

DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpr627453>

Алгоритм применения различных модальностей транскожной электронейростимуляции при лечении резидуальных позитивных сенсорных симптомов после перенесённой хирургической декомпрессии карпального канала

М.Х. Аль-Замиль^{1, 2, 3}, Р.Р. Кулиев³, Е.С. Васильева^{4, 5}, А.А. Михайлова^{4, 5}, К.В. Котенко^{4, 5}¹ Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия;² Клиника мозга и позвоночника «Оливия», Подольск, Россия;³ Медицинский стоматологический институт, Москва, Россия;⁴ Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского, Москва, Россия;⁵ Российский университет медицины, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Основной причиной резидуальных неврологических симптомов после перенесённой хирургической декомпрессии карпального канала является длительная компрессионная невропатия срединного нерва в карпальном канале в дооперационном периоде, в результате чего постепенно развиваются необратимые морфологические и нейрофизиологические изменения со стороны сдавленного срединного нерва, которые могут не восстановиться после его декомпрессии.

Цель исследования — установить алгоритм применения транскожной электронейростимуляции (ТЭНС) различных модальностей при лечении пациентов с остаточным нейропатическим болевым синдромом после перенесённой хирургической декомпрессии карпального канала.

Материалы и методы. Под нашим наблюдением находились 100 пациентов с остаточными позитивными симптомами после перенесённой успешной хирургической декомпрессии карпального канала. Контрольная группа состояла из 20 пациентов (10 женщин и 10 мужчин) и прошла двухмесячный курс стандартной медикаментозной терапии. Пациенты основной группы ($n=80$) дополнительно к стандартной медикаментозной терапии прошли курс ТЭНС, который начался на втором месяце медикаментозного лечения. В зависимости от формы физиотерапевтической терапии пациенты основной группы были разделены на 4 подгруппы: подгруппа плацебо ТЭНС ($n=20$); подгруппа высокочастотной ТЭНС ($n=20$); подгруппа низкочастотной ТЭНС ($n=20$); подгруппа высокочастотной и низкочастотной ТЭНС ($n=20$). Позитивные сенсорные симптомы (онемение, покалывание, жжение и чувство электростатического разряда) за последние 24 часа оценивали сами пациенты по 10-балльной шкале.

Результаты. При сравнении подгрупп эффективного ТЭНС и плацебо выявлено достоверное снижение позитивных сенсорных симптомов в подгруппах высокочастотной, низкочастотной, высокочастотной в сочетании с низкочастотной ТЭНС на 112, 40 и 163% соответственно. Удалось также установить, что высокочастотная ТЭНС превосходит эффективность низкочастотной ТЭНС почти в 2 раза, однако сочетание частот усиливает терапевтический эффект высокочастотной ТЭНС на 46%.

Заключение. В лечении пациентов с остаточными позитивными сенсорными симптомами рекомендуется применение высокочастотной ТЭНС. При сильных позитивных сенсорных симптомах с развитием вторичных аффективных реакций рекомендуется сочетать высокочастотную ТЭНС с низкочастотной для усиления эффекта.

Ключевые слова: резидуальные неврологические симптомы; хирургическая декомпрессия карпального канала; карпальный туннельный синдром; позитивные сенсорные симптомы; ТЭНС; транскожная электронейростимуляция.

Как цитировать:

Аль-Замиль М.Х., Кулиев Р.Р., Васильева Е.С., Михайлова А.А., Котенко К.В. Алгоритм применения различных модальностей транскожной электронейростимуляции при лечении резидуальных позитивных сенсорных симптомов после перенесённой хирургической декомпрессии карпального канала // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2023. Т. 22, № 5. С. 357–366. DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpr627453>

Рукопись получена: 25.02.2024

Рукопись одобрена: 15.05.2024

Опубликована online: 10.07.2024

DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpr627453>

An algorithm for the use of various transcutaneous electrical nerve stimulation modalities in treatment of patients with residual positive sensory symptoms after surgical decompression of the carpal tunnel

Mustafa Kh. Al-Zamil^{1, 2, 3}, Rufat R. Kuliev³, Ekaterina S. Vasilieva^{4, 5},
Anna A. Mikhailova^{4, 5}, Konstantin V. Kotenko^{4, 5}

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

² Brain and Spine Clinic "Olivia", Podolsk, Russia;

³ Medical Dental Institute, Moscow, Russia;

⁴ Petrovsky National Research Centre of Surgery, Moscow, Russia;

⁵ Russian University of Medicine, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The main cause of residual neurological symptoms after surgical carpal tunnel decompression is long-term compressive neuropathy of the median nerve in the carpal tunnel in the preoperative period. As a result, irreversible morphological and neurophysiological changes gradually develop on the part of the compressed median nerve, which may not recover after its decompression.

AIM: To establish an algorithm for the use of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) of various modalities in the treatment of patients with residual neurological symptoms after undergoing surgical carpal tunnel decompression.

MATERIALS AND METHODS: We observed 100 patients with residual positive symptoms after undergoing successful of surgical decompression of the carpal tunnel. The control group consisted of 20 patients (10 women and 10 men) and underwent a 2-month course of standard drug therapy. The main group ($n=80$), in addition to the standard drug therapy carried out in the control group, underwent a course of TENS, which began on the 2nd month of drug treatment. Depending on the form of TENS therapy, patients of the main group were divided into 4 subgroups: the TENS placebo subgroup ($n=20$) underwent a course of ineffective TENS. High-frequency TENS subgroup ($n=20$) completed a course of high-frequency low-amplitude TENS. Low-frequency TENS subgroup ($n=20$) completed a course of low-frequency high-amplitude TENS. The high-frequency TENS + low-frequency TENS subgroup underwent a simultaneous course of high-frequency TENS and low-frequency TENS ($n=20$). Positive sensory symptoms of numbness, tingling, burning and a feeling of electric charge were rated by the patients themselves over the past 24 hours on a 10-point scale.

RESULTS: When comparing the subgroups of effective TENS (high-frequency TENS, low-frequency TENS, high-frequency TENS + low-frequency TENS) with the subgroup of ineffective TENS (placebo), a significant decrease in positive sensory symptoms was revealed in the subgroups of high-frequency TENS, low-frequency TENS, high-frequency TENS and low-frequency TENS by 112%, 40% and 163% respectively. When comparing the effectiveness of high-frequency TENS and low-frequency TENS with each other, it was possible to establish that high-frequency TENS exceeds the efficiency of low-frequency TENS by almost 2 times. However, the combination of low-frequency TENS with high-frequency TENS enhances the therapeutic effect of the latter by 46%.

CONCLUSION: The use of high-frequency TENS is recommended in the treatment of patients with residual positive sensory symptoms. For strong positive sensory symptoms with the development of secondary affective reactions, it is recommended to combine high-frequency TENS and low-frequency TENS to enhance the effect.

Keywords: residual neurological symptoms; surgical decompression of the carpal tunnel; carpal tunnel syndrome; positive sensory symptoms; TENS; transcutaneous electrical nerve stimulation.

To cite this article:

Al-Zamil MKh, Kuliev RR, Vasilieva ES, Mikhailova AA, Kotenko KV. An algorithm for the use of various transcutaneous electrical nerve stimulation modalities in treatment of patients with residual positive sensory symptoms after surgical decompression of the carpal tunnel. *Russian journal of the physical therapy, balneotherapy and rehabilitation*. 2023;22(5):357–366. DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpr627453>

Received: 25.02.2024

Accepted: 15.05.2024

Published online: 10.07.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Хроническое течение невропатии срединного нерва, представленное нейропатическим болевым синдромом, мышечной гипотрофией, моторным дефицитом и гипестезией в зоне иннервации нерва, может сохраняться в течение 6–12 месяцев после успешной хирургической декомпрессии карпального канала (ХДКК) [1]. Самой частой причиной обращения к медицинской помощи после ХДКК являются позитивные сенсорные симптомы. Эти симптомы могут выявляться у 8,56% пациентов после ХДКК [2, 3].

При диагностике пациентов с остаточными или резидуальными неврологическими симптомами после ХДКК необходимо выявить причину данной патологии. В первую очередь, необходимо с помощью электронейромиографических и ультразвуковых исследований исключить возможные хирургические осложнения. Данная категория пациентов часто нуждается в повторных хирургических вмешательствах (рис. 1). Затем необходимо удостовериться в правильности поставленного диагноза до операции [4]. Например, во многих случаях карпальный туннельный синдром ошибочно диагностируется пациентам с ревматоидным артритом и ревматизмом на основании полученных умеренных изменений при исследовании срединного нерва в карпальном канале с помощью электронейромиографического и ультразвукового исследований (рис. 2). Также часто клиницисты ошибочно принимают дистальную полиневропатию верхних конечностей у пациентов с сахарным диабетом за карпальный туннельный синдром. Естественно, неправильная диагностика в данных случаях создаст больше проблем для оперированных пациентов, так как если они страдали от одного заболевания до операции, то после операции будут страдать от рубцового болевого синдрома и возможных осложнений после дислокации нерва.

Остаточные явления после ХДКК подразумевают симптомы поражения срединного нерва, которые не регрессировали полностью после ХДКК. Основной причиной может стать длительное страдание карпальным туннельным синдромом, вызывающее необратимые морфологические и нейрофизиологические изменения со стороны сдавленного срединного нерва (рис. 3). Онемение, жжение, покалывание и чувство электростатического заряда входят в число самых часто встречающихся позитивных сенсорных симптомов у пациентов после ХДКК. Для таких проявлений характерно усиление ощущений в ночное время и облегчение их после встряхивания рук [5].

Медикаментозная терапия недостаточно эффективна при лечении многих пациентов с остаточными неврологическими симптомами после перенесённого ХДКК, в связи с чем в клиническую практику с каждым годом внедряются новые немедикаментозные методы лечения различных неврологических заболеваний [6–12], в том числе нейропатического болевого синдрома и позитивных сенсорных симптомов. Особый интерес имеет новый

метод — прямая транскожная электронейростимуляция срединного нерва [13]. Проводились редкие работы по изучению данной проблемы, однако малая выборка этих работ требует более широкомасштабных исследований для создания определённых алгоритмов с применением отдельных модальностей тока для достижения более эффективной, долгосрочной и безопасной терапии.

Цель исследования — установить алгоритм применения транскожной электронейростимуляции различных модальностей при лечении пациентов с остаточным нейропатическим болевым синдромом после перенесённой ХДКК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Нами исследованы пациенты с резидуальными неврологическими нарушениями после перенесённой ХДКК. В состав этого исследования вошли 100 пациентов. В зависимости от способа лечения методом случайной рандомизации пациенты были разделены на две группы — основную и контрольную. Контрольная группа, состоящая из 20 пациентов (10 женщин, 10 мужчин), прошла двухмесячный курс стандартной медикаментозной терапии. Основная группа ($n=80$) дополнительно к стандартной медикаментозной терапии, проводимой в контрольной группе, прошла курс транскожной электронейростимуляции (ТЭНС), который начался на втором месяце медикаментозного лечения.

В зависимости от формы немедикаментозной терапии пациенты основной группы были разделены на 4 подгруппы: 1-я подгруппа (20 пациентов; 10 женщин, 10 мужчин) прошла курс неэффективной ТЭНС (плацебо-ТЭНС); 2-я подгруппа (20 пациентов; 10 женщин, 10 мужчин) прошла курс высокочастотной низкоамплитудной ТЭНС (ВЧ ТЭНС); 3-я подгруппа (20 пациентов; 11 женщин, 9 мужчин) прошла курс низкочастотной высокоамплитудной ТЭНС (НЧ ТЭНС); 4-я подгруппа (20 пациентов; 11 женщин, 9 мужчин) прошла курс ВЧ ТЭНС и НЧ ТЭНС (ВЧ ТЭНС+НЧ ТЭНС).

Критерии соответствия

Критерии включения: взрослые в возрасте от 21 года до 55 лет; отсутствие ухудшений со стороны срединного нерва после перенесённой ХДКК по результатам электромиографии; амплитуда М-ответа при исследовании моторных волокон срединного нерва $>2,5$ мВ; длительность симптомов карпального туннельного синдрома до проведения ХДКК не превышает 5 лет; давность перенесённой ХДКК от 6 до 9 месяцев; выраженность позитивных сенсорных симптомов в среднем 5 баллов и более; все участники исследования прошли ХДКК с открытым доступом.

Критерии невключения: эпилепсия и эпилептические синдромы; психические расстройства и снижение когнитивных функций; наследственные полиневропатии;



Рис. 1. Формирование келоидного рубца в области хирургической декомпрессии карпального канала с усилением внутрикарпального давления и нарастанием конфликта срединного нерва с окружающими сухожилиями в карпальном канале.

Fig. 1. Formation of keloid scar in the area of surgical decompression of the carpal tunnel with increased intracarpal pressure and increasing conflict of the median nerve with the surrounding tendons in the carpal tunnel.



Рис. 2. Умеренный карпальный синдром у пациентки с ревматизмом (из-за выраженности болевого синдрома направлена на электронейромиографию для исключения карпального туннельного синдрома).

Fig. 2. Moderate carpal tunnel syndrome in a patient with rheumatism (due to the severity of the pain syndrome, the patient was referred for electroneuromyography to rule out carpal tunnel syndrome).



Рис. 3. Гипотрофия мышц тенара, сохранившаяся у пациента после успешной хирургической декомпрессии карпального канала.

Fig. 3. Hypotrophy of the thenar muscles preserved in a patient after successful surgical decompression of the carpal tunnel.



Рис. 4. Техника стимуляции срединного нерва с помощью низкочастотной транскожной электронейростимуляции.

Fig. 4. Technique of median nerve stimulation using low-frequency transcutaneous electroneurostimulation.

шейная радикулопатии на уровне С6 в клинической картине или в клиническом анамнезе; дистальная полиневропатия верхних конечностей; поражение срединного нерва на любом уровне от плечевого сплетения до карпального канала; наличие в анамнезе инфаркта головного мозга, поражения спинного мозга, травмы головного

или спинного мозга, рассеянного склероза; отёки верхних конечностей; наличие в клинической картине или анамнезе нарушения сердечного ритма или существенных гемодинамических нарушений; вживлённые в тело пациента электронные устройства; проведение ботулинотерапии в любую из мышц верхних конечностей за последние

3 месяца; наличие в клинической картине венозного тромбоза или наличие риска тромбоэмболии; ревматоидный артрит, подагра, псориаз или артрозы суставов верхних конечностей; сахарный диабет 1-го и 2-го типа; атеросклероз сосудов шеи и верхних конечностей; болезнь Рейно; теносиновит де Кервена, деформация или смещение карпometакarpального сустава, артрит суставов кисти; прохождение физиотерапии или акупунктуры после перенесённого ХДКК.

Методы регистрации исходов

Оценка выраженности позитивных сенсорных симптомов проводилась с помощью визуальной аналоговой шкалы (ВАШ). При исследовании позитивных сенсорных симптомов изучали спонтанные и вызванные позитивные сенсорные симптомы. Из спонтанных сенсорных симптомов изучали жжение, онемение, покалывание и чувство электроразряда. Пациенты указывали выраженность этих симптомов по 10-балльной шкале за последние 24 часа.

Для проведения ТЭНС был использован аппарат BTL-4000 Smart/Premium (Великобритания; регистрационное удостоверение № ФСЗ 2010/06686 от 29.04.2010) (рис. 4). Импульсный монополярный и прямоугольный ток применялся в трёх модальностях, как указано в табл. 1.

Этическое утверждение

Протокол исследования одобрен этическим комитетом Медицинского стоматологического института (№ 22-3-1 от 21.03.2022).

Статистический анализ

Результаты исследований представлены в виде $M \pm m$, где M — среднее значение изучаемого параметра,

m — малая ошибка. Достоверность различий показателей между группами определяли с использованием t -критерия Стьюдента. Отличие считалось достоверным при $p < 0,05$.

Статистический анализ проводился с использованием SPSS for Windows, версия 20. Описательная статистика использована для описания значений и стандартного отклонения характеристик участников. Перед анализом данных для проверки их нормальности использовали критерий Шапиро–Уилка, для проверки равенства дисперсий — критерий Левена.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Под нашим наблюдением в медицинском центре негосударственного образовательного частного учреждения дополнительного профессионального образования «Медицинский стоматологический институт» находились 100 пациентов (52 женщины и 48 мужчин) с остаточными (резидуальными) неврологическими симптомами после перенесённой ХДКК.

Выраженность позитивных сенсорных симптомов составила во всех подгруппах основной группы и контрольной группе в среднем $6,38 \pm 0,12$ балла, при этом среднее значение всех позитивных исследованных сенсорных симптомов составило в контрольной группе $6,35 \pm 0,14$ балла, в подгруппе плацебо–ТЭНС — $6,35 \pm 0,15$, в подгруппе ВЧ ТЭНС — $6,5 \pm 0,14$, в подгруппе НЧ ТЭНС — $6,4 \pm 0,15$, в подгруппе ВЧ ТЭНС+НЧ ТЭНС — $6,4 \pm 0,12$ балла. Таким образом, не удалось выявить достоверных отличий между группами по выраженности позитивных сенсорных симптомов до лечения.

Таблица 1. Техника проведения различных модальностей транскожной электростимуляции, применяемых в данном исследовании

Table 1. Technique of the different modalities of transcutaneous electroneurostimulation used in this study

Транскожная электростимуляция				
Модальность	Плацебо	ВЧ	НЧ	ВЧ + НЧ
Частота тока, Гц	1	100	1	Сочетание двух процедур ВЧ и НЧ с наблюдением характеристик тока для каждой процедуры и правил фиксации электродов для каждой из них
Длительность тока, мс	30	100	200	
Амплитуда тока	4 мА	Сенсорные ощущения как вибрация	Моторные подёргивания	
Фиксация электродов	Катод — над карпальным каналом, анод — над дистальными отделами 1-2-3-4-го пальцев	Анод — над карпальным каналом, катод — над дистальными отделами 1-2-3-4-го пальцев	Катод — над карпальным каналом, анод — над дистальными отделами 1-2-3-4-го пальцев	
Длительность процедуры, мин	20	20	20	Длительность ВЧ-процедуры 10 мин, НЧ — 10 мин
Число процедур, n	15	15	15	15
Длительность курса, дней	30	30	30	30

Основные результаты исследования

После лечения у всех исследованных пациентов выявлено достоверное снижение выраженности позитивных сенсорных симптомов, однако наблюдалось большое отличие между подгруппами в зависимости от модальности применяемого тока (рис. 5–8).

В контрольной группе снижение позитивных сенсорных симптомов при исследовании покалывания составило 25%, при исследовании онемения — 23%, жжения — 17%, чувства электроразряда — 26%. В среднем регрессия этих симптомов составила 22%.

В подгруппе плацебо-ТЭНС снижение позитивных сенсорных симптомов при исследовании покалывания составило 34%, при исследовании онемения — 25%, жжения — 21%, чувства электроразряда — 29%. В среднем регрессия этих симптомов составила 27%.

В подгруппе ВЧ ТЭНС симптомы покалывания уменьшились до 60%, онемения — до 55%, жжения — до 56%,

чувства электроразряда — до 56%. В среднем позитивные сенсорные симптомы уменьшились на 57%.

В подгруппе НЧ ТЭНС после лечения симптомы покалывания регрессировали до 40%, онемения — до 35%, жжения — до 37%, чувства электроразряда — до 38%. В среднем данное улучшение составило 37%.

В подгруппе с комплексным применением ТЭНС (ВЧ ТЭНС+НЧ ТЭНС) снижение выраженности позитивных сенсорных симптомов покалывания, онемения, жжения и чувства электроразряда проявилось на 69%, 67%, 73% и 71% соответственно по сравнению с исходными показателями. В среднем данная регрессия составила 70%.

При сравнении полученных результатов в подгруппах основной (ТЭНС) и контрольной (плацебо-ТЭНС) групп отмечено, что ТЭНС повышает эффективность медикаментозной терапии при лечении позитивных сенсорных симптомов в среднем в 1,2 раза. Здесь нельзя не упомянуть, что удалось найти достоверные отличия между

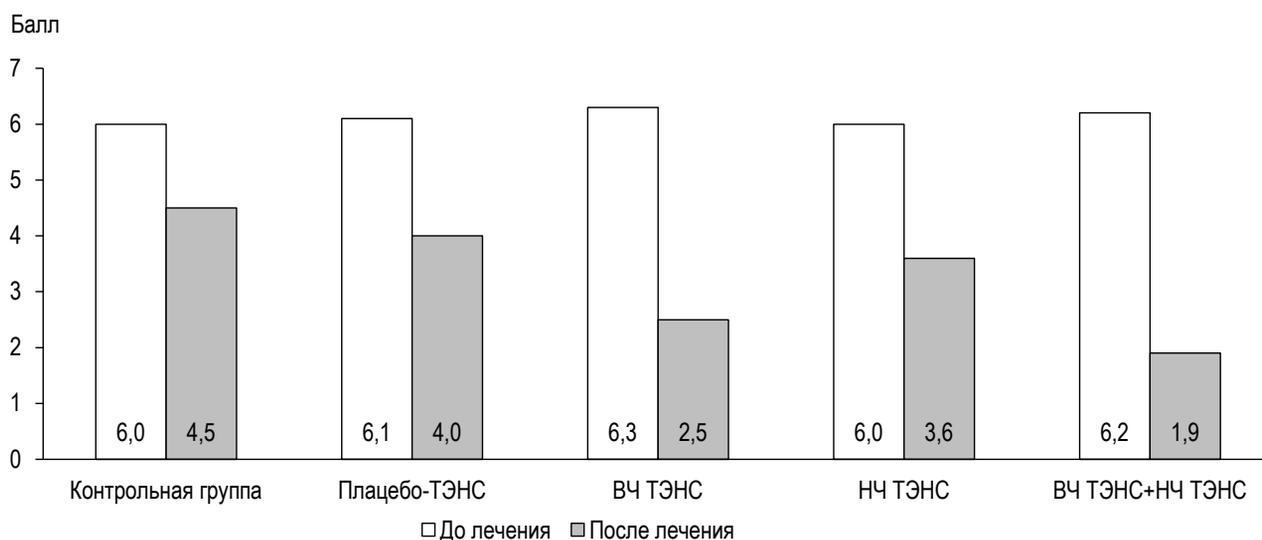


Рис. 5. Динамика симптома покалывания на фоне применения различных модальностей транскутанной электронейростимуляции.
Fig. 5. Dynamics of tingling symptom on the background of application of different modalities of transcutaneous electroneurostimulation.

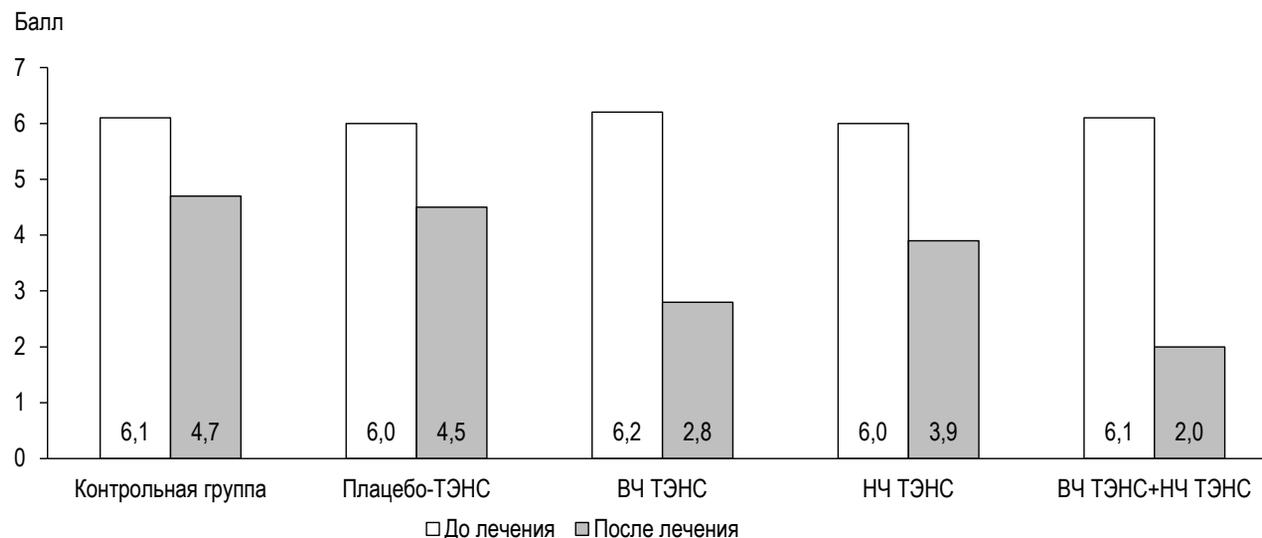


Рис. 6. Динамика симптома онемения на фоне применения различных модальностей транскутанной электронейростимуляции.
Fig. 6. Dynamics of numbness symptom on the background of application of different modalities of transcutaneous electroneurostimulation.

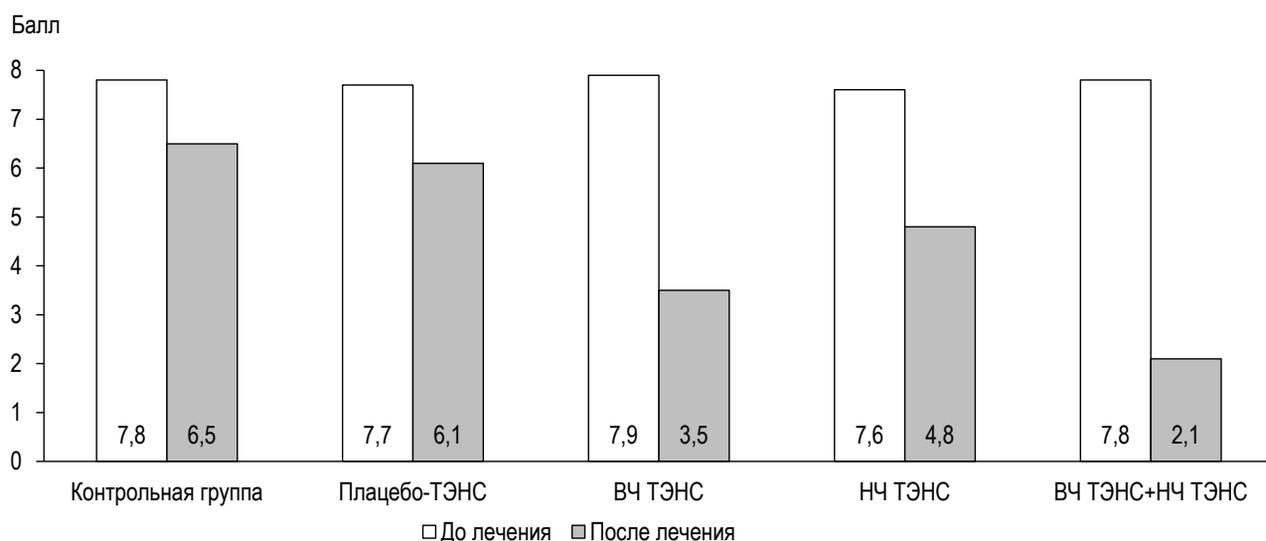


Рис. 7. Динамика симптома жжения на фоне применения различных модальностей транскожной электростимуляции.

Fig. 7. Dynamics of burning symptom on the background of application of different modalities of transcutaneous electroneurostimulation.

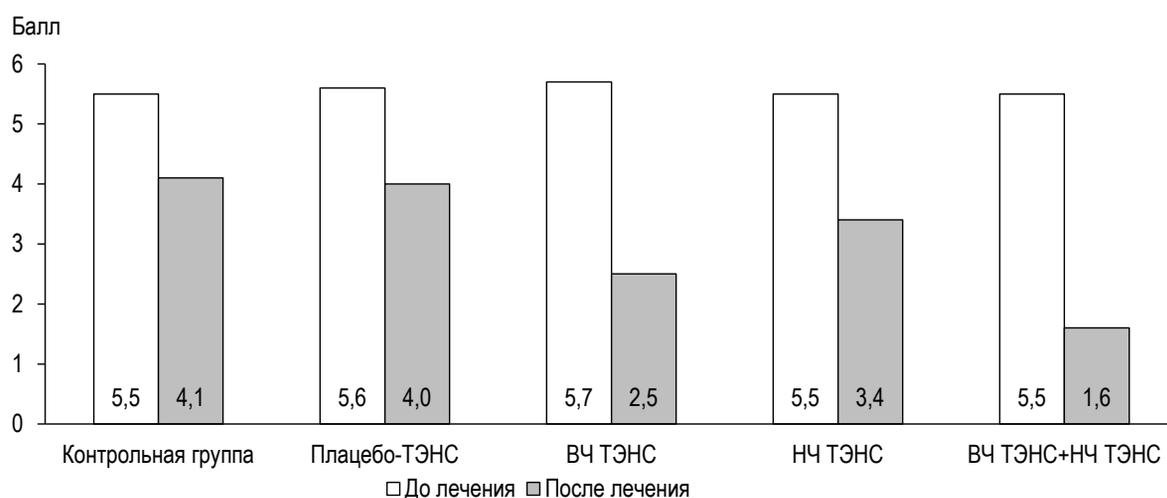


Рис. 8. Динамика симптома чувства электрического заряда на фоне применения различных модальностей транскожной электростимуляции.

Fig. 8. Dynamics of the symptom of electric charge sensation on the background of application of different modalities of transcutaneous electroneurostimulation.

контрольной группой и подгруппой плацебо-ТЭНС на 21%, что свидетельствует о тенденции к улучшению результатов, несмотря на применение неэффективного ТЭНС. Данный эффект возможен за счёт психологического внушения эффекта плацебо.

При сравнении подгрупп эффективной ТЭНС (ВЧ ТЭНС, НЧ ТЭНС, ВЧ ТЭНС+НЧ ТЭНС) с группой неэффективной ТЭНС (плацебо-ТЭНС) выявлено достоверное снижение позитивных сенсорных симптомов в подгруппах ВЧ ТЭНС, НЧ ТЭНС, ВЧ ТЭНС+НЧ ТЭНС на 112%, 40% и 163% соответственно.

Таким образом, достоверно удалось выявить, что различные модальности ТЭНС более эффективны в снижении позитивных сенсорных симптомов по сравнению с применением плацебо-ТЭНС.

При сравнении эффективности ВЧ ТЭНС и НЧ ТЭНС между собой удалось установить, что ВЧ ТЭНС превосходит

эффективность НЧ ТЭНС почти в 2 раза, однако сочетание низких и высоких частот усиливает терапевтический эффект ВЧ ТЭНС на 46%.

ОБСУЖДЕНИЕ

Позитивные сенсорные симптомы, развившиеся у пациентов с остаточными неврологическими симптомами после ХДКК, связаны с увеличением количества натриевых каналов в повреждённых участках. Такое скопление может привести к формированию эктопического очага генерации спонтанных импульсов [13]. Повышенная импульсация из гиперчувствительных ноцицептивных рецепторов и эктопических очагов называется периферической сенситизацией [14]. Чрезмерное поступление импульсов по ноцицептивным афферентам вызывает агрегацию и гипервозбудимость нервных клеток, входящих в систему

передачи и модуляции болевой чувствительности. Такие клетки локализуются в дорсальных рогах спинного мозга, ретикулярной формации ствола головного мозга и таламических ядер. При их гипервозбудимости и формировании эктопических очагов генерации болевых импульсов формируется так называемая центральная сенситизация [15], при которой развивается неадекватная чрезмерная реакция центральных структур на поступление импульсов по ноцицептивным афферентам. Такой феномен развивается в результате временной и пространственной суммации возбуждения, нарастающей потенциации (wind-up, или феномен «взвинчивания»), длительной потенциации (long-term potentiation), длительного центрального облегчения (prolonged central facilitation) и устойчивой деполаризации нейронов [16]. Патогенетическим субстратом центральной сенситизации служит усиление, удлинение и длительное повторение реакции этих структур на кратковременное одиночное ноцицептивное раздражение или раздражение других модальностей чувствительности.

Применение ТЭНС усиливает эффективность стандартной медикаментозной терапии в снижении нейропатического болевого синдрома на 112%. Применение плацебо-ТЭНС имеет умеренный терапевтический эффект за счёт психологического воздействия.

Более выраженный терапевтический эффект был выявлен при применении ВЧ ТЭНС и НЧ ТЭНС. Однако эти группы имеют некоторые отличия между собой. Так, ВЧ ТЭНС оказалась в 2 раза сильнее в снижении позитивных сенсорных симптомов по сравнению с НЧ ТЭНС.

ВЧ ТЭНС обладает выраженным сегментарным анальгезирующим характером, согласно теории входного контроля боли. Интенсивная импульсация по быстрым волокнам возбуждает вставочные нейроны-клетки желатинозной субстанции, находящиеся в 5-ой ламине заднего рога спинного мозга. Желатинозная субстанция при её возбуждении тормозит афферентацию по ноцицептивным афферентам через задний рог спинного мозга. НЧ ТЭНС имеет анальгезирующий эффект другого характера за счёт выброса центральных эндорфинов. По-видимому, данный эффект отстаёт по выраженности от сегментарного воздействия ВЧ ТЭНС. Самое интересное, что сочетание ВЧ ТЭНС и НЧ ТЭНС повышает эффективность ВЧ ТЭНС на 46% за счёт одновременного воздействия на механизмы развития позитивных сенсорных симптомов на разных уровнях (сегментарно и центрально).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Erfanifam T., Anaraki P.H., Vahedi L., et al. The outcomes of carpal tunnel decompression based on electro-diagnostic approaches and clinical symptoms in patients suffering from carpal tunnel syndrome (CTS) // *J Family Med Prim Care*. 2022. Vol. 11, N 6. P. 2411–2416. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_609_21
2. Aydin M., Argun G., Acar B., et al. Residual symptoms after carpal tunnel decompression and treatment with gabapentin:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При лечении пациентов с остаточными позитивными сенсорными симптомами рекомендуется применение ВЧ ТЭНС. При сильных позитивных сенсорных симптомах с развитием вторичных аффективных реакций рекомендуется сочетать ВЧ ТЭНС и НЧ ТЭНС для усиления эффекта.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при подготовке статьи.

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

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: М.Х. Аль-Замиль — концептуализация, методология, валидация полученных данных, написание, рецензирование и редактирование статьи, администрирование проекта; Р.Р. Кулиев — концептуализация, методология, формальный анализ, курирование данных, написание, рецензирование и редактирование статьи; Е.С. Васильева, А.А. Михайлова — программное обеспечение, обзор литературы; К.В. Котенко — программное обеспечение, администрирование проекта.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This work was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The largest contribution is distributed as follows: M.Kh Al-Zamil — conceptualization, methodology, validation of the data obtained, writing, reviewing and editing the article, project administration; R.R. Kuliev — conceptualization, methodology, formal analysis, data curation, writing, reviewing and editing the article; E.S. Vasilyeva, A.A. Mikhailova — software, literature review; K.V. Kotenko — software, project administration.

A multicenter study // *Cureus*. 2021. Vol. 13, N 9. P. e17638. doi: 10.7759/cureus.17638

3. Botte M.J., von Schroeder H.P., Abrams R.A., Gellman H. Recurrent carpal tunnel syndrome // *Hand Clin*. 1996. Vol. 12, N 4. P. 731–743.

4. Miller B.K. Carpal tunnel syndrome: A frequently misdiagnosed common hand problem // *Nurse Pract.* 1993. Vol. 18, N 12. P. 52–56.
5. Joshi A., Patel K., Mohamed A., et al. Carpal tunnel syndrome: Pathophysiology and comprehensive guidelines for clinical evaluation and treatment // *Cureus.* 2022. Vol. 14, N 7. P. e27053. doi: 10.7759/cureus.27053
6. Котенко К.В., Корчажкина Н.Б., Ковалев С.А., и др. Физическая и реабилитационная медицина: национальное руководство. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2023. 912 с. (Серия: Национальные руководства). EDN: STQNKV
7. Котенко К.В., Епифанов В.А., Епифанов А.В., Корчажкина Н.Б. Боль в спине: диагностика и лечение. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 528 с. EDN: WJARJH
8. Котенко К.В., Епифанов В.А., Епифанов А.В., Корчажкина Н.Б. Реабилитация при заболеваниях и повреждениях нервной системы. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 656 с. (Серия: Библиотека врача-специалиста). EDN: YPFLBN
9. Епифанов В.А., Епифанов А.В., Петрова М.С., и др. Реабилитация в травматологии и ортопедии: руководство. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. 560 с. EDN: YUNBYV
10. Епифанов В.А., Епифанов А.В., Котенко К.В., Корчажкина Н.Б. Заболевания и повреждения плечевого сустава. 2-е изд., перераб. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. 448 с. EDN: DZRXXW
11. Амосова Н.А., Арутюнов Г.П., Аухадеев Э.И., и др. Лечебная физическая культура в системе медицинской реабилитации: национальное руководство. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. 896 с. EDN: TVUNJS
doi: 10.33029/9704-7147-0-TPE-2022-1-896
12. Котенко К.В., Епифанов В.А., Епифанов А.В., Корчажкина Н.Б. Заболевания и повреждения плечевого сустава. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 384 с. (Серия: Библиотека врача-специалиста). EDN: YORTQX
13. Al-Zamil M., Minenko I.A., Kulikova N.G., et al. Efficiency of direct transcutaneous electroneurostimulation of the median nerve in the regression of residual neurological symptoms after carpal tunnel decompression surgery // *Biomedicines.* 2023. Vol. 11, N 9. P. 2396. doi: 10.3390/biomedicines11092396
14. Chaban V.V. Peripheral sensitization of sensory neurons // *Ethn Dis.* 2010. Vol. 20, N 1, Suppl. 1. P. S1–3–6.
15. Volcheck M.M., Graham S.M., Fleming K.C., et al. Central sensitization, chronic pain, and other symptoms: Better understanding, better management // *Cleve Clin J Med.* 2023. Vol. 90, N 4. P. 245–254. doi: 10.3949/ccjm.90a.22019
16. Fernández-de-Las-Peñas C., Arias-Burúa J.L., Ortega-Santiago R., De-la-Llave-Rincón A.I. Understanding central sensitization for advances in management of carpal tunnel syndrome // *F1000Res.* 2020. Vol. 9. P. F1000, Faculty Rev-605. doi: 10.12688/f1000research.22570.1

REFERENCES

1. Erfanifam T, Anaraki PH, Vahedi L, et al. The outcomes of carpal tunnel decompression based on electro-diagnostic approaches and clinical symptoms in patients suffering from carpal tunnel syndrome (CTS). *J Family Med Prim Care.* 2022;11(6):2411–2416. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_609_21
2. Aydin M, Argun G, Acar B, et al. Residual symptoms after carpal tunnel decompression and treatment with gabapentin: A multicenter study. *Cureus.* 2021;13(9):e17638. doi: 10.7759/cureus.17638
3. Botte MJ, von Schroeder HP, Abrams RA, Gellman H. Recurrent carpal tunnel syndrome. *Hand Clin.* 1996;12(4):731–743.
4. Miller BK. Carpal tunnel syndrome: A frequently misdiagnosed common hand problem. *Nurse Pract.* 1993;18(12):52–56.
5. Joshi A, Patel K, Mohamed A, et al. Carpal tunnel syndrome: Pathophysiology and comprehensive guidelines for clinical evaluation and treatment. *Cureus.* 2022;14(7):e27053. doi: 10.7759/cureus.27053
6. Kotenko KV, Korchazhkina NB, Kovalev SA, et al. *Physical and rehabilitation medicine: National manual.* 2nd ed., revised and updated. Moscow: GEOTAR-Media; 2023. 912 p. (Series: National Guidelines). (In Russ). EDN: STQNKV
7. Kotenko KV, Epifanov VA, Epifanov AV, Korchazhkina NB. *Pain in the back: Diagnosis and treatment.* Moscow: GEOTAR-Media; 2016. 528 p. (In Russ). EDN: WJARJH
8. Kotenko KV, Epifanov VA, Epifanov AV, Korchazhkina NB. *Rehabilitation in diseases and injuries of the nervous system.* Moscow: GEOTAR-Media; 2016. 656 p. (Series: Library of a medical specialist). (In Russ). EDN: YPFLBN
9. Epifanov VA, Epifanov AV, Petrova MS, et al. *Rehabilitation in traumatology and orthopaedics: Manual.* 3rd ed., revised and updated. Moscow: GEOTAR-Media; 2021. 560 p. (In Russ). EDN: YUNBYV
10. Epifanov VA, Epifanov AV, Kotenko KV, Korchazhkina NB. *Diseases and injuries of the shoulder joint.* 2nd ed., updated. Moscow: GEOTAR-Media; 2021. 448 p. (In Russ). EDN: DZRXXW
11. Amosova NA, Arutyunov GP, Aukhadееv EI, et al. *Therapeutic physical culture in the system of medical rehabilitation: A national guide.* Moscow: GEOTAR-Media; 2022. 896 p. (In Russ). EDN: TVUNJS doi: 10.33029/9704-7147-0-TPE-2022-1-896
12. Kotenko KV, Epifanov VA, Epifanov AV, Korchazhkina NB. *Diseases and injuries of the shoulder joint.* Moscow: GEOTAR-Media; 2017. 384 p. (Series: Library of a medical specialist). (In Russ). EDN: YORTQX
13. Al-Zamil M, Minenko IA, Kulikova NG, et al. Efficiency of direct transcutaneous electroneurostimulation of the median nerve in the regression of residual neurological symptoms after carpal tunnel decompression surgery. *Biomedicines.* 2023;11(9):2396. doi: 10.3390/biomedicines11092396
14. Chaban VV. Peripheral sensitization of sensory neurons. *Ethn Dis.* 2010;20(1 Suppl 1):S1–3–6.
15. Volcheck MM, Graham SM, Fleming KC, et al. Central sensitization, chronic pain, and other symptoms: Better understanding, better management. *Cleve Clin J Med.* 2023;90(4):245–254. doi: 10.3949/ccjm.90a.22019
16. Fernández-de-Las-Peñas C, Arias-Burúa JL, Ortega-Santiago R, De-la-Llave-Rincón AI. Understanding central sensitization for advances in management of carpal tunnel syndrome. *F1000Res.* 2020;9:F1000, Faculty Rev-605. doi: 10.12688/f1000research.22570.1

ОБ АВТОРАХ

* **Аль-Замиль Мустафа Халилович**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
ORCID: 0000-0002-3643-982X;
eLibrary SPIN: 3434-9150;
e-mail: alzamil@mail.ru

Кулиев Руфат Расулович;
ORCID: 0000-0001-7339-8214;
e-mail: roofik-92@mail.ru

Васильева Екатерина Станиславовна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-3087-3067;
eLibrary SPIN: 5423-8408;
e-mail: e_vasilieva@inbox.ru

Михайлова Анна Андреевна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-4260-1619;
eLibrary SPIN: 7673-3241;
e-mail: mikhaylova003@gmail.com

Котенко Константин Валентинович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-6147-5574;
eLibrary SPIN: 5993-3323;
e-mail: noc@med.ru

AUTHORS' INFO

* **Mustafa Kh. Al-Zamil**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
address: 6 Miklukho-Maklaya street, 117198 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-3643-982X;
eLibrary SPIN: 3434-9150;
e-mail: alzamil@mail.ru

Rufat R. Kuliev, MD;
ORCID: 0000-0001-7339-8214;
e-mail: roofik-92@mail.ru

Ekaterina S. Vasilieva, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0003-3087-3067;
eLibrary SPIN: 5423-8408;
e-mail: e_vasilieva@inbox.ru

Anna A. Mikhailova, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-4260-1619;
eLibrary SPIN: 7673-3241;
e-mail: mikhaylova003@gmail.com

Konstantin V. Kotenko, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0002-6147-5574;
eLibrary SPIN: 5993-3323;
e-mail: noc@med.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author