

Биоакустическая коррекция в терапии фантомно-болевого синдрома (пилотное исследование)

© К.В. КОНСТАНТИНОВ¹, Н.Г. БАДАЛОВ², Ю.А. КОЛЧЕВА³, Е.А. ГРУЗДЕВА¹, Р.М. НАЗАРЕНКО⁴

¹НИО «Клиника Биоакустической коррекции», Санкт-Петербург, Россия;

²ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии Федерального медико-биологического агентства», Москва, Россия;

³Институт дополнительного профессионального образования ФГБУ «Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации им. Г.А. Альбрехта», Санкт-Петербург, Россия;

⁴Санаторий «Тополь», ООО «Приазовье», Таганрог, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Оценка выраженности фантомно-болевого синдрома у пациентов с последствиями боевой травмы до и после проведения комплексной терапии с применением метода биоакустической коррекции (БАК).

Материал и методы. Обследовано 15 пациентов мужского пола в возрасте от 24 до 60 лет с последствиями боевых травм и верифицированным фантомно-болевым синдромом. Пациентам после всесторонней диагностической оценки состояния назначали 10 процедур БАК-терапии длительностью 20 мин в среднем через день. Динамику болевого синдрома оценивали по визуальной аналоговой шкале.

Результаты. Показано, что процедуры БАК способствуют достоверному снижению выраженности фантомно-болевого синдрома. В анамнезе снижение фантомно-болевого синдрома после процедур БАК сохранялось не менее 6 мес. Вероятным механизмом снижения фантомно-болевого синдрома при процедурах БАК является адаптивная реорганизация таламо-кортикальных детекторов пораженных конечностей за счет модуляции процессов нейропластичности.

Заключение. Проведенные предварительные исследования показали, что БАК-терапия способствует снижению интенсивности фантомно-болевого синдрома.

Ключевые слова: фантомно-болевого синдром, биоакустическая коррекция, нейропластичность, ЭЭГ.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Константинов К.В. — <https://orcid.org/0009-0005-3316-7362>

Бадалов Н.Г. — <https://orcid.org/0000-0002-1407-3038>

Колчева Ю.А. — <https://orcid.org/0000-0003-0250-5478>

Груздева Е.А. — <https://orcid.org/0009-0001-8796-187X>

Назаренко Р.М. — <https://orcid.org/0009-0005-0992-9953>

Автор, ответственный за переписку: Колчева Ю.А. — e-mail: j.kolcheva@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Константинов К.В., Бадалов Н.Г., Колчева Ю.А., Груздева Е.А., Назаренко Р.М. Биоакустическая коррекция в терапии фантомно-болевого синдрома (пилотное исследование). *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2024;101(4):31–36. <https://doi.org/10.17116/kurort202410104131>

Bioacoustic correction in treatment of phantom pain syndrome (pilot study)

© K.V. KONSTANTINOV¹, N.G. BADALOV², YU.A. KOLCHEVA³, E.A. GRUZDEVA¹, R.M. NAZARENKO⁴

¹NIO «Clinic of Bioacoustic Correction», Saint-Petersburg, Russia;

²Federal Research and Clinical Center of Rehabilitation and Balneology of the Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia;

³Institute of Continuing Professional Education of the Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, Saint-Petersburg, Russia;

⁴«Topol'» Health Resort, ООО «Priazov'e», Taganrog, Russia

ABSTRACT

Objective. To assess the severity of the phantom pain syndrome in patients with consequences of combat trauma before and after comprehensive therapy using the bioacoustic correction (BAC) method.

Material and methods. A number of male patients equal 15 aged 24–60 years with consequences of combat traumas and confirmed phantom pain syndrome were examined. Patients were given 10 BAC therapy procedures with an average duration of 20 minutes per day after a comprehensive diagnostic assessment of state. The dynamics of pain syndrome was evaluated by visual analogue scale.

Results. It has been shown that the BAC procedures contribute to a significant reduction of the phantom pain syndrome severity. The decrease of the phantom pain syndrome after the BAC procedures was maintained at least 6 months in the catamnesis.

The probable mechanism of reducing the phantom pain syndrome in BAC procedures is adaptive reorganization of thalamocortical detectors of affected limbs by modulation of neuroplasticity processes.

Conclusion. The conducted preliminary studies have shown that the BAC therapy contributes to the reduction of the phantom pain syndrome intensity.

Keywords: phantom pain syndrome, bioacoustic correction, neuroplasticity, EEG.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Konstantinov K.V. — <https://orcid.org/0009-0005-3316-7362>

Badalov N.G. — <https://orcid.org/0000-0002-1407-3038>

Kolcheva Yu.A. — <https://orcid.org/0000-0003-0250-5478>

Gruzdeva E.A. — <https://orcid.org/0009-0001-8796-187X>

Nazarenko R.M. — <https://orcid.org/0009-0005-0992-9953>

Corresponding author: Kolcheva Yu.A. — e-mail: j.kolcheva@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Konstantinov KV, Badalov NG, Kolcheva YuA, Gruzdeva EA, Nazarenko RM. Bioacoustic correction in treatment of phantom pain syndrome (pilot study). *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2024;101(4):31–36. (In Russ.).

<https://doi.org/10.17116/kurort202410104131>

Введение

Фантомно-болевого синдром (ФБС) как наиболее тяжелое проявление нейропатической боли остается актуальной проблемой у пациентов, перенесших ампутации конечностей. Отмечается, что ФБС, определяемый как болезненное ощущение в утраченной части тела, возникает более чем у 80% лиц, перенесших ампутацию конечности, и может существенно влиять на качество жизни пациента [1].

Среди основных причин развития этого состояния рассматриваются центральная и периферическая концепции. Однако точная этиология ФБС остается невыясненной. Предполагаемым центральным патогенетическим механизмом развития стойкого болевого ощущения в утраченной конечности является потеря тормозящего влияния коры головного мозга на нижележащие отделы нервной системы в результате ее дезорганизации вследствие ампутации, с дальнейшим формированием невринома. В головном мозге формируется стойкий очаг возбуждения — патологическая доминанта, которая становится основой для возобновления болевого синдрома. По этой причине иссечение невринома не приводит к устранению этого состояния [2, 3], что свидетельствует о безуспешности периферически ориентированных методов лечения [1].

Согласно центральной концепции развития ФБС, основанной на функциональности и пластичности головного мозга, в сенсорной коре происходит «освобождение» той части карты тела, которая была ответственна за представительство этой конечности, т.е. при ликвидации потока информации с периферии освобождается пространство в сенсорной коре [4]. Происходит смещение чувствительных зон на освободившиеся, вследствие чего может наблюдаться ощущение прикосновения к фантомной, например верхней, конечности, если прикасаться к лицу, т.к. именно эта

область является соседствующей с сенсорным представительством верхней конечности [5].

Согласно О. Петцль, если не происходит поступление сенсорной информации с периферии, центральная нервная система (ЦНС) извлекает ее из сферы воспоминаний [6]. Таким образом, происходит сдвиг из сферы восприятия в сферу воспоминаний. По данным Н. Flor, ФБС — это разновидность сомато-сенсорной памяти [7]. Снижение функциональной активности коры головного мозга приводит к нарастанию ФБС.

Патологический процесс закрепляется как патологическая доминанта, в результате чего в процесс вовлекаются не только ЦНС, но и периферическая и вегетативная нервная системы. Любые изменения в организме включаются в стимуляцию хронического ФБС [8, 9]. Это приводит, наряду с физической инвалидизацией, к невозможности использования протезов, резкому снижению качества жизни, социальной дезадаптации пациента из-за присоединяющихся психологических расстройств (стресс, тревога, страх, депрессия). В связи с недостаточной эффективностью традиционных средств, высокой лекарственной нагрузкой на организм пациентов, необходим поиск новых методов и средств, способных блокировать механизмы ФБС.

Биоакустическая коррекция (БАК) — инновационная методика, которая показала свою эффективность в комплексной терапии функциональных расстройств ЦНС и последствий органических поражений головного мозга [10–12]. Основой метода является компьютерное преобразование электроэнцефалограммы больного в акустический сигнал и предъявление этого сигнала пациенту в реальном масштабе времени. Показано, что эта методика способствует восстановлению функционального состояния ЦНС, нормализации психофизиологических и психологических показателей, улучшению обменно-трофических процессов, сосудистой реактивно-

сти, снижению выраженности алгий и др. [13–15]. Нейрофизиологический «смысл» данного феномена заключается в активации центров саморегуляции, восстановление работы которых является важным этапом адаптивных возможностей и купирования или значительного снижения проявлений тревожно-депрессивных расстройств, в частности, у пациентов с хроническим болевым синдромом. В клиническом исследовании было продемонстрировано снижение проявлений тревожно-депрессивного компонента при хронических дорсопатиях, нормализация показателей биоэлектрической активности головного мозга: рост индекса и амплитуды альфа-ритма, который становится более структурированным [16]. Также проводилось исследование, в котором изучали влияние БАК-терапии на уровень серотонина, были получены достоверные результаты, свидетельствующие об увеличении данного показателя [17].

Таким образом, выполненные ранее клинические наблюдения при применении метода БАК позволили предположить возможность использования этого подхода при лечении пациентов с ФБС. Данная тема является весьма актуальной. Поиск новых дополнительных способов коррекции имеющихся нарушений, купирование тяжелого болевого синдрома, уменьшение сопутствующих ему тревожно-депрессивных расстройств могут значительно улучшить жизнедеятельность и реабилитационный потенциал, способствовать успешной социализации пациентов, получивших травмы во время боевых действий.

Цель исследования — оценка выраженности ФБС у пациентов с последствиями боевой травмы до и после проведения комплексной терапии с применением БАК.

Материал и методы

Для проведения исследования было отобрано 15 пациентов мужского пола в возрасте от 24 до 60 лет с последствиями боевых травм и ФБС, проходивших реабилитацию в санатории «Тополь» и «Морском Госпитале». Обязательным был осмотр невролога, терапевта, травматолога, психиатра. Всем пациентам проводили стандартные лабораторные исследования: общий анализ крови, биохимический анализ крови; общий анализ мочи. Перед началом БАК-терапии всем пациентам выполняли электроэнцефалографию (ЭЭГ). ФБС диагностировали на основании неврологического осмотра, жалоб, анамнестических данных, а также по результатам анкетирования по опросникам для оценки нейропатической боли DN4 (*Douleur Neuropathique en 4 Questions*) и *Pain Detect*. Пациенты с имеющимся ФБС получали БАК-терапию (длительность 20 мин) с использованием аппаратно-компьютерного комплекса «Синхро-С» (ООО «СинКор», Санкт-Петербург). Процедуры БАК заключались в прослушивании пациентом акустических сэмплов,

синхронизированных с параметрами текущей биоэлектрической активности мозга в отведениях Fp1, Fp2, O1, O2. В процессе лечения анальгетики не применяли. Всем пациентам было запланировано проведение 10 процедур в среднем через сутки. Однако полный курс БАК-терапии прошли только 4 пациента, остальные получили от 2 до 9 процедур.

Критериями невключения в исследование являлись: отсутствие ФБС, выраженные когнитивные нарушения. Контроль эффективности терапии осуществляли на основании динамики неврологического статуса, выраженности болевого синдрома с использованием показателя интенсивности боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) до и после проведения каждой процедуры (см. таблицу). Все пациенты до БАК-терапии получали базовое лечение ФБС без эффекта.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием методов параметрической и непараметрической статистики. Рассчитывали средние значения показателей и их стандартную ошибку. Достоверность различий между средними величинами определяли по парному и непарному критерию Стьюдента и тесту Вилкоксона, оценку нормальности распределений оценивали по тесту Колмогорова—Смирнова. Использовали пакеты программ *Excel* и *Statistica*.

Результаты

У 1 пациента в анамнезе была проведена ампутация на уровне правого лучезапястного сустава, у 1 пациента — в области левого предплечья; у 8 — на уровне левой голени, у 2 — левого бедра; у 3 — на уровне правой голени. У всех обследованных имел место ФБС в виде жгучей, стреляющей боли в зоне сенсорного дефекта, отмечались стимулозависимые болевые феномены, ухудшение в ночное время, низкая эффективность анальгетиков (по анамнестическим данным), нарушение сна, тревожность, пониженное настроение. К началу БАК-терапии продолжительность ФБС для всей группы пациентов в среднем составляла 30 ± 24 мес, у 2 пациентов ФБС отмечался более 5 лет.

Перед началом БАК-терапии средний уровень болевых ощущений по ВАШ составлял $4,3 \pm 1,0$ балла. По мере прохождения курсового лечения отмечалось снижение интенсивности алгий в области утраченной конечности после процедуры. Результат тестирования по ВАШ после 10-й процедуры соответствовал $0,8 \pm 0,4$ балла ($p < 0,001$; *t*-тест). Все 10 процедур получили только 4 пациента (П01, П09, П10 и П15 со средней продолжительностью ФБС $17,5 \pm 9,6$ мес), у них наблюдалось снижение средней оценки по ВАШ с $4,5 \pm 0,5$ до $0,8 \pm 0,4$ балла ($p < 0,0001$, *t*-тест). У 10 пациентов со средней продолжительностью ФБС $24,7 \pm 22,6$ мес удалось провести по 7 процедур, при этом было зарегистрировано снижение средней оценки по ВАШ с $4,6 \pm 0,5$

Динамика показателей теста ВАШ по каждому пациенту до и после процедуры биоакустической коррекции
Dynamics of VAS test for each patient before and after the procedure of bioacoustic correction

Пациент	№ процедуры ВАШ, баллы (до/после)									
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
П01	5/4	5/3	4/3	4/3	4/2	4/2	4/2	3/1	2/1	2/1
П02	5/5	5/4	4/4	4/3	4/2	3/2	2/1	—	—	—
П03	4/4	4/3	3/2	3/2	2/1	2/1	1/1	1/1	—	—
П04	5/5	5/4	4/3	4/2	2/2	2/1	2/1	2/1	—	—
П05	3/3	3/2	3/2	2/2	—	—	—	—	—	—
П06	3/2	2/2	1/1	1/1	—	—	—	—	—	—
П07	5/4	5/4	4/4	4/3	4/4	4/2	3/2	3/2	—	—
П08	4/4	4/3	3/2	3/2	3/2	3/2	2/1	—	—	—
П09	5/5	5/4	4/4	4/3	4/3	4/3	3/2	3/2	2/1	2/1
П10	4/4	4/4	4/3	4/3	4/3	4/3	3/3	3/2	3/2	2/1
П11	4/4	4/3	—	—	—	—	—	—	—	—
П12	5/5	5/5	5/4	5/4	4/4	4/4	4/3	4/3	3/2	—
П13	7/7	5/3	4/2	4/2	—	—	—	—	—	—
П14	4/4	4/4	—	—	—	—	—	—	—	—
П15	4/4	4/4	4/3	3/2	3/2	3/1	2/1	2/1	1/0	1/0

до $1,7 \pm 0,8$ балла ($p < 0,01$; тест Вилкоксона). К концу курса лечения у всех пациентов по данным осмотра психиатра было выявлено улучшение сна, уменьшение аффективных нарушений, улучшение общего состояния.

Динамика средних значений оценки по ВАШ демонстрирует монотонное (не скачкообразное) снижение интенсивности боли от процедуры к процедуре (см. рисунок). Заметная разница в значениях ВАШ между тестированием до и после процедуры БАК начинается не с 1-й процедуры, при которой это значение является недостоверным и составляет $0,2 \pm 0,4$ балла ($p > 0,05$), а со 2-й — $0,8 \pm 0,7$ балла ($p < 0,01$; тест Вилкоксона). Далее эта разница возрастает, достигая максимума к 6-й процедуре — $1,1 \pm 0,5$ балла ($p < 0,001$; t-тест).

В катамнезе удалось отследить только 3 пациентов через 6 мес после курса лечения: П02, П08 и П09. У П02 (54 года, 15.09.2022 полная травматическая ампутация левой стопы, продолжительность болевого синдрома 11 мес, проведено 7 процедур) боли полностью отсутствовали. У пациента П08 (36 лет, 29.08.2021 ампутация левой голени, продолжительность болевого синдрома 25 мес, проведено 7 процедур) и П09 (48 лет, 4.07.2023 ампутация левой голени, продолжительность болевого синдрома 14 мес, проведено 10 процедур) боли значительно уменьшились, беспокоили редко.

Обсуждение

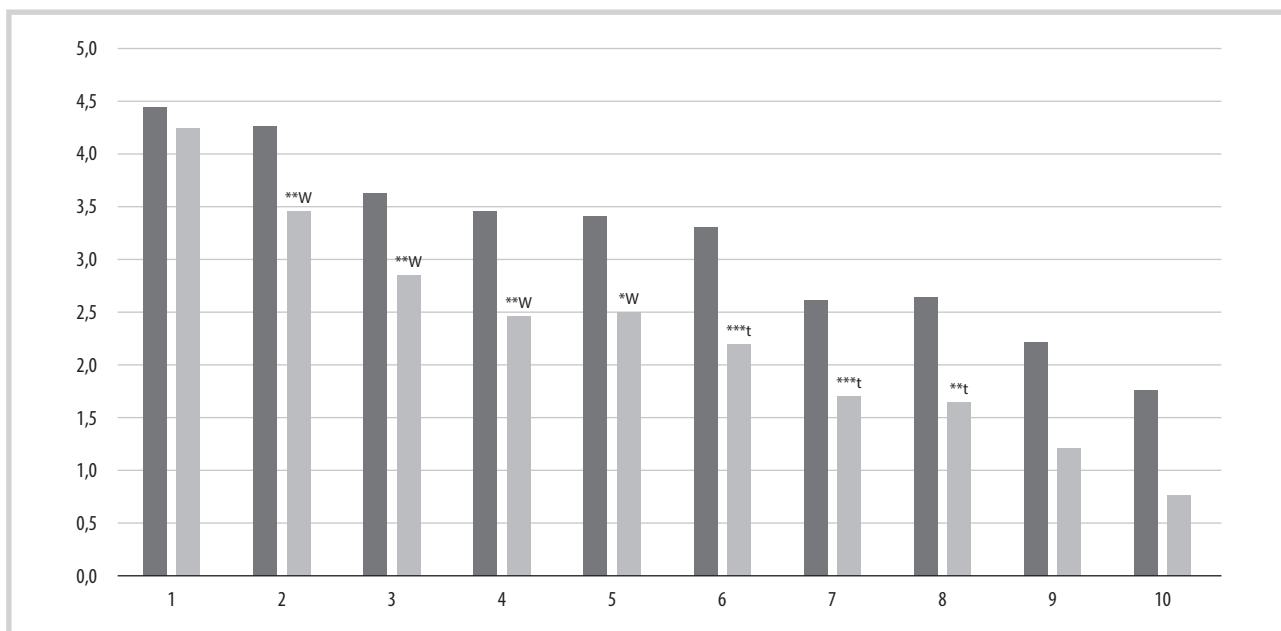
Результаты терапии пациентов с ФБС демонстрируют значительное (более чем в 5 раз) снижение уровня алгий в ходе БАК-терапии. В случае пациен-

та П15 наблюдалось полное исчезновение боли, которая до начала лечения длилась 34 мес. В случае пациента П13 исходно высокий уровень боли, 7 баллов, снизился до 2 баллов за 4 процедуры (анамнестические данные продолжительности ФБС отсутствуют).

Анализ динамики показателя ВАШ демонстрирует зависимость изменения уровня боли в ходе одной процедуры (от начала к концу) от номера процедуры. После 1-й процедуры БАК достоверного снижения уровня боли не наблюдалось, тогда как при 2-й и последующих процедурах снижение уровня боли составляло более 1 балла. У пациента П13, с исходно высоким уровнем боли, после 1-й процедуры значение параметра ВАШ не изменилось, но к началу 2-й процедуры (через 3 сут) оценка по ВАШ снизилась на 2 балла. Можно сделать предварительный вывод, что даже одна процедура БАК способствует снижению боли, но для проявления анальгезирующего эффекта необходимо время.

Значимость временного фактора может указывать на центральные механизмы анальгезирующего эффекта при процедурах БАК. Он наступает не за счет периферического выброса эндорфинов или серотонина, об увеличении концентрации которого при процедурах БАК ранее сообщали [17], а за счет морфофункциональной реструктуризации нейросетевых конструкций, в первую очередь специфических таламо-кортикальных сетей (детекторов), которые были включены в развитие и течение болевого синдрома.

В предыдущих работах было высказано предположение о том, что действие метода БАК заключается в поддержке процессов нейропластичности [18]. Синхронизация текущей биоэлектрической актив-



Динамика средней оценки по ВАШ до и после процедуры БАК в ряду процедур.

По оси X — номер процедуры, по оси Y — оценка по ВАШ (баллы). Заштрихованный столбик — среднее значение ВАШ до процедуры БАК, белый столбик — после процедуры БАК. * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$; W — критерий Вилкоксона; t — парный критерий Стьюдента.

Dynamics of average score on the VAS before and after the BAC in a series of procedures.

On the X-axis — number of procedure, on the Y-axis — evaluation on the VAS (scores). Shaded column — mean value of the VAS before the BAC procedure, white column — after the BAC procedure. * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.001$; W — Wilcoxon test; t — paired Student's t-test.

ности мозга с акустическими стимулами создает благоприятные условия для реализации процессов тайминг-зависимой пластичности [19]. В условиях скоррелированности во времени афферентного потока с дендритными потенциалами верхних слоев коры, выраженными в текущей ЭЭГ, осуществляется модуляция N-метил-D-аспартатных рецепторов (NMDA), существенной особенностью функционирования которых является необходимость совпадения во времени момента связывания молекулы глутамата с моментом снятия магниевого блока, что определяет концентрацию входящего через NMDA-рецептор кальция и дальнейшее развитие процессов синаптической пластичности [20]. Возможно, при ампутациях конечностей нарушение системы обратной афферентации не позволяет соответствующим таламо-кортикальным детекторам осуществить адаптивную перестройку. Роль таламо-кортикальных сетей в ФБС подтверждается наблюдениями специфических изменений ритмики ЭЭГ в альфа-, бета- и тета-диапазонах [21]. Однако в условиях модуляции процессов нейропластичности при БАК-терапии такая реструктуризация осуществляется. Не исключено, что эти детекторы просто перестают существовать и соответствующие нейронные ансамбли включаются в другие функциональные модули [22, 23]. На такую траекторию развития лечебного процесса указывают катamnестические данные у 3 пациентов: в течение 6 мес после процедур БАК у этих пациентов боль практически не наблюдалась, тогда как средняя про-

должительность болевого синдрома до начала БАК-терапии составляла около 17 мес.

Полученные данные позволяют высказать предположение, что аналгезирующий эффект БАК может зависеть от локализации отводящих электродов и ритмической структуры ЭЭГ-сигнала, с которыми синхронизируются акустические сэмплы, а также уровня функциональной нагрузки (возбуждения) таламо-кортикальных детекторов соседних и/или контралатеральных зон ампутированных конечностей.

Заключение

Проведенные предварительные исследования показали, что БАК-терапия способствует снижению интенсивности ФБС. Вероятным механизмом снижения ФБС при БАК является адаптивная реорганизация (с возможной элиминацией) таламо-кортикальных детекторов пораженных конечностей за счет модуляции процессов нейропластичности.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования — К.В. Константинов, Е.А. Груздева; сбор и обработка материала — Р.М. Назаренко; статистическая обработка, написание текста — К.В. Константинов, Ю.А. Колчева; редактирование — Н.Г. Бадалов.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Culp CJ, Abdi S. Current Understanding of Phantom Pain and its Treatment. *Pain Physician*. 2022; 25(7):E941-E957.
- Мелзак Р. *Загадка боли: монография*. М.: Медицина; 1981. Melzak R. *Zagadka boli: monografija*. Moskva: Medicina, 1981. (In Russ.).
- Михайлович В.А., Игнатов Ю.Д. *Болевой синдром: монография*. Л.: Медицина; 1990. Mihajlovich, VA, Ignatov Yu.D. *Bolevoj sindrom: monografija*. Leningrad: Medicina, 1990. (In Russ.).
- Бортникова Е.Г. *Фантомно-болевой синдром в онкологии: учебно-методическое пособие*. СПб.: Минздрав России; 2022. Bortnikova EG. *Fantomno-bolevoj sindrom v onkologii: uchebno-metodicheskoe posobie*. Sankt-Peterburg: Minzdrav Rossii; 2022. (In Russ.).
- Рамачандран В.С. *Мозг рассказывает: монография*. М.: Карьера Пресс; 2014. Ramachandran VS. *Mozg rasskazyvaet: monografija*. Moskva: Kar'era Press; 2014. (In Russ.).
- Меерович Р.И. *Расстройства «Схемы тела» при психических заболеваниях: монография*. Л.: Ленинградский санитарно-гигиенический медицинский институт; 1948. Meerovich RI. *Rasstrojstva «Shemy tela» pri psihicheskikh zabolevaniyah: monografija*. Leningrad: Leningradskij sanitarno-gigienicheskij medicinskij institut; 1948. (In Russ.).
- Flor H. Phantom limb pain: characteristics, causes and treatment. *Lancet Neurology*. 2002;1:182-189.
- Крыжановский Г.Н. *Общая патофизиология нервной системы: руководство*. М.: Медицина; 1997. Kryzhanovskij GN. *Obshhaja patofiziologija nervnoj sistemy: rukovodstvo*. Moskva: Medicina; 1997. (In Russ.).
- Давыдов А.Т., Тюкавин А.И., Резванцев М.В., Конончук В.В., Шабанов П.Д. Фантомная боль, роль и место различных методов лечения фантомно-болевого синдрома. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2014;12(1):35-58. Davydov AT, Tyukavin AI, Rezvancev MV, Kononchuk VV, Shabanov PD. *Fantomnaja bol', rol' i mesto razlichnyh metodov lechenija fantomno-bolevogo sindroma. Obzory po klinicheskoj farmakologii i lekarstvennoj terapii*. 2014;12(1):35-58. (In Russ.)
- Константинов К.В., Грицышина М.А., Нефедова Г.Э. Восстановление когнитивных функций у больных с органическими поражениями головного мозга в комплексной медицинской реабилитации. *Клиническая медицина*. 2012;5:36-39. Konstantinov KV, Grycyshina MA, Nefedova GE. *Vosstanovlenie kognitivnyh funkcij u bol'nyh s organicheskimi porazhenijami golovnogogo mozga v kompleksnoj medicinskoj rehabilitacii. Klinicheskaja medicina*. 2012;5:36-39. (In Russ.).
- Константинов К.В., Сизов В.В., Мирошников Д.Б., Клименко В.М. Новый принцип организации биологической обратной связи в методе биоакустической коррекции функциональных расстройств центральной нервной системы. *Биологическая обратная связь*. 2000;1:31-33. Konstantinov KV, Sizov VV, Miroshnikov DB, Klimento VM. *Novyj princip organizacii biologicheskoj obratnoj svyazi v metode bioakusticheskoj korekcii funkcional'nyh rasstrojstv central'noj nervnoj sistemy. Biologicheskaja obratnaja svjaz'*. 2000;1:31-33. (In Russ.).
- Терешин А.Е., Кирьянова В.В., Константинов К.В., Решетник Д.А., Ефимова М.Ю., Карягина М.В., Савельева Е.К. Биоакустическая коррекция в когнитивной реабилитации пациентов с очаговыми поражениями головного мозга. *Вестник восстановительной медицины*. 2019;5:47-55. Tereshin AE, Kir'yanova VV, Konstantinov KV, Reshetnik DA, Efimova MYu, Karyagina MV, Savel'eva EK. *Bioakusticheskaja korekcija v kognitivnoj rehabilitacii pacijentov s ochagovymi porazhenijami golovnogogo mozga. Vestnik vosstanovitel'noj mediciny*. 2019;5:47-55. (In Russ.).
- Алехнович А.В., Массальский Р.И. Влияние биоакустической коррекции на процесс медицинской реабилитации больных с последствиями переходящих цереброваскулярных нарушений. *Госпитальная медицина: наука и практика*. 2022;5(4):46-49. Alehnovich AV, Massal'skij RI. *Vlijanie bioakusticheskoj korekcii na process medicinskoj rehabilitacii bol'nyh s posledstvijami prehodjashhix cere-*
- brovaskuljarnyh narushenij. *Gospital'naja medicina: nauka i praktika*. 2022;5(4):46-49. (In Russ.).
- Константинов К.В., Леонова М.К. Влияние акустической ЭЭГ-зависимой стимуляции на параметры вербальной и образной кратковременной памяти. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2016;4:58-60. Konstantinov KV, Leonova MK. *Vlijanie akusticheskoj JeJeG-zavisimoj stimuljacii na parametry verbal'noj i obraznoj kratkovremennoj pamjati. Biomedicinskaja radioelektronika*. 2016;4:58-60. (In Russ.).
- Колчева Ю.А., Константинов К.В., Скоромец А.П., Беникова Е.В. Применение метода биоакустической коррекции в нейрорепедиатрии: методическое пособие. СПб.; 2018. Kolcheva YuA, Konstantinov KV, Skoromec AP, Benikova EV. *Primenenie metoda bioakusticheskoj korekcii v nejropediatricii: metodicheskoe posobie*. Sankt-Peterburg; 2018. (In Russ.).
- Шугар О.П., Семенова Е.В., Печерский В.И., Мишанина Е.С. *Биоакустическая коррекция в комплексной терапии дорсопатий*. Материалы Юбилейного конгресса с международным участием «XX Давиденковские чтения». Санкт-Петербург, Россия, 27-28 сентября 2018 г. Shugar OP, Semenova EV, Pecherskij VI, Mishanina E.S. *Bioakusticheskaja korekcija v kompleksnoj terapii dorsopatij. Materialy Jubilejnogo kongressa s mezhduнародnym uchastiem «XX Davidenkovskie chtenija»*. Sankt-Peterburg, Rossija, 27-28 sentjabrja 2018 g. (In Russ.).
- Константинов К.В., Карпенко М.Н., Леонова М.К. Динамика уровня серотонина в сеансах прослушивания акустического образа собственной ЭЭГ. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2014;7:32-37. Konstantinov KV, Karpenko MN, Leonova MK. *Dinamika urovnja serotoninina v seansah proslushivaniya akusticheskogo obraza sobstvennoj EeG. Nejrokompjutery: razrabotka, primenenie*. 2014;7:32-37. (In Russ.).
- Кузьмич Г.В., Константинов К.В. Применение биоакустической коррекции при аутизме: эффективность и ограничения. *Детская и подростковая реабилитация*. 2023;1(49):34-41. Kuz'mich GV, Konstantinov KV. *Primenenie bioakusticheskoj korekcii pri autizme: jeffektivnost' i ograniceniya. Detskaja i podrostkovaja rehabilitacija*. 2023;1(49):34-41. (In Russ.).
- Inglebert Y, Debanne D. Calcium and Spike Timing-Dependent Plasticity. *Frontal Cell Neuroscience*. 2021;15:727336. <https://doi.org/10.3389/fncel.2021.727336>
- Lüscher C, Malenka RC. NMDA receptor-dependent long-term potentiation and long-term depression (LTP/LTD). *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2012;4(6):a005710. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a005710>
- Kleeva D, Soghoyan G, Biktimirov A, Piliugin N, Matvienko Y, Sintsov M, Lebedev M. Modulations in high-density EEG during the suppression of phantom-limb pain with neurostimulation in upper limb amputees. *Cerebral Cortex*. 2024;34(2):bhad504. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhad504>
- Брагин М.А., Голобородько Е.В., Ерофеев Г.Г., Золотарева К.В., Михлик И.В., Прудников И.А. Опыт применения биоакустической стимуляции дыхательной системы для медицинской реабилитации в санатории пациентов после COVID-пневмонии. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2021;3(98):21-29. Bragin MA, Goloborod'ko EV, Erofeev GG, Zolotareva KV, Mihlik IV, Prudnikov IA. *Opyt primeneniya bioakusticheskoj stimuljacii dyhatel'noj sistemy dlja medicinskoj rehabilitacii v sanatorii pacijentov после covid-pnevmonii. Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2021;3(98):21-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>
- Разумов А.Н., Пономаренко Г.Н., Бадтиева В.А. Медицинская реабилитация пациентов с пневмониями, ассоциированными с новой коронавирусной инфекцией COVID-19. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2020;97(3):5-13. Razumov AN, Ponomarenko GN, Badtiev VA. *Medicinskaja rehabilitacija pacijentov s pnevmoniyami, associirovannymi s novoj koronavirusnoj infekciej COVID-19. Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2020;97(3):5-13. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort2020970315>

Получена 06.06.2024

Received 06.06.2024

Принята в печать 25.06.2024

Accepted 25.06.2024