ во время воздействия ТМС на структуры головного мозга. Однако ряд технических ограничений при проведении ТМС ограничивает возможность анализа ЭЭГ. Так, сильное магнитное поле индуцирует нежелательное электрическое поле в соседних проводниках, включая электроды, кожу, нервы, мышцы, кости черепа и liquor, что приводит к генерации артефактов большой амплитуды в сигнале электроэнцефалограммы. Кроме того, импульс ТМС сопровождается щелчком, приводящим к непроизвольному напряжению мышц скальпа, появлению мышечных артефактов.

Научный интерес представляет дальнейшее расширение методов анализа ЭЭГ. Новые возможности оценки взаимосвязи между префронтальной корой и другими отделами мозга появляются при использовании когерентного анализа и метода трёхмерного дисперсионного картирования частотного и пространственного рассеивания альфа-ритма [12].

Перспективно дальнейшее расширение перечня мишенной стимуляции и создание эффективных протоколов применения ТМС, так как при большинстве неврологических заболеваний, сопровождающихся специфическими нарушениями, снижаются адаптационные возможности за счёт нарушения интегративной деятельности мозга.

Ограничения исследования. Исследование ограничено числом пациентов с установленным диагнозом «полинейропатия верхних конечностей», без металлоимплантатов и структурных повреждений головного мозга, нарушений сердечного ритма.

Заключение

Транскраниальная магнитная стимуляция дорсомедиальной зоны префронтальной коры эффективна в коррекции сенсорных и вегетативных нарушений при профессиональных полинейропатиях за счёт активации надсегментарных вегетативных центров, участвующих в системных адаптационных процессах. Полученные данные позволяют ожидать снижения интенсивности болей и выраженности чувствительных нарушений у пациентов с полинейропатией при включении методики в лечебный процесс.

Литература

(п.п. 3–8, 11 см. References)

1. Катаманова Е.В., Нурбаева Д.Ж. Анализ патологической активности ЭЭГ у лиц, подвергающихся воздействию общей и локальной вибрации. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016; (3–4): 570–3. <https://elibrary.ru/vqydh>
2. Афанас Л.И., Брак И.В., Куликова К.И., Филимонова Е.А., Дземидович С.С., Пирадов М.А. и др. Клинические и нейрофизиологические эффекты терапевтической сочетанной высокочастотной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции моторной и лобной коры при болезни Паркинсона. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020; 120(5): 29–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012005129> <https://elibrary.ru/ftciri>
9. Мартынов И.Д., Флейшман А.Н. Автономная дизрегуляция ортостатических нарушений у лиц молодого возраста, занимающихся физическим трудом. *Медицина труда и промышленная экология*. 2016; (5): 28–31. <https://elibrary.ru/vwgxhp>
10. Ямшикова А.В., Мартынов И.Д., Флейшман А.Н., Гидаева М.О. Применение ишемического прекодиционирования в реабилитации шахтеров с вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(7): 700–3. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-700-703> <https://elibrary.ru/hcarii>
12. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А., Черный В.С., Александрова Т.В., Чухловин А.А. и др. *Электроэнцефалография: руководство*. СПб.: Спец-Лит; 2020.

References

1. Katamanova E.V., Nurbaeva D.Zh. Analysis of pathological activity EEG in individuals exposed to general and local vibrations. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; (3–4): 570–3. <https://elibrary.ru/vqydh> (in Russian)
2. Aftanas L.I., Brak I.V., Kulikova K.I., Filimonova E.A., Dzemedovich S.S., Piradov M.A., et al. Clinical and neurophysiological effects of dual-target high-frequency rTMS over the primary motor and prefrontal cortex in Parkinson's disease. *Zhurnal nevrologii i psikhatrii im. S.S. Korsakova*. 2020; 120(5): 29–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012005129> <https://elibrary.ru/ftciri> (in Russian)
3. Tremblay S., Rogasch N.C., Premoli I., Blumberger D.M., Casarotto S., Chen R., et al. Clinical utility and prospective of TMS–EEG. *Clin. Neurophysiol*. 2019; 130(5): 802–44. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.01.001>
4. McKlveen J.M., Myers B., Herman J.P. The medial prefrontal cortex: coordinator of autonomic, neuroendocrine and behavioural responses to stress. *J. Neuroendocrinol*. 2015; 27(6): 446–56. <https://doi.org/10.1111/jne.12272>
5. Patron E., Mennella R., Messerotti Benvenuti S., Thayer J.F. The frontal cortex is a heart-brake: Reduction in delta oscillations is associated with heart rate deceleration. *Neuroimage*. 2019; 188: 403–10. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.12.035>
6. Mennella R., Patron E., Palomba D. Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety. *Behav. Res. Ther*. 2017; 92: 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.002>
7. Sakreida R., Gauggel S. P 130. The impact of dorsolateral prefrontal cortex in the control of heart rate variability investigated by repetitive transcranial magnetic stimulation. *Clin. Neurophysiol*. 2013; 124(10): e127. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.04.208>
8. Gulli G., Tarperi C., Cevese A., Accler M., Bongiovanni G., Manganotti P. Effects of prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation on the autonomic regulation of cardiovascular function. *Exp. Brain Res*. 2013; 226(2): 265–71. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3431-6>
9. Martynov I.D., Fleishman A.N. Autonomous dysregulation of orthostatic disorders in young individuals engaged into manual work. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2016; (5): 28–31. <https://elibrary.ru/vwgxhp> (in Russian)
10. Yamshchikova A.V., Martynov I.D., Fleishman A.N., Gidayatova M.O. Application of ischemic preconditioning in the rehabilitation of miners suffered from the vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(7): 700–3. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-700-703> <https://elibrary.ru/hcarii> (in Russian)
11. Wang Y., Hensley M.K., Tasman A., Sears L., Casanova M.F., Sokhadze E.M. Heart rate variability and skin conductance during repetitive TMS course in children with autism. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*. 2016; 41(1): 47–60. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9311-z>
12. Aleksandrov M.V., Ivanov L.B., Lytaev S.A., Chernyy V.S., Aleksandrova T.V., Chukhlovina A.A., et al. *Electroencephalography: A Guide [Elektroentsefalografiya: rukovodstvo]*. St. Petersburg: Spets-Lit; 2020. (in Russian)