

Возможности применения методики нейрофидбэк в рамках комплексной терапии острой неспецифической боли в шее и нижней части спины

© П.В. БЫКОВСКИЙ, М.А. ШЕРМАН

ФГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет» Минздрава России, Киров, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Нейрофидбэк является нейромодулирующим методом, который позволяет произвольно модулировать активность мозга для лечения различных неврологических заболеваний. Некоторые исследования показали, что нейрофидбэк-терапия является эффективной у пациентов с невропатической болью. Распространенность неспецифической острой боли в спине и шее в общей популяции развитых стран составляет от 71 до 84%. Влияние нейрофидбэк-терапии на пациентов с острой вертеброгенной болью изучено недостаточно.

Цель исследования — оценить эффективность методики нейрофидбэк в рамках комплексной терапии пациентов с острой неспецифической болью в спине и шее.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 60 пациентов с острой вертеброгенной болью, которые случайным образом распределены в две равные группы: основную и сравнения. Средний возраст пациентов в обеих группах составил 50,7 года. Пациентам основной группы наряду со стандартной базисной терапией проводилась нейрофидбэк-терапия (10 сеансов продолжительностью 25 мин каждый). Пациенты группы сравнения получали базисную терапию без биологической обратной связи (БОС). Протокол нейрофидбэк состоял из повышения уровня альфа-мощности (8–12 Гц). Эффективность биоуправления оценивали по снижению оценки болевого синдрома по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) и увеличению альфа-индекса.

Результаты. У пациентов основной группы наблюдалось статистически значимо большее снижение интенсивности боли ($p<0,05$). Выраженность боли по ВАШ отрицательно коррелировала с мощностью альфа-колебаний головного мозга.

Вывод. Согласно полученным данным, нейрофидбэк-терапия может рассматриваться в качестве нейромодулирующего метода лечения умеренной и выраженной острой неспецифической боли в шее и нижней части спины, характеризующегося доказанной эффективностью и в силу потенциально низкого риска побочных эффектов достаточной безопасностью применения.

Ключевые слова: острая неспецифическая боль, нейробиоуправление, электроэнцефалография, альфа-ритм, альфа-тренинг, боль в шее, боль в пояснице.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Быковский П.В. — <https://orcid.org/0000-0001-5544-7772>

Шерман М.А. — <https://orcid.org/0000-0001-5740-1022>

Автор, ответственный за переписку: Шерман М.А. — e-mail: sherman@list.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Быковский П.В., Шерман М.А. Возможности применения методики нейрофидбэк в рамках комплексной терапии острой неспецифической боли в шее и нижней части спины. *Российский журнал боли*. 2020;18(2):14–19. <https://doi.org/10.17116/pain20201802114>

Possibilities of using the neurofeedback technique in the complex therapy of acute nonspecific neck and lower back pain.

© P.V. BYKOVSKII, M.A. SHERMAN

FSBEI HE «Kirov State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Kirov, Russia

ABSTRACT

Background. Neurofeedback (NFB) is a neuromodulating technique that allows a patient to arbitrarily modulate brain activity to treat various neurological conditions. There are some studies which showed neurofeedback therapy (NFT) can be effective in patients with neuropathic pain. The prevalence of acute nonspecific neck and lower back pain ranges between 71% and 84% in the general population of developed countries. Effect of NFT on amelioration of these clinical symptoms is not well understood.

Objective. This clinical study was aimed to evaluate the effect of NFT in patients with nonspecific neck and lower back pain.

Methods. A total of 60 patients with acute nonspecific vertebrogenic pain took part in the study. They were randomly allocated in two groups (intervention and control). The mean and standard error of the mean of participants' age were (50.7 ± 2.5) years and (50.7 ± 2.2) years in intervention and control groups, respectively. The intervention group participated in 10 sessions of NFT and took basic therapy. The control group took only basic therapy. The NFB protocol consisted of upregulating the alpha band (8–12 Hz) power from electrodes location in occipital brain areas for 25 min. The output measures were pain and alpha index before and after NFB. Self-reported visual analog scale pain scores were determined before and after therapy.

Results. There was a significantly larger decrease in pain intensity ($p<0.05$) in the intervention group compared to the control group.

Interestingly, pain correlated negatively with alpha rhythm index.

Conclusion. Neurofeedback is a neuromodulatory technique that can be self-administered for acute nonspecific neck and lower back pain. A significant reduction in pain was related to increase of alpha band. These findings may point the importance of alpha power in pain in nonspecific pain.

Keywords: acute nonspecific pain, neurofeedback, electroencephalography, alpha rhythm, alpha training, neck pain, lower back pain.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Bykovskii P.V. — <https://orcid.org/0000-0001-5544-7772>

Sherman M.A. — <https://orcid.org/0000-0001-5740-1022>

Correspondence author: Sherman M.A. — e-mail: sherman@list.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Bykovskiy PV, Sherman MA. Neurofeedback technique in the complex therapy of acute nonspecific neck and lower back pain. *Russian journal of pain*. 2020;18(2):14–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/pain20201802114>

Боль в шее и спине представляет собой широко распространенный скелетно-мышечный болевой синдром и относится к числу ведущих неинфекционных проблем общественного здравоохранения [1–3]. Такая актуальность обусловлена большой распространенностью — в общей популяции развитых стран до 71% людей хотя бы раз в жизни испытывали боль в шее [4] и до 84% — в пояснице [5]. Помимо этого, указанные варианты скелетно-мышечной боли входят в группу самых частых причин временной нетрудоспособности (боль в шее на 4-м месте, в пояснице на 6-м) и значительных прямых затрат на здравоохранение [6].

В 90–95% случаев причинами острой боли в шее и поясничной области (боль в нижней части спины) оказываются неспецифические миофасциальные и дегенеративные вертебральные (вертеброгенные) нарушения [5, 7]. При этом используемые для купирования болевого синдрома медикаментозные и немедикаментозные методы лечения не всегда позволяют добиться желаемого клинического эффекта. Так, широко применяемые нестероидные противовоспалительные средства не всегда обеспечивают необходимый уровень аналгезии и зачастую имеют недостаточный профиль безопасности, особенно при пролонгации терапии [8]. В свою очередь немедикаментозные (физические и минимально инвазивные) методы — массаж, физиотерапевтическое лечение, физические упражнения, локальная инфильтрация анестетиков и прочее — также показали частичную или противоречивую эффективность при острой боли в шее и пояснице [8, 9].

Результатом несвоевременного купирования острой вертебральной боли (ОВБ) может стать ее хронизация, негативно влияющая на трудоспособность и качество жизни пациентов [10], что определяет постоянный поиск новых эффективных и безопасных вариантов терапии [11]. Одним из современных перспективных направлений лечения ОВБ признан метод биологической обратной связи (БОС), в частности нейрофидбэк (neurofeedback — NFB) — методика, при которой пациентам предоставляется прямая информация о функционировании мозга, регистрируемая посредством выполнения электроэнцефалографии (ЭЭГ). Это тип БОС, при котором пользователи получают возможность оценивать уровень активности своей мозговой деятельности в режиме реального времени на основании визуального, звукового или даже тактильного ответов. Пациент оказывается способным фиксировать ранее недоступные изменения биоэлектрической активности мозга (БЭАМ), отслеживать ее взаимосвязь с осуществляющей физической и психической деятельностью и активно воз-

действовать на БЭАМ. Прошедшие курс нейробиоуправления пациенты могут научиться применять эту технику самостоятельно без обратной связи [12].

При лечении боли целью обучения является снижение активности БЭАМ, которая, как считается, связана с обработкой ноцицептивной информации (в частности, паттерны бета-волн в диапазоне частот 13–21 Гц), а также усиление волновой активности мозга, которая обуславливает уменьшение обработки информации о боли и усиление релаксации (альфа-паттерны в диапазоне частот 8–12 Гц) [13]. Во время альфа-стимулирующего тренинга пациент оказывает влияние на альфа-активность и достигает состояния, при котором боль становится менее выраженной и продолжительной и возникает реже [14].

Терапевтический эффект нейробиоуправления с альфа-усилением рассмотрен в отношении комплексного регионального болевого синдрома [15], фибромиалгии [16], невралгии тройничного нерва [17], боли при раке [18], мигрени и головной боли напряжения [19], синдроме позвоночной артерии [20], хронической центральной невропатической боли [13, 21]. Вопросы использования NFB в терапии ОВБ в современной научной литературе освещены недостаточно.

Цель исследования — оценить эффективность методики нейрофидбэк в рамках комплексной терапии пациентов с острой неспецифической болью в спине и шее.

Материал и методы

Обследованы 60 пациентов с неспецифическим рефлексорным вертебральным болевым синдромом в фазе обострения, преимущественно умеренно и сильно выраженным. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет» Минздрава России. Основную группу составили 30 пациентов (7 мужчин и 23 женщины), которым наряду со стандартной базисной терапией (нестероидные противовоспалительные, аналгезирующие и миорелаксирующие средства, физиолечение, лечебная физкультура) проводили альфа-тренинг; средний возраст $50,7 \pm 2,5$ года. В группу сравнения вошли 30 больных (8 мужчин и 22 женщины), получавших базисную терапию без альфа-тренинга; средний возраст $50,7 \pm 2,2$ года. Согласно принятой клинической систематике (МКБ-10), диагноз соответствовал разделам M50.3 (другая дегенерация межпозвоночного диска шейного отдела), M51.3

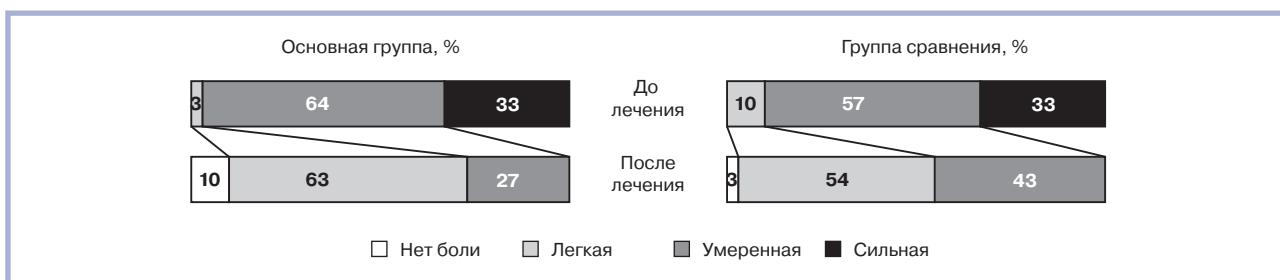


Рис. 1. Динамика острой неспецифической вертеброгенной боли (ВАШ, см).

Fig. 1. The dynamics of acute nonspecific vertebral pain (VAS, cm).

(другая уточненная дегенерация межпозвоночного диска), M53.8 (другие уточненные дорсопатии).

Степень выраженности боли и ее динамику на фоне проводимой терапии оценивали посредством визуальной аналоговой шкалы (ВАШ) в начале и конце курса лечения. Для выявления и количественной оценки тревожных и депрессивных нарушений применяли Опросник выраженности психопатологической симптоматики [22, 23]. Лиц с клинически значимой депрессией в исследование не включали.

Проводимый больным основной группы альфа-тренинг представлял собой релаксационную ЭЭГ-БОС-терапию, направленную на увеличение уровня альфа-ритма головного мозга. С целью регистрации ЭЭГ применялось биполярное затылочное расположение электродов [24]. Процедура альфа-тренинга содержала сценарий повышения уровня индекса альфа-ритма в процентах. Терапевтическое воздействие осуществлялось с помощью реабилитационного психофизиологического комплекса Peakor (НПКФ «Медиком ЛТД», Россия). Курс терапии методом БОС состоял из 10 сеансов продолжительностью 25 мин.

Контроль эффективности БОС проводили посредством оценки индекса альфа-ритма во время первого и последнего сеансов. Эффективность биоуправления оценивали по снижению оценки болевого синдрома (по ВАШ) и приращению альфа-ритма.

Статистическая обработка результатов произведена с помощью пакета прикладных статистических программ Statistica v. 10.0 (StatSoft-Russia, 2011). Для оценки нормальности распределения количественных данных применяли критерий Шапиро–Уилка. В качестве показателей для величин, имеющих нормальное или близкое к нормальному распределение, использовали среднее арифметическое и стандартную ошибку среднего ($M \pm m$). Величины с отличным от нормального распределением описывали с помощью медианы (Me) и межквартильного размаха (Q1–Q3). Качественные признаки представлены в виде абсолютных (n) и относительных (%) величин. В зависимости от характера распределения для проверки гипотез о неравенстве величин применяли параметрические и непараметрические методы. В качестве критерия оценки статистической значимости различий выборочных средних использовали критерий Стьюдента для независимых и зависимых выборок. Для определения гомогенности дисперсий проводили тест Левена. В случае отличного от нормального распределения количественных данных для их оценки по группирующему качественному признаку применяли непараметрический критерий

Манна–Уитни. Для сравнения двух связанных выборок по количественным признакам при распределении, отличном от нормального, использовали критерий Вилкоксона. Критическим уровнем статистической значимости различий (p) считался $p < 0,05$. Для выявления связи между исследуемыми показателями применяли методы корреляционного анализа для параметрических и непараметрических видов распределения — критерии Пирсона и Спирмена соответственно.

Результаты

Включение методики NFB в схему терапии острого болевого синдрома позволило добиться регресса боли до полного у 10% пациентов основной группы (в 3,3 раза больше, чем у пациентов группы сравнения) и до легкого у 63% (в 1,2 раза меньше, чем у лиц, не получавших лечение методом БОС). Отмечено также существенное — до 27% — уменьшение числа лиц основной группы с умеренной болью (в 1,6 раза по сравнению с пациентами группы сравнения). В обеих популяциях больных выраженный болевой синдром регрессировал полностью (рис. 1).

Средние значения интенсивности боли по ВАШ до начала терапии у пациентов основной группы и группы сравнения составляли 5,0 (4,0–7,0) и 5,5 (5,0–7,0) см соответственно и были сопоставимы по выраженности ($p=0,838$).

После лечения отмечался регресс степени выраженности болевого синдрома до легкого у пациентов основной группы (до 3,0 (2,0–4,0) см; $p=0,0001$) и группы сравнения (до 3,0 (3,0–4,0) см; $p=0,0001$). Полученные результаты подтвердили эффективность как стандартной базисной терапии вертеброгенной боли с использованием альфа-тренинга, так и без него. Однако зависимый t -тест показал, что исследуемые основной группы имели в среднем статистически значимо меньшую ($p=0,035$) интенсивность боли по ВАШ к концу лечения, чем не прошедшие курс альфа-тренинга пациенты группы сравнения (рис. 2). Среднее изменение интенсивности боли по ВАШ у пациентов основной группы составило $3,1 \pm 0,33$ см, у пациентов группы сравнения — $2,2 \pm 0,28$ см.

Помимо этого, выявлено статистически значимое увеличение мощности альфа-ритма — от $39,77 \pm 2,65\%$ до $45,94 \pm 2,81\%$ ($p=0,004$) к заключительному сеансу альфа-тренинга (рис. 3).

Анализ коэффициента корреляции Спирмена в основной группе продемонстрировал умеренную отрицательную корреляционную связь между выраженностью боли по ВАШ и мощностью альфа-колебаний головного

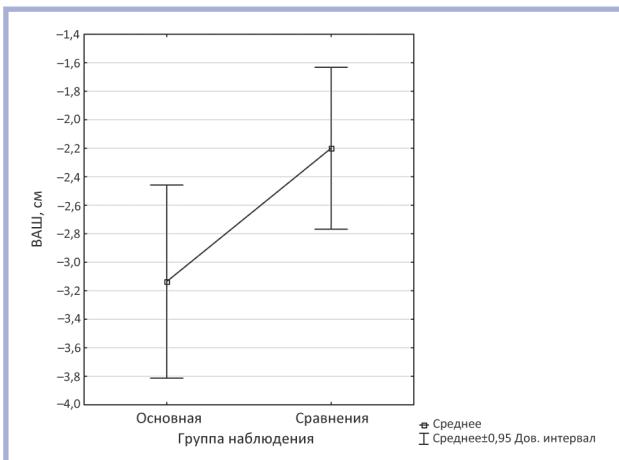


Рис. 2. Средние значения изменений интенсивности боли у пациентов обеих групп (ВАШ, см).

Fig. 2. The average scores of pain intensity changes in groups (VAS, cm).

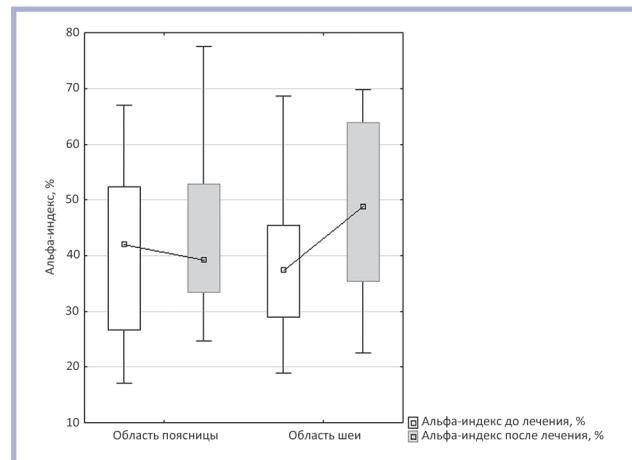


Рис. 4. Динамика альфа-индекса в зависимости от локализации боли.

Fig. 4. The dynamics of alpha index depending on pain localization.

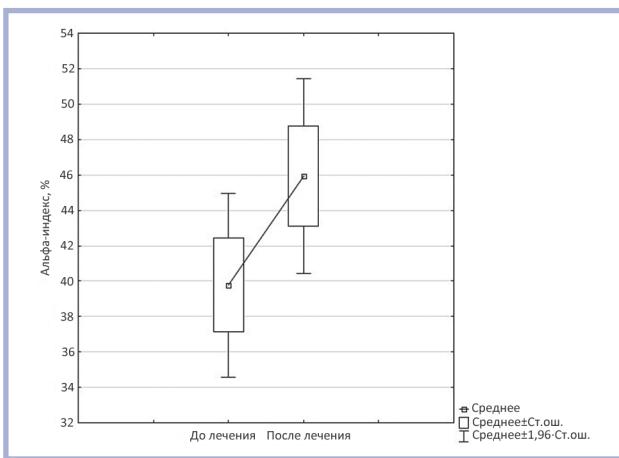


Рис. 3. Изменение величин альфа-индекса после альфа-тренинга.

Fig. 3. The change of alpha index after alpha training.

мозга ($r=-0,48$, $p<0,05$). Выявлена также статистически значимая ($p<0,05$) зависимость средней силы ($r=-0,39$) между динамикой интенсивности боли и альфа-ритма, заключающаяся в большем регрессе ОВБ при тенденции к увеличению альфа-ритма, и, наоборот, при незначительном уменьшении боли не прослеживалось приращения альфа-ритма к заключительному сеансу альфа-тренинга.

Исследование динамики обсуждаемых показателей у проходивших альфа-тренинг лиц из подгрупп с болью в шее ($n=16$) и болью в нижней части спины (в пояснице) ($n=14$) основной группы также свидетельствовало об увеличении мощности альфа-ритма и уменьшении значений по ВАШ. При этом к заключительному сеансу альфа-тренинга у пациентов с болью в шее мощность альфа-ритма менялась статистически значимо ($p=0,005$) от 37,57 (28,9–45,4) до 48,82 (35,4–63,95)%.

Одновременно у пациентов подгруппы лиц с болью в поясничной области величина этого показателя не претерпела статистически значимых изменений (до терапии 42,17 (26,65–52,30)%, к завершению лечения 39,4 (33,35–52,85)%), хотя прослеживалась тенденция к росту,

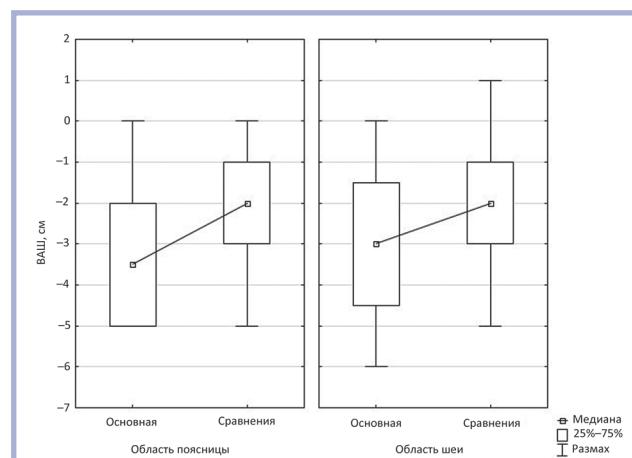


Рис. 5. Изменение интенсивности боли у пациентов к концу лечения.

Fig. 5. The change of pain intensity in subgroups by the end of treatment.

и наблюдалось менее рассеянное распределение величин за счет уменьшения их квартильного размаха (рис. 4).

На фоне использования метода NFB у пациентов обеих подгрупп основной группы отмечен регресс боли в шее от 5,0 (5,0–7,0) до 2,0 (1,0–3,0) см и боли в нижней части спины от 6,0 (5,0–7,5) до 3,0 (1,5–3,5) см. Пациенты с болью в шее и пояснице в целом оценивали интенсивность боли к концу лечения по шкале ВАШ меньше на 1,5 см ($p<0,05$), нежели пациенты аналогичных подгрупп сравнения (рис. 5).

По результатам корреляционного анализа Спирмена, у пациентов подгруппы с болью в шее прослеживалась умеренная прямая зависимость между выраженностю регресса боли и прироста мощности альфа-ритма ($r=0,52$, $p<0,05$). У пациентов подгруппы с болью в пояснице обнаружена слабая связь между этими переменными ($r=0,17$). В то же время в результате терапии наблюдалась умеренная отрицательная корреляция собственно мощности альфа-ритма и интенсивности боли (см) по ВАШ: как при бо-

ли в шее ($r=-0,48; p<0,05$), так и при боли в нижней части спины ($r=-0,47; p<0,05$).

Обсуждение

Проведенное изучение аналгезирующего действия метода БОС — методики NFB — продемонстрировало статистически значимый регресс острой умеренной и выраженной вертеброгенной боли у пациентов основной группы, прошедших в процессе лечения тренинг по нейробиоуправлению как в динамике, так и по сравнению с интенсивностью боли у пациентов группы сравнения. При этом межгрупповой анализ величин ВАШ и мощности альфа-ритма продемонстрировал большую эффективность методики в подгруппе лиц с болью в шее.

Вероятным нейрофизиологическим механизмом реализации терапевтического воздействия NFB тренинга при острой боли является способность метода эффективно изменять ассоциированную с болью биоэлектрическую волновую активность головного мозга в виде повышенной активности бета-ритма и сниженной мощности альфа-ритма [25–27], формирующуюся в результате персистирующей таламо-корковой дисритмии (ТКД) [28, 29]. При использовании альфа-тренинга у пациентов основной группы реализовывались механизмы ингибиции таламуса и нивелирования ТКД, в результате чего происходило нарастание

мощности альфа-диапазона, обеспечивающее модуляцию восприятия боли в сторону снижения [28, 29].

Роль плацебо в лечении боли не следует недооценивать. Эффект плацебо может быть вызван NFB из-за того, что участникам давали активный «контроль» над их болью [30]. Однако оценка боли — субъективный показатель, а мощность альфа-ритма — величина объективная. Настоящее исследование показало существование у пациентов отрицательной корреляции между уровнем боли и мощностью альфа-ритма. Эффект плацебо вряд ли мог повлиять на альфа-индекс, поэтому и роль плацебо в лечении боли методом нейробиоуправления переоценивать тоже не стоит.

Вывод

Согласно полученным данным, альфа-тренинг можно рассматривать в качестве нейромодулирующего метода лечения умеренной и выраженной острой неспецифической боли в шее и нижней части спины, характеризующегося доказанной эффективностью и в силу потенциально низкого риска побочных эффектов достаточной безопасностью применения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Hoy D, March L, Brooks P, Blyth F, Woolf A, Bain C, Williams G, Smith E, Vos T, Barendregt J, Murray C, Burstein R, Buchbinder R. The global burden of low back pain: estimates from the global burden of disease 2010 study. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2014;73(6):968–974. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2013-204428>
- Murray CJ, Vos T, Lozano R, Naghavi M, Flaxman AD, Michaud C, Ezzati M, Shibuya K, Salomon JA, Abdalla S, Abouyans V, Abraham J, Ackerman I, Aggarwal R, Ahn SY, Ali MK, Alvarado M, Anderson HR, Anderson LM, Andrews KG, Memish ZA. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380(9859):2197–2223. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61689-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61689-4)
- Vos T, Flaxman AD, Naghavi M, Lozano R, Michaud C, Ezzati M, Shibuya K, Salomon JA, Abdalla S, Abouyans V, Abraham J, Ackerman I, Aggarwal R, Ahn SY, Ali MK, Alvarado M, Anderson HR, Anderson LM, Andrews KG, Atkinson C, Memish ZA. Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380(9859):2163–2196. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61729-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61729-2)
- Hogg-Johnson S, van der Velde G, Carroll LJ, Holm LW, Cassidy JD, Guzman J, Côté P, Haldeman S, Ammendolia C, Carrigee E, Hurwitz E, Nordin M, Peloso P. The Burden and Determinants of Neck Pain in the General Population: Results of the Bone and Joint Decade 2000–2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *European Spine Journal*. 2008;17(suppl 1):39–51. <https://doi.org/10.1007/s00586-008-0624-y>
- Airaksinen O, Brox JI, Cedraschi C, Hildebrandt J, Klaber-Moffett J, Kovacs F, Mannion AF, Reis S, Staal JB, Ursin H, Zanoli G. Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *European Spine Journal*. 2006;15(suppl 2):192–300. <https://doi.org/10.1007/s00586-006-1072-1>
- Gross A, Miller J, D'Sylva J, Burnie SJ, Goldsmith CH, Graham N, Haines T, Brønfort G, Hoving JL; COG. Manipulation or mobilisation for neck pain: A Cochrane Review. *Manual Therapy*. 2010;15(4):315–333. <https://doi.org/10.1016/j.math.2010.04.002>
- Ryzkova E.E., Сысоев А.В., Жарников И.Н., Мансур Т.И., Тедорадзе Р.В. Опыт применения экстракорпоральной ударно-волновой терапии в лечении вертеброгенных дурсалгий в амбулаторно-поликлинической практике. *Трудный пациент*. 2019;17(3):27–29. Ryzkova EE, Sysoev AV, Zharnikov IN, Mansur TI, Tedoradze RV. Experience of Extracorporeal Shockwave Therapy in the Treatment of Vertebrogenic Dorsalgia in Outpatient Practice. *Trudnyi patient*. 2019;17(3):27–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2074-1995-2019-10015>
- Peloso PM, Khan M, Gross AR, Carlesso L, Santaguida L, Lowcock J, Macdermid JC, Walton D, Goldsmith CH, Langevin P, Shi Q. Pharmacological Interventions Including Medical Injections for Neck Pain: An Overview as Part of the ICON Project. *The Open Orthopaedics Journal*. 2013;7:473–493. <https://doi.org/10.2174/1874325001307010473>
- McCarberg B, D'Arcy Y. Options in topical therapies in the management of patients with acute pain. *Postgraduate Medical Journal*. 2013;125:19–24. <https://doi.org/10.1080/00325481.2013.1110567011>
- Sherman KJ, Cook AJ, Wellman RD, Hawkes RJ, Kahn JR, Deyo RA, Cherkin DC. Five-week outcomes from a dosing trial of therapeutic massage for chronic neck pain. *Annals of Family Medicine*. 2014;12(2):112–120. <https://doi.org/10.1370/afm.1602>
- Yang XN, Geng ZS, Zhang XL, Zhang YH, Wang XL, Zhang XB, Cui JZ. Single intracutaneous injection of local anesthetics and steroids alleviates acute nonspecific neck pain: A CONSORT-perspective, randomized, controlled clinical trial. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(28):11285. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000001285>
- Sherlin LH, Arns M, Lubar J, Heinrich H, Kerson C, Strehl U, Sternman BM. Neurofeedback and Basic Learning Theory: Implications for Research and Practice. *Journal of Neurotherapy*. 2011;15(4):292–304. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623089>
- Jensen MP, Day MA, Miro J. Neuromodulatory treatments for chronic pain: efficacy and mechanisms. *Nature Reviews Neurology*. 2014;10(3):167–178. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2014.12>
- Косых Е.П., Шубина О.С., Попова Т.Ф., Распопина А.И., Шабанова Н.А. Психосоматические аспекты хронической боли. *Медицина и образование в Сибири*. 2014;1:32.

- Kosykh EP, Shubina OS, Popova TF, Raspopina AI, Shabanova NA. Psychosomatic aspects of chronic pain. *Meditina i obrazovanie v Sibiri.* 2014;1:32. (In Russ.).
15. Jensen MP, Grierson C, Tracy-Smith V, Bacigalupi SC, Othmer S. Neurofeedback treatment for pain associated with complex regional pain syndrome type I. *Journal of Neurotherapy.* 2007;11(1):45-53.
https://doi.org/10.1300/J184v11n01_04
 16. Kayiran S, Dursun E, Dursun N, Ermutlu N, Karamursel S. Neurofeedback Intervention in Fibromyalgia Syndrome; a Randomized, Controlled, Rater Blind Clinical Trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback.* 2010;35(4):293-302.
<https://doi.org/10.1007/s10484-010-9135-9>
 17. Sime A. Case Study of Trigeminal Neuralgia Using Neurofeedback and Peripheral Biofeedback. *Journal of Neurotherapy.* 2004;8(1):59-71.
https://doi.org/10.1300/j184v08n01_05
 18. Hetkamp M, Bender J, Rheindorf N, Kowalski A, Lindner M, Knispel S, Beckmann M, Tagay S, Teufel M. A Systematic Review of the Effect of Neurofeedback in Cancer Patients. *Integrative Cancer Therapies.* 2019;18:1534735419832361.
<https://doi.org/10.1177/1534735419832361>
 19. Siniatchkin M, Hierundar A, Kropp P, Kuhnert R, Gerber WD, Stephani U. Self-regulation of slow cortical potentials in children with migraine: an exploratory study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback.* 2000;25:13-32.
<https://doi.org/10.1023/A:1009581321624>
 20. Хабиров Ф.А., Зыятдинов К.Ш., Мавлиева Г.М. Психоэмоциональная коррекция на основе биологической обратной связи в лечении и профилактике синдрома позвоночной артерии. *Вертеброневрология.* 2005;12(3-4):34-37.
 21. Khabirov FA, Zyyatdinov KSh, Mavlieva GM. Psycho-emotional correction on the basis of biological feedback in the treatment and prevention of syndrome of vertebral artery. *Vertebroneurologiya.* 2005;12(3-4):34-37. (In Russ.).
 22. Hassan MA, Fraser M, Conway BA, Allan DB, Vuckovic A. The mechanism of neurofeedback training for treatment of central neuropathic pain in paraplegia: a pilot study. *BMC Neurology.* 2015;15:200.
<https://doi.org/10.1186/s12883-015-0445-7>
 23. Derogatis LR, Lipman RS, Covi L. SCL-90: An outpatient psychiatric rating scale — Preliminary report. *Psychopharmacology Bulletin.* 1973;9:13-28.
 24. Sereda Y, Dembitskyi S. Validity assessment of the symptom checklist SCL-90-R and shortened versions for the general population in Ukraine. *BMC Psychiatry.* 2016;16(1):300.
<https://doi.org/10.1186/s12888-016-1014-3>
 25. Lutsenko EL. Physiological psychophysiology features of the interhemispheric asymmetry of the alpha-rhythm index in students. *Vestnik psichofiziologii.* 2013;2:34-40. (In Russ.).
 26. Jensen MP, Hakimian S, Sherlin LH, Fregni F. New insights into neuro-modulatory approaches for the treatment of pain. *Journal of Pain.* 2008;9:193-199.
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2007.11.003>
 27. Ecsy K, Jones AK, Brown CA. Alpha-range visual and auditory stimulation reduces the perception of pain. *European Journal of Pain.* 2017;21(3):562-572.
<https://doi.org/10.1002/ejp.960>
 28. Nickel MM, May ES, Tiemann L, Schmidt P, Postorino M, Ta Dinh S, Gross J, Ploner M. Brain oscillations differentially encode noxious stimulus intensity and pain intensity. *Neuroimage.* 2017;148:141-147.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.01.011>
 29. Schulman JJ, Ramirez RR, Zonenshayn M, Ribary U, Llinas R. Thalamocortical dysrhythmia syndrome: MEG imaging of neuropathic pain. *Thalamus and Related Systems.* 2005;3(01):33-39.
<https://doi.org/10.1017/s147298805000063>
 30. Camfferman D, Moseley GL, Gertz K, Pettet MW, Jensen MP. Waking EEG cortical markers of chronic pain and sleepiness. *Pain Medicine.* 2017;18(10):1921-1931.
<https://doi.org/doi:10.1093/pmw/pnw294>
 31. Vučković A, Altaleb MKH, Fraser M, McGeady C, Purcell M. EEG Correlates of Self-Managed Neurofeedback Treatment of Central Neuropathic Pain in Chronic Spinal Cord Injury. *Frontiers in Neuroscience.* 2019;13:762.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00762>

Поступила 12.01.20

Received 12.01.20

Принята к печати 26.01.20

Accepted 26.01.20