



Неинвазивная нейромодуляция как метод обезболивания в комплексной терапии хронической боли в нижней части спины

Е.А. Мельникова¹, Е.Ю. Старкова¹ ✉, М.Р. Макарова², Д.А. Сомов²

¹ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского»; Россия, г. Москва

² ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы»; Россия, г. Москва

РЕЗЮМЕ

Цель обзора: освещение российского и зарубежного опыта применения неинвазивной нейромодуляции с целью обезболивания у пациентов с хронической болью в нижней части спины (БНС); представление различных методов нейромодуляции, а также других реабилитационных технологий, которые могут применяться в сочетании с ней у лиц с БНС; описание параметров и программ нейромодуляции для оптимального проявления анальгезирующего эффекта.

Основные положения. БНС — широко распространенное (встречается у 7,5% мирового населения) и социально значимое заболевание (одна из ведущих причин утраты трудоспособности в мире). Эффективность медикаментозного купирования хронической БНС составляет около 40%, в связи с этим необходим поиск немедикаментозных методов лечения.

Нейропатический компонент хронической БНС связан с перестройкой корковых структур головного мозга. Поэтому нейростимуляция представляется наиболее перспективным подходом к лечению хронической БНС, а транскраниальная электростимуляция постоянным током (ТЭпТ) и ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция (рТМС) лидируют среди методов нейростимуляции по эффективности и безопасности.

Метод рТМС — эффективный и безопасный способ борьбы как с ноцицептивной болью, так и с нейропатической болью, являющейся частым компонентом хронических заболеваний, в частности БНС. Основную зону воздействия представляют участки моторной коры (M1). В сравнении с ТЭпТ рТМС лучше переносится пациентами и демонстрирует лучшие результаты в отношении купирования боли.

Заключение. Болевой синдром серьезно ограничивает возможность проведения реабилитационных мероприятий пациентам с БНС, при этом медикаментозные средства купирования боли обладают относительно низкой эффективностью. Мы предлагаем включить обезболивающую нейромодуляцию в комплексную терапию у таких больных. Наиболее популярными и эффективными методами нейростимуляции являются ТЭпТ и рТМС.

Ключевые слова: боль в нижней части спины, реабилитация, транскраниальная магнитная стимуляция, нейропатическая боль.

Для цитирования: Мельникова Е.А., Старкова Е.Ю., Макарова М.Р., Сомов Д.А. Неинвазивная нейромодуляция как метод обезболивания в комплексной терапии хронической боли в нижней части спины. Доктор.Ру. 2023;22(6):60–66. DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-6-60-66



Non-invasive Neuromodulation as a Pain Management Method in a Combined Therapy of Chronic Lower Back Pain

E.A. Melnikova¹, E.Yu. Starkova¹ ✉, M.R. Makarova², D.A. Somov²

¹ M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical Research Institute; 61/2 Shchepkin St., Moscow, Russian Federation 129110

² Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine; 53 Zemlyanoy Val St., Moscow, Russian Federation 105120

ABSTRACT

Aim: To describe the Russian and foreign experience in the use of non-invasive neuromodulation for pain management in patients with chronic lower back pain (LBP); to present various neuromodulation techniques and other rehabilitation methods which can be used in combination with neuromodulation in patients with LBP; to describe neuromodulation parameters and programs for an optimal analgesic effect.

Key points. LBP is a common (affecting 7.5 % of the world population) and socially significant condition (one of the leading causes of disability worldwide). The efficiency of drug pain management in chronic LBP is approximately 40 %, therefore, non-drug treatment options are required.

The neuropathic component of chronic LBP is associated with reorganization in cortex brain structures. Hence, neural stimulation is a most promising approach to chronic LBP management, while transcranial direct current electrotherapy stimulation (TEdC) and rhythmic transcranial magnetic stimulation (rTMS) are the most efficient and safest neural stimulation methods.

rTMS is an efficient and safe approach to the management both of nociceptive and neuropathic pain, which is a common component of chronic conditions, in particular of LBP. The main area of exposure is motor cortex areas (M1). As compared to TEdC, rTMS is better tolerated by patients and demonstrates better pain management results.

Conclusion. Pain syndrome is a significant limitation to rehabilitation in patients with LBP, and drug pain management is inefficient. We suggest that anaesthetic neuromodulation be included into a complex therapy of such patients. The most widely used and efficient neuromodulation techniques are TEdC and rTMS.

Keywords: lower back pain, rehabilitation, transcranial magnetic stimulation, neuropathic pain.

✉ Старкова Елена Юрьевна / Starkova, E.Yu. — E-mail: elena.starkova@inbox.ru

For citation: Melnikova E.A., Starkova E.Yu., Makarova M.R., Somov D.A. Non-invasive neuromodulation as a pain management method in a combined therapy of chronic lower back pain. Doctor.Ru. 2023;22(6):60–66. (in Russian). DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-6-60-66

ВВЕДЕНИЕ

Боль в нижней части спины (БНС), по данным Международной ассоциации по изучению боли (англ. International Association for the Study of Pain), является распространенной глобальной проблемой. В 2017 году ее распространенность среди мирового населения оценивалась примерно в 7,5%, что составляет около 577 миллионов человек. С 1990 года БНС является ведущей причиной лет, прожитых с нетрудоспособностью (англ. Years Lived with Disability), в мире¹.

Существенное значение имеет также негативный экономический эффект БНС: по результатам европейского исследования 2021 года, в котором приняли участие 16 стран, прямые и косвенные затраты на ее лечение составляют 3–10% валового внутреннего продукта европейских государств (6–19 тысяч евро в год на пациента) [1]. БНС вызывает снижение трудоспособности и общего качества жизни, повышает риск психологических и других сопутствующих заболеваний.

Данная категория пациентов чаще всего встречается на амбулаторном приеме у невролога и терапевта. По итогам опроса, проведенного в поликлиниках Москвы, 24,9% пациентов обратились за медицинской помощью в связи с БНС, а 52,9% испытывали БНС в течение последнего года².

Подход к реабилитации пациентов с БНС определяется сроком заболевания, причинами и основными патогенетическими механизмами боли [2]³. При сроке заболевания менее 6 недель (острая БНС) и своевременном назначении курса реабилитации, включающего лечебную физкультуру, медикаментозные и физические методы, прогноз для пациента благоприятный⁴. Однако при хронической БНС эффективность и переносимость фармакологических препаратов ограничены [1]⁵. Поэтому в реабилитации таких пациентов особое место приобретает неинвазивная стимуляция мозга с целью изменения нейрональной активности и создания анальгетического эффекта. В комплексной реабилитации лиц с хронической БНС используются также регулярные занятия лечебной физкультурой, физиотерапия, бальнеологические процедуры, рефлексотерапия [2]⁶. В отечественные клинические рекомендации по ведению пациентов с болью в спине методы неинвазивной нейростимуляции не включены [2]. Между тем авторы десятков зарубежных исследований рекомендуют их как эффективные способы снижения болевого синдрома [3–6].

«Золотым стандартом» нейростимуляции на протяжении многих лет является транскраниальная электростимуляция постоянным током (ТЭпТ). Однако в последние годы для коррекции болевого синдрома активно применяется ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция (рТМС), зарекомендовавшая себя эффективным и безопасным методом при соблюдении определенных требований к интенсивности, частоте, длительности и числу процедур. Метод рТМС используется самостоятельно и в комплексном лечении (реа-

билитации) пациентов с хронической БНС. Максимальный анальгезирующий эффект наблюдался при применении высокочастотной рТМС в области моторной коры (М1) [7–10].

Целью обзора является освещение российского и зарубежного опыта применения неинвазивной нейромодуляции с целью обезболивания у пациентов с хронической болью в нижней части спины, описание различных методов нейромодуляции, а также других реабилитационных технологий, которые могут применяться в сочетании с ней у данных пациентов. Коротко представлены параметры и программы для оптимального проявления анальгезирующего эффекта нейромодуляции.

Оценивая эффективность лечения БНС, большинство зарубежных исследователей исходили из динамики интенсивности боли (визуальная аналоговая шкала, ВАШ), функциональных нарушений (опросники Роланда — Морриса и Освестри) и качества жизни (шкала SP-12). Такими же критериями при оценке эффективности лечения БНС руководствуются российские клиницисты⁷.

В данной работе обобщен опыт российских, европейских, американских, азиатских и австралийских ученых за последние 10 лет. В исследование вошли системные обзоры, мета-анализы, отдельные исследования, представленные в базах данных PubMed, Cochrane и eLIBRARY.

БОЛЬ В НИЖНЕЙ ЧАСТИ СПИНЫ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

В российских клинических рекомендациях «Боль в спине» (2021) БНС определяется как боль, мышечное напряжение и/или скованность, локализованные в области спины между XII парой ребер и нижними ягодичными складками с иррадиацией или без иррадиации в нижние конечности [2].

Это определение также соответствует международному термину, принятому ВОЗ. Синдром БНС (доброкачественная скелетно-мышечная боль в спине) не является нозологической единицей. Структура болевых синдромов в спине: 80–85% — неспецифические боли в спине; 10–15% — радикулопатии; 1–5% — специфические боли в спине, обусловленные серьезной патологией [2]. Вследствие высокой распространенности и невозможности у большей части пациентов установить конкретную анатомическую причину боли синдрому БНС в МКБ-10 придан статус «Боль внизу спины» (M54.5).

По длительности выделяют: острую БНС, которая продолжается до 6 недель (в последней версии отечественных клинических рекомендаций длительность острой боли ограничена 4 неделями); подострую БНС, продолжающуюся от 6 до 12 недель (согласно российским клиническим рекомендациям, 5–12 недель), и хроническую БНС сроком более 12 недель, то есть сверх нормального периода заживления поврежденных тканей [2, 11]. Наиболее благоприятный

¹ International Association for the Study of Pain. Lower back pain has been the leading cause of years lived with disability since 1990 and remains a significant global public health concern. 2021 July 21. URL: <https://www.iasp-pain.org/resources/fact-sheets/the-global-burden-of-low-back-pain/> (дата обращения — 20.06.2023).

² Российское межрегиональное общество по изучению боли (РОИБ). Диагностика и лечение скелетно-мышечных (неспецифических) болей в нижней части спины: Клинические рекомендации. 2021. URL: <https://painrussia.ru/study-of-pain/> (дата обращения — 20.06.2023).

³ Там же.

⁴ Там же.

⁵ Там же.

⁶ Там же.

⁷ Там же.

прогноз с частотой выздоровления от 39% до 90% в течение 6 недель имеет острая БНС [11].

Основные цели терапии БНС: 1) максимально быстрое и полное купирование болевого синдрома; 2) предотвращение хронизации и рецидивирования боли; 3) восстановление работоспособности пациента.

НЕЙРОПАТИЧЕСКАЯ БОЛЬ

Нейропатическая боль — это боль, вызванная поражением центральной или периферической нервной системы [12]. Она встречается с частотой от 3% до 18% и оказывает существенное негативное влияние на качество жизни пациента. В 60% случаев такая боль остается толерантной к медикаментозному лечению [13].

Клинические симптомы нейропатической боли по P. Shiu и соавт. представлены на рисунке 1 [14].

Предполагается, что в развитии нейропатической боли играют роль:

- 1) периферическая сенсбилизация — повышение чувствительности ноцицепторов к нервному импульсу;
- 2) центральная сенсбилизация — пролонгированное высвобождение нейромедиаторов и связывание их с рецептором N-метил-D-аспартата (NMDA), что вызывает повышение уровня внутриклеточного кальция;

Рис. 1. Положительные и отрицательные симптомы нейропатической боли [14]

Fig. 1. Positive and negative neuropathic pain symptoms [14]



Рис. 2. История развития нейростимуляции для лечения боли [16]

Fig. 2. History of neural stimulation development for pain management [16]



3) деафферентация — способность нервной системы генерировать aberrантные ноцицептивные импульсы, которые мозг интерпретирует как боль [15, 16].

Реабилитационные стратегии, направленные на реорганизацию соматосенсорной коры после повреждения, могут быть ценными альтернативными терапевтическими подходами к лечению нейропатической боли [15, 16].

При хронизации БНС к первоначальной ноцицептивной скелетно-мышечной боли присоединяется нейропатический компонент, существенно усложняющий процесс реабилитации и требующий применения других методов лечения, в частности методов центральной и периферической нейростимуляции.

МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕЙРОСТИМУЛЯЦИИ В ЛЕЧЕНИИ НЕЙРОПАТИЧЕСКОЙ БОЛИ

Стандартные методы лечения нейропатической боли в основном фармакологические, применяются, в частности, антидепрессанты, противосудорожные препараты, местные анестетики и опиоиды. Эффективность фармакологических методов составляет 40% [13, 14, 16]. Немедикаментозное лечение включает психологические подходы, физиотерапию, интервенционную терапию и хирургические процедуры. В последние годы вырос интерес клиницистов и исследователей к неинвазивным методам нейростимуляции. Воздействие на мозг природным электричеством с обезболивающей целью известно с древних времен (рис. 2) [16].

Неинвазивная нейростимуляция представляется специалистам наиболее перспективной ввиду ее эффективности и относительной безопасности. Среди методов центральной нейростимуляции в лечении хронической нейропатической боли используются в основном рТМС, ТЭпТ, транскраниальная электростимуляция переменным током, краниальная электротерапия, транскраниальная стимуляция случайным шумом и неинвазивная корковая электростимуляция с пониженным импедансом [14, 17, 18]. При этом ведущими методами являются рТМС и ТЭпТ.

Болеутоляющий механизм рТМС и ТЭпТ заключается в изменении возбудимости коры и синаптической пластичности, регулировании выработки нейротрансмиттеров и влиянии на структурные и функциональные связи областей мозга, связанных с обработкой и регуляцией боли (рис. 3) [13].

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЯ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

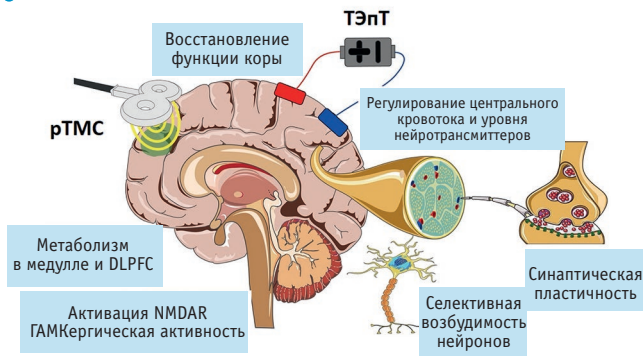
ТЭпТ — наиболее старый метод, впервые упомянутый исследователями более 200 лет назад. Более 25 лет назад он получил второе рождение. ТЭпТ является «золотым стандартом» нейростимуляции — безопасным неинвазивным методом воздействия на кору мозга через наложенные на волосистую

Рис. 3. Общие механизмы нейростимуляции при хронической нейропатической боли [13].

Примечание. Здесь и на рис. 4, 5: ГАМК — гамма-аминомасляная кислота; DLPFC — дорсолатеральная префронтальная кора; NMDAR — рецепторы N-метил-D-аспартата

Fig. 3. General neural stimulation mechanisms in chronic neuropathic pain [13].

Note. Here and in Figures 4, 5: GABA = gamma-aminobutyric acid; DLPFC = dorsolateral prefrontal cortex; NMDAR = N-methyl-D-aspartate receptors



часть головы электроды, соединенные с источником постоянного тока. Источник питания поддерживает напряжение в 9 В. Для уменьшения сопротивления электроды покрывают губками, пропитанными физиологическим раствором или гелем. Размеры используемых электродов для поддержания постоянной плотности тока и фокуса воздействия составляют 25–35 см², плотность тока — от 0,029 до 0,08 мА/см². Анодный электрод несет положительный, а катод — отрицательный заряд [19].

Параметры обезболивающей ТЭПТ. Дизайн протокола ТЭПТ требует установления трех параметров: силы тока, продолжительности процедуры и количества процедур.

ТЭПТ включает анодную и катодную стимуляцию. Когда положительно заряженный электрод (анод) помещается на поверхность головы, часть тока проникает в мозг и поляризует нейроны вблизи электрода, тем самым создавая возбуждение нейронов. Наоборот, отрицательно заряженный

электрод (катод) снижает возбудимость коры и вызывает гиперполяризацию нейронов. В ряде современных исследований ТЭПТ достигала обезболивающего эффекта при силе тока 1–2 мА [4–7]. Большинство авторов рекомендуют процедуры продолжительностью от 20 до 30 минут. По наблюдениям большинства исследователей, обезболивающий эффект достигается при выполнении 5–10 процедур [4, 7].

Есть предположение, что в основе обезболивающего действия ТЭПТ лежит модификация возбудимости нейронов в нейронных цепях, связанных с передачей сигналов боли, путем торможения либо прерывания этих таламических сигналов боли и других гиперактивных сетей локализации боли (рис. 4) [13].

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ

В основе рТМС лежит принцип электромагнитной индукции, впервые открытый Майклом Фарадеем: изменяющееся магнитное поле порождает сопутствующее электрическое поле, которое индуцирует электрические токи в близлежащих проводящих структурах. В 1985 году А. Barker и соавт. предложили использовать магнитное поле для транскраниальной стимуляции. Метод оказался эффективным и заменил транскраниальную электростимуляцию, которая была болезненной и некомфортной для пациента. В большинстве случаев глубина воздействия при магнитной стимуляции ограничивается поверхностным слоем серого вещества головного мозга, однако есть свидетельства более глубокого (7–8 см) проникновения при рТМС, а следовательно, возможно ее влияние и на подкорковые структуры, такие как базальные ганглии и таламус [20].

Выбор места стимуляции на сегодняшний день осуществляется одним из трех нижеперечисленных способов. Большинство специалистов используют *метод на основе вызванного моторного ответа*. В систематическом обзоре К.-L. Zhang и соавт. в 19 из 30 исследований был использован именно он [16]. Оптимальное место стимуляции определяется по мышечному сокращению, обнаруженному визуально или с использованием ЭМГ. Порогом моторного ответа является минимальная интенсивность стимула, необходимая для того, чтобы вызвать хотя бы одно видимое мышечное сокращение [16, 21].

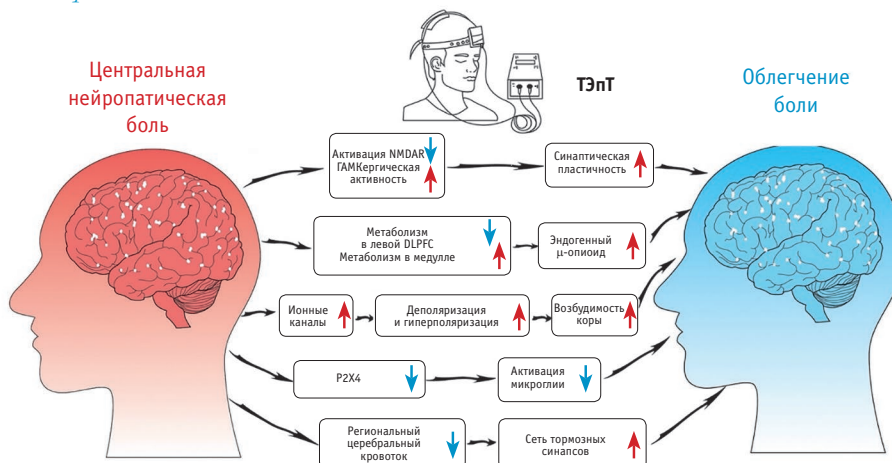
Метод на основе системы ЭЭГ 10/20. Согласно стандартной системе размещения электродов для проведения ЭЭГ

Рис. 4. Нейрофизиологические механизмы транскраниальной электростимуляции постоянным током [13].

Примечание. P2X4 — пуринорецептор 4

Fig. 4. Neurophysiological mechanisms of transcranial direct current electrotherapy stimulation [13].

Note. P2X4 = purine receptor 4



10/20, расстояние между электродами составляет 10% или 20% от индивидуально измеренных размеров головы [16].

Метод нейронавигации. Наиболее точное определение гиперактивных (или гиперметаболических) участков коры предполагает проведение трехмерной T1-взвешенной МРТ, позитронно-эмиссионной томографии или функциональной МРТ [16]. Метод нейронавигации обеспечивает максимальную точность места стимуляции и потенциально повышает эффективность терапии.

Параметры обезболивающей рТМС. Эффективность рТМС в основном определяется четырьмя параметрами: частотой, интенсивностью, количеством импульсов за одну процедуру и общим количеством процедур. Кроме того, катушка в форме восьмерки обеспечивает сфокусированную, более глубокую стимуляцию — большинство авторов рекомендуют для обезболивающей рТМС именно ее [22, 23].

Авторы отмечают эффективность анальгетического эффекта в диапазоне частот 5–20 Гц (K. Gatzinsky и соавт.) либо 10–20 Гц (A.F. Baptista и соавт.) [4, 9]. Интенсивность стимуляции определяется в интервале 80–120% от исходного значения порога моторного ответа [4–6]. Чаще всего используют 1500–3000 импульсов за процедуру, констатируется хороший обезболивающий эффект в данном диапазоне [4–6]. Для достижения более стойкого эффекта большинство авторов рекомендуют проведение 5–10 процедур рТМС [5, 6].

Имеются убедительные доказательства (уровень доказательности — А) высокого контроля над болью при использовании высокочастотной рТМС в области моторной коры (M1), контралатеральной локализации боли [24, 25]. Механизм обезболивающего действия рТМС во многом схож с механизмом транскраниальной электростимуляции (рис. 5) [13].

В 2018 году N.E. O’Connell и соавт. обновили версию оригинального системного обзора 2014 года, посвященного эффективности методов неинвазивной нейростимуляции в лечении хронической боли, добавив 36 новых исследований. Авторами представленных в обзоре работ были обследованы различные группы пациентов с хронической болью, в том числе пациенты, имеющие патологии с дегенеративными изменениями тка-

ней (например при артритах, повреждениях периферических нервов и ЦНС), а также ряд хронических болевых синдромов, таких как фибромиалгия и комплексный регионарный болевой синдром. По данным этого обзора, нейромодуляция является эффективным методом купирования болевого синдрома при большинстве нозологий, вызывающих хронический болевой синдром, включая БНС; среди методов нейростимуляции рТМС характеризуется наиболее выраженным анальгезирующим действием [6]. Для достижения обезболивающего эффекта при нейропатической боли преимущество следует отдавать высокочастотной рТМС, оптимальной областью воздействия является моторная кора (M1) на стороне, контралатеральной локализации боли (уровень доказательности — А) [6].

МЕТОДИКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ НОЦИЦЕПТИВНОЙ БОЛИ. СОЧЕТАННЫЕ МЕТОДИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕЙРОСТИМУЛЯЦИИ

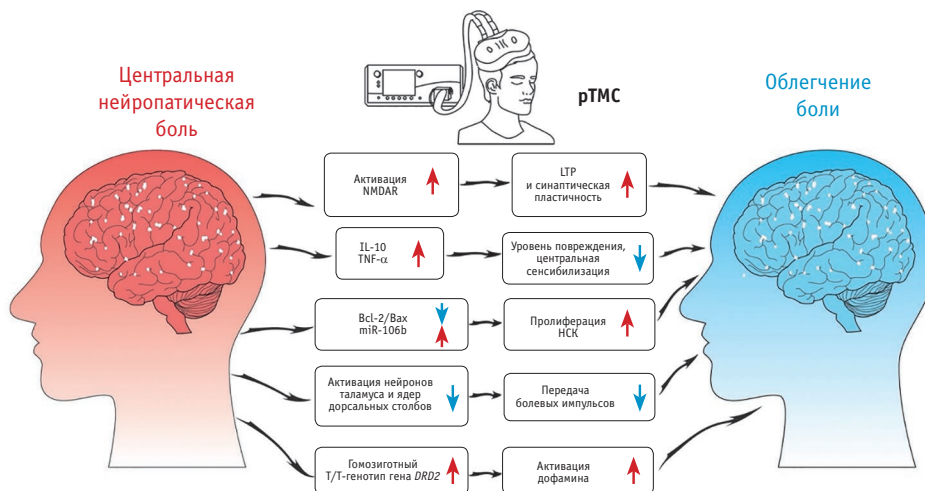
Для уменьшения хронической боли в пояснице, помимо нейростимуляции, можно использовать такие немедикаментозные подходы, как физические упражнения, физиотерапия, мануальная терапия, массаж, когнитивно-поведенческая терапия, рефлексотерапия. Сочетание нейростимуляции с другими видами неинвазивного лечения может усиливать обезболивающий эффект.

Лечебная физкультура является немедикаментозным методом, наиболее часто используемым при БНС, в соответствии с рекомендациями по клинической практике [2, 26]. В широком спектре возможностей лечебной физкультуры выделены упражнения на двигательный контроль (УДК, англ. Motor Control Exercises) вследствие их влияния на снижение болевого симптома [23].

По результатам рандомизированного контролируемого исследования, опубликованного P. Patricio и соавт. в 2021 году, была доказана эффективность сочетания рТМС с УДК и изолированного применения рТМС для снижения болевого синдрома, повышения трудоспособности, снижения боязни движения, улучшения качества жизни и общей субъективной

Рис. 5. Нейрофизиологические механизмы ритмической транскраниальной магнитной стимуляции [13].
Примечание. НСК — нейральные стволовые клетки; Bax — Bcl-2-ассоциированный протеин X; Bcl-2 — B-клеточная лимфома 2; DRD2 — дофаминовый рецептор D2; IL — интерлейкин; LTP (англ. long-term potentiation) — длительная потенция; TNF — фактор некроза опухоли

Fig. 5. Neurophysiological mechanisms of rhythmic transcranial magnetic stimulation [13].
Note. NSC = neural stem cells; Bax = Bcl-2-associated protein X; Bcl-2 = B-cell lymphoma 2; DRD2 = dopamine receptor D2; IL = interleukin; LTP = long-term potentiation; TNF = tumour necrosis factor



оценки изменений в сравнении с контрольными группами пациентов (с применением имитации рТМС и комбинации имитации рТМС с УДК) [23].

Виртуальная реальность (VR) представляет собой обогащенную среду с множественной сенсорной обратной связью (слуховой, визуальной, тактильной). Реабилитация в VR задействует несколько корковых и подкорковых нейронных цепей, которые потенцируют обучение и восстановление пациента [27]. Метод может иметь некоторые преимущества перед традиционными занятиями: он позволяет моделировать реалистичную среду и ситуации из реальной жизни; комплекс упражнений может быть адаптирован для достижения конкретных реабилитационных целей; пациенты дольше сохраняют мотивацию к занятиям в виртуальной среде.

F. Alemanno и соавт. использовали VR-технологии для реабилитации пациентов с БНС. Результаты клинического исследования показали значительное снижение интенсивности болевых ощущений по шкале оценки боли ($p < 0,05$), а также улучшение когнитивных функций ($p < 0,05$), параметров функциональных шкал ($p < 0,05$) и настроения ($p = 0,04$); отмечено повышение эффективности реабилитационного курса по сравнению с результатами в контрольной группе (где применялся стандартный комплекс лечебной физкультуры). Данные вошли в системный обзор R. Cassani и соавт. [27].

Ритмическая периферическая магнитная стимуляция (рПМС) — метод, при котором магнитная катушка располагается в зоне максимальных болевых ощущений в поясничной области.

В пилотном исследовании обезболивающего эффекта рПМС у пациентов с острой БНС, проведенном Y.-H. Lim и соавт. в Корее в 2018 году, уровень боли в группе рПМС снизился в среднем на $12,42 \pm 8,71$ пункта, в то время как в контрольной группе (с применением стандартного комплекса лечебной физкультуры) — на $1,00 \pm 4,67$ пункта. Важным эффектом рПМС, выявленным в этом исследовании, стало также раннее функциональное восстановление. Авторы выдвинули предположение, что снижение болевого синдрома влияет на скорость функционального восстановления. Анализ коэффициента корреляции показал достоверную положительную корреляцию ВАШ с ODI (корейская версия индекса инвалидности Освестри) и RMDQ (корейская версия опросника Роланда — Морриса) [11].

Парная сочетанная стимуляция (ПСС) — сочетание транскраниальной магнитной стимуляции со стимуляцией периферических нервов (СПН) — представляется перспективным инструментом для уменьшения болевого синдрома и двигательных нарушений. ПСС с СПН частотой 50 Гц повышает двигательную активность у пациентов с хроническим повреждением спинного мозга и вызывает устойчивую генерацию вызванного моторного потенциала у здоровых субъектов. ПСС с СПН частотой 100 Гц является эффективным методом, применимым в клинической практике [28].

Магнитотерапия широко используется для лечения острой и хронической боли при заболеваниях опорно-двигательного аппарата. Магнитные поля, применяемые в терапии боли, имеют частоту ниже 100 Гц и плотность магнитного потока в диапазоне от 0,1 до 30 мТл [29]. В последнее десятилетие выросло число случаев применения в терапии боли магнитных полей крайне низкой частоты и низкой интенсивности. Они синхронизируются по частоте с биологическими системами. Этот механизм взаимодействия между магнитными полями сверхнизких частот, магнитным полем Земли и живыми организмами был назван Р.Л. Либоффом (R.L. Liboff) циклотронным резонансом [30].

Клинические наблюдения, проведенные M. Woldańska-Okońska и соавт., обнаружили влияние магнитных полей низкой частоты и магнитной стимуляции на повышение уровня серотонина в сыворотке крови, что также может усиливать обезболивающий эффект при БНС [31]. Большинство авторов не ограничиваются одним методом и используют комплексный подход в реабилитации пациентов с хронической БНС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первоочередной задачей в лечении хронической боли в нижней части спины (БНС) является купирование болевого синдрома. В связи с относительно низкой (40%) эффективностью и ограниченной переносимостью медикаментозной терапии у пациентов с БНС возрастает роль немедикаментозных методов анальгезии, к которым относится неинвазивная нейростимуляция. Последняя представлена рядом методов, наиболее популярными и эффективными из которых являются транскраниальная электростимуляция постоянным током (ТЭпТ) и ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция (рТМС).

ТЭпТ — более ранний и хорошо изученный метод, но он связан с дискомфортом у пациента во время воздействия.

Метод рТМС зарекомендовал себя как эффективный и безопасный способ борьбы с ноцицептивной болью, а также с нейропатической болью, которая часто бывает компонентом хронических заболеваний, таких как БНС. Основной зоной воздействия при рТМС являются участки моторной коры (M1). Метод лучше переносится пациентами и обладает более высокой эффективностью в отношении купирования боли.

Болевой синдром является серьезным ограничением для проведения комплексных реабилитационных мероприятий, куда входят кинезиотерапия, массаж и т. д. Результаты восстановления функции во многом зависят от сроков начала лечения БНС: в острой стадии (в первые 4–6 недель) прогноз выздоровления пациента достигает 90%. Это должно определять для специалиста сроки начала реабилитации, в связи с чем мы предлагаем включать обезболивающую нейромодуляцию в комплексную терапию БНС начиная с острой стадии заболевания.

Вклад авторов / Contributions

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого из авторов: Мельникова Е.А. — разработка концепции и дизайна статьи, научное редактирование и утверждение рукописи для публикации; Старкова Е.Ю., Макарова М.Р. — поиск и анализ литературы, обработка исходного материала, написание текста; Сомов Д.А. — поиск и анализ литературы, обработка исходного материала, написание текста, научное редактирование.

All authors made a significant contribution to the preparation of the article, read and approved the final version before publication. Special contribution: Melnikova, E.A. — study concept and design, scientific editing and approval of the manuscript for publication; Starkova, E.Yu., Makarova, M.R. — search and analysis of references, source material processing, text of the article; Somov, D.A. — search and analysis of references, source material processing, text of the article, scientific editing.

Конфликт интересов / Disclosure

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

Финансирование / Funding source

Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при написании статьи.
This study was not supported by any external sources of funding.

Об авторах / About the authors

Мельникова Екатерина Александровна / Melnikova, E.A. — д. м. н., профессор, руководитель отделения физиотерапии и реабилитации ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского. 129110, Россия, г. Москва, ул. Щепкина, д. 61/2. eLIBRARY.RU SPIN: 8558-0908. <https://orcid.org/0000-0002-7498-1871>. E-mail: melkaterina3@yandex.ru
 Старкова Елена Юрьевна / Starkova, E.Yu. — научный сотрудник отделения физиотерапии и реабилитации ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского. 129110, Россия, г. Москва, ул. Щепкина, д. 61/2. eLIBRARY.RU SPIN: 5334-7258. <https://orcid.org/0000-0001-9371-5934>. E-mail: elena.starkova@inbox.ru
 Макарова Марина Ростиславовна / Makarova, M.R. — к. м. н., доцент, ведущий научный сотрудник отдела медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ. 105120, Россия, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 53. eLIBRARY.RU SPIN: 7640-4570. <https://orcid.org/0000-0002-1787-7015>. E-mail: makarovamr@mail.ru
 Сомов Дмитрий Алексеевич / Somov, D.A. — к. м. н., старший научный сотрудник отдела медицинской реабилитации ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ. 105120, Россия, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 53. eLIBRARY.RU SPIN: 9380-4174. <https://orcid.org/0000-0002-3245-167X>. E-mail: docsomov@bk.ru

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Fullen B., Morlion B., Linton S.J., Roomes D. et al. Management of chronic low back pain and the impact on patients' personal and professional lives: results from an international patient survey. *Pain Pract.* 2022;22(4):463–77. DOI: 10.1111/papr.13103
- Исайкин А.И., Акарачкова Е.С., Исайкина О.Ю., Кондрашов А.А. и др. Боль в спине: Клинические рекомендации. СПб.: Скифия-принт; М.: Профмедпресс; 2021. 80 с. Isaykin A.I., Akarachkova E.S., Isaykina O.Yu., Kondrashov A.A. et al. *Back pain: Clinical guidelines.* St. Petersburg: Skifia-print; M.: Profmedpress; 2021. 80 p. (in Russian)
- Abd-Elseyed A., Tang T., Karri J., Hughes M. et al. Neuromodulation for pain management in the inpatient setting: a narrative review. *Cureus.* 2021;13(3):e13892. DOI: 10.7759/cureus.13892
- Baptista A.F., Fernandes A.M.B.L., Sá K.N., Okano A.H. et al. Latin American and Caribbean consensus on noninvasive central nervous system neuromodulation for chronic pain management (LAC2-NIN-CP). *Pain Rep.* 2019;4(1):e692. DOI: 10.1097/PR9.0000000000000692
- Xiong H.-Y., Zheng J.-J., Wang X.-Q. Non-invasive brain stimulation for chronic pain: state of the art and future directions. *Front. Mol. Neurosci.* 2022;15:888716. DOI: 10.3389/fnmol.2022.888716
- O'Connell N.E., Marston L., Spencer S., DeSouza L.H. Non-invasive brain stimulation techniques for chronic pain. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2018;4(4):CD008208. DOI: 10.1002/14651858
- Cecchi F. Are non-invasive brain stimulation techniques effective in the treatment of chronic pain? *A Cochrane Review Summary with commentary.* *J. Rehabil. Med.* 2020;52(4):jrm00039. DOI: 10.2340/16501977-2663
- Cheng C.-M., Wang S.-J., Su T.-P., Chen M.-H. et al. Analgesic effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on modified 2010 criteria-diagnosed fibromyalgia: Pilot study. *Psychiatry Clin. Neurosci.* 2019;73(4):187–93. DOI: 10.1111/pcn.12812
- Gatzinsky K., Bergh C., Liljegen A., Silander H. et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the primary motor cortex in management of chronic neuropathic pain: a systematic review. *Scand. J. Pain.* 2020;21(1):8–21. DOI: 10.1515/sjpain-2020-0054
- Hamid P., Malik B.H., Hussain M.L. Noninvasive transcranial magnetic stimulation (TMS) in chronic refractory pain: a systematic review. *Cureus.* 2019;11(10):e6019. DOI: 10.7759/cureus.6019
- Lim Y.-H., Song J.M., Choi E.-H., Lee J.W. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on patients with acute low back pain: A pilot study. *Ann. Rehabil. Med.* 2018;42(2):229–38. DOI: 10.5535/arm.2018.42.2.229
- Li C., Sun M., Tian S. Research hotspots and effectiveness of transcranial magnetic stimulation in pain: a bibliometric analysis. *Front. Hum. Neurosci.* 2022;16:887246. DOI: 10.3389/fnhum.2022.887246
- Yang Q.-H., Zhang Y.-H., Du S.-H., Wang Y.-C. et al. Non-invasive brain stimulation for central neuropathic pain. *Front. Mol. Neurosci.* 2022;15:879909. DOI: 10.3389/fnmol.2022.879909
- Shinu P., Morsy M.A., Nair A.B., Mouslem A.K.A. et al. Novel therapies for the treatment of neuropathic pain: potential and pitfalls. *J. Clin. Med.* 2022;11(11):3002. DOI: 10.3390/jcm11113002
- Ngemyam N., Jensen M.P., Auvichayapat N., Punjaruk W. et al. Transcranial direct current stimulation in neuropathic pain. *J. Pain Relief.* 2013(suppl.3):001. DOI: 10.4172/2167-0846.S3-001
- Zhang K.-L., Yuan H., Wu F.-F., Pu X.-Y. et al. Analgesic effect of noninvasive brain stimulation for neuropathic pain patients: a systematic review. *Pain Ther.* 2021;10(1):315–32. DOI: 10.1007/s40122-021-00252-1
- Prasad A., Teh D.B.L., Blasiak A., Chai C. et al. Static magnetic field stimulation enhances oligodendrocyte differentiation and secretion of neurotrophic factors. *Sci. Rep.* 2017;7(1):6743. DOI: 10.1038/s41598-017-06331-8
- Papuć E., Rejda K. The role of neurostimulation in the treatment of neuropathic pain. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2013;Spec.no.1:14–7.
- Rossini P.M., Burke D., Chen R., Cohen L.G. et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee. *Clin. Neurophysiol.* 2015;126(6):1071–107. DOI: 10.1016/j.clinph.2015.02.001
- Deng Z.-D., Lisanby S.H., Peterchev A.V. Electric field depth-focality tradeoff in transcranial magnetic stimulation: simulation comparison of 50 coil designs. *Brain Stimul.* 2013;6(1):1–13. DOI: 10.1016/j.brs.2012.02.005
- Klein M.M., Treister R., Raji T., Pascual-Leone A. et al. Transcranial magnetic stimulation of the brain: Guidelines for pain treatment research. *Pain.* 2015;156(9):1601–14. DOI: 10.1097/j.pain.0000000000000210
- Treister R., Lang M., Klein M.M., Oaklander A.L. Non-invasive transcranial magnetic stimulation (TMS) of the motor cortex for neuropathic pain — at the tipping point? *Rambam Maimonides Med. J.* 2013;4(4):e0023. DOI: 10.5041/RMMJ.10130
- Patricio P., Roy J.-S., Macedo L., Roy M. et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation alone and in combination with motor control exercise for the treatment of individuals with chronic non-specific low back pain (ExTraStim trial): Study protocol for a randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2021;11(3):e045504. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-045504
- Jin Y., Xing G., Li G., Wang A. et al. High frequency repetitive transcranial magnetic stimulation therapy for chronic neuropathic pain: a meta-analysis. *Pain Physician.* 2015;18(6):E1029–46.
- Lefaucheur J.-P., Aleman A., Baeken C., Benninger D.H. et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clin. Neurophysiol.* 2020;131(2):474–528. DOI: 10.1016/j.clinph.2019.11.002
- Paolucci T., Pezzi L., Centra A.M., Giannandrea N. et al. Electromagnetic field therapy: a rehabilitative perspective in the management of musculoskeletal pain — a systematic review. *J. Pain Res.* 2020;13:1385–400. DOI: 10.2147/JPR.S231778
- Cassani R., Novak G.S., Falk T.H., Oliveira A.A. Virtual reality and non-invasive brain stimulation for rehabilitation applications: a systematic review. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2020;17(1):147. DOI: 10.1186/s12984-020-00780-5
- Tolmacheva A., Mäkelä J.P., Shulga A. Increasing the frequency of peripheral component in paired associative stimulation strengthens its efficacy. *Sci. Rep.* 2019;9(1):3849. DOI: 10.1038/s41598-019-40474-0
- Andrade R., Duarte H., Pereira R., Lopes I. et al. Pulsed electro-magnetic field therapy effectiveness in low back pain: A systematic review of randomized controlled trials. *Porto Biomed. J.* 2016;1(5):156–63. DOI: 10.1016/j.pbj.2016.09.001
- Maestú C., Blanco M., Nevado A., Romero J. et al. Reduction of pain thresholds in fibromyalgia after very low-intensity magnetic stimulation: A double-blinded, randomized placebo-controlled clinical trial. *Pain Res. Manag.* 2013;18(6):e101-6. DOI: 10.1155/2013/270183
- Woldańska-Okońska M., Koszela K. Chronic-exposure low-frequency magnetic fields (magnetotherapy and magnetic stimulation) influence serum serotonin concentrations in patients with low back pain — clinical observation study. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(15):9743. DOI: 10.3390/ijerph19159743

Поступила / Received: 02.11.2022

Принята к публикации / Accepted: 05.05.2023