

ДИНАМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНЕЙРОСТИМУЛЯЦИЯ КАК ВАРИАНТ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ АКТИВАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОТЕРАПИИ

УДК 615.844

¹**Василенко А.М.:** главный научный сотрудник отдела планирования и реализации научной продукции, д.м.н., профессор;

²**Рявкин С.Ю.:** Генеральный директор;

³**Черныш И.М.:** старший научный сотрудник лаборатории по разработке и внедрению новых нелекарственных терапевтических методов НИЦ, к.м.н.;

²**Гуров А.А.:** заместитель Генерального директора по науке.

¹ФГБУ «Российский научный центр медицинской реабилитации и курортологии» МЗ РФ, г. Москва, Россия

²Общество с ограниченной ответственностью «Тронитек», г. Екатеринбург, Россия

³ГБОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» МЗ РФ, г. Москва, Россия

DYNAMIC ELECTRONEUROSTIMULATION AS OPTION OF THE PERSONALIZED ACTIVATION ELECTROTHERAPY

Vasilenko AM; Rjavkin SJu; Chernysh IM; Gurov AA

Введение

Современные достижения молекулярной биологии и медицины в виде «омик»-технологий наполнили новым содержанием незыблемый с древних времен принцип персонализированного подхода к пациенту. Геномика, транскриптомика, протеомика, метаболомика и другие составляющие арсенала «омик»-технологий, открывают новые перспективы здравоохранения, в том числе для профилактической и восстановительной медицины [1]. В большинстве современных публикаций обсуждается персонализированное применение фармакологических лекарственных средств [2–4].

Необходимость персонализации врачебных вмешательств отнюдь не ограничивается областью фармакотерапии. Она распространяется на все виды медицинской помощи, в частности, физиотерапию [5, 6], включая широко распространенные методы чрескожной электронейростимуляции (ЧЭНС). Во избежание адаптации пациента, снижающей эффективность процедуры, необходима динамичная коррекция параметров электростимуляции соответственно изменяющемуся функциональному состоянию реципиента. В этой связи актуально применение аппаратуры, обеспечивающей автоматическое изменение частоты следования и амплитуды стимулирующих импульсов на основе анализа сигналов ответных индивидуальных реакций.

Параметры, отражающие индивидуальные реакции на проводимое воздействие, весьма многообразны. Еще в первой трети прошлого века А.Е. Щербак продемонстрировал ведущую роль вегетативной нервной системы (ВНС) в обеспечении лечебного действия электротерапии. С целью направленного действия на симпатический и парасимпатический отделы ВНС им была разработана методика рефлекторно-сегментарной физиотерапии воротниковой и поясничной зон [7]. Методики, основанные на сегментарных вегетативных рефлексах, до настоя-

щего времени широко применяются в физиотерапии. ЧЭНС в зависимости от своих параметров и локализации может вызывать как симпатико-, так и парасимпатикотропный эффекты [8].

Пристальное внимание к ВНС уделяется и в исследованиях по рефлексотерапии. А.И. Нечушкиным и А.М. Гайдамакиной в 1984 г. разработан стандартный вегетативный тест ЦИТО, в основу которого было положено измерение электрокожной проводимости и температуры в точках акупунктуры. В.Г. Макацем с соавт. разработана оригинальная методика вегетативной биодиагностики и основанной на ней биоактивационной терапии, основы которых представлены серией публикаций в журнале «Рефлексотерапевт» за 2011 г. [9]. И.В. Бойцов предложил динамическую сегментарную диагностику, основанную на тестировании кожных симпатических рефлексов. На основе применения этой технологии выдвинута концепция «вегетотома», которая позволяет интерпретировать некоторые положения традиционного учения об акупунктурных каналах с позиций современной вегетологии [10, 11].

Результаты приведенных и ряда других исследований свидетельствуют, что персонализация процедур ЧЭНС может быть обеспечена путём автоматического изменения параметров стимулирующих импульсов в соответствии с изменениями индивидуальных реакций ВНС. Можно предполагать, что среди множества реакций ВНС на проводимую стимуляцию целесообразен выбор самой ранней из них, а именно – изменения поверхностного импеданса кожи подэлектродного пространства (ПИК). Указанное обстоятельство легло в основу разработки технологии динамической электронейростимуляции (ДЭНС) [12].

Цель данной работы состояла в позиционировании ДЭНС как технологии, обеспечивающей персонализацию процедур ЧЭНС на основе мониторинга ПИК (МПИК) в процессе стимуляции.

Материалы и методы исследования

Проведено 2 серии исследований. Первая из них была проведена в процессе обоснования одной из базовых программ ДЭНС – определения минимальной эффективной дозы (МЭД) электростимуляции [13, 14]. В этой серии исследовании приняли участие 5 здоровых добровольцев – мужчин 35–45 лет и 30 амбулаторных пациентов с вертеброгенными болевыми синдромами (18 мужчин и 12 женщин 25–55 лет). Эта же группа пациентов была включена во вторую серию исследований, где им проводили курсовое лечение с применением ДЭНС [15].

Регистрацию изменений импеданса проводили с применением цифрового тестера TES 2360 и цифрового осциллографа VELLEMAN PCS 500. Для регистрации показателей вариационной кардиоинтервалографии (ВКИМ) использовали программно-аппаратный комплекс «ORTO Expert».

Результаты и их обсуждение

Технологию ДЭНС можно представить в виде формулы: ЧЭНС+МПИК=ДЭНС. МПИК предназначен для наблюдения и оценки реакций ВНС по динамике изменений значений емкостной составляющей импеданса подэлектродного участка кожи. Принципиальная схема работы аппаратов ДЭНС представлена на рис. 1.

Электрод аппарата для ДЭНС представляет собой конденсатор, контакт которого с кожей приводит к суммированию собственной емкости и емкости подэлектродного участка кожи. Эта сумма и образует емкостную составляющую поверхностного импеданса кожи $C_{плэ}$, которая при стимуляции прогрессивно увеличивается с постепенным выходом на плато до значения единиц и десятков нанофарад в течение нескольких минут. Причиной этого эффекта является повышение симпатического тонуса ВНС, приводящее к усилению перспирации. В связи с выраженными индивидуальными вариациями абсолютных значений ПИК их рациональнее представлять в процентном выражении.

Форма импульса для ДЭНС всегда состоит из двух фаз. Первая фаза, регулируемая по длительности, предназначена для управления выходной мощностью стимулятора. Вторая фаза – это вынужденные затухающие синусоидальные колебания в параллельном контуре, которые выполняют две функции: непосредственно стимуляции и одновременно

служат источником информации для оценки характера самого процесса стимуляции. Активная составляющая импеданса $R_{пэ}$ влияет на амплитуду колебаний и скорость снижения частоты колебаний в контуре. Скорость снижения частоты колебаний зависит от скорости изменения состава кожных выделений в подэлектродной зоне, что в свою очередь зависит от уровня активации ВНС. Изменение емкости подэлектродного участка кожи приводит к изменению частоты во второй фазе.

Формирование сигнала ответной реакции происходит путем преобразования первых полуволн вторых фаз в прямоугольные импульсы с измерением их длительности и контролем динамики их изменения. МПИК лег в основу программы МЭД. При определении МЭД исходили из достижения выраженного физиологического эффекта не только на местном, но и системном уровнях. На рис. 2 представлены временные диаграммы параметров, где на графике «а» изображен характер изменения ПИК, а на графике «b» – типовой график изменения индекса напряжения (ИН) по Р.М. Баевскому.

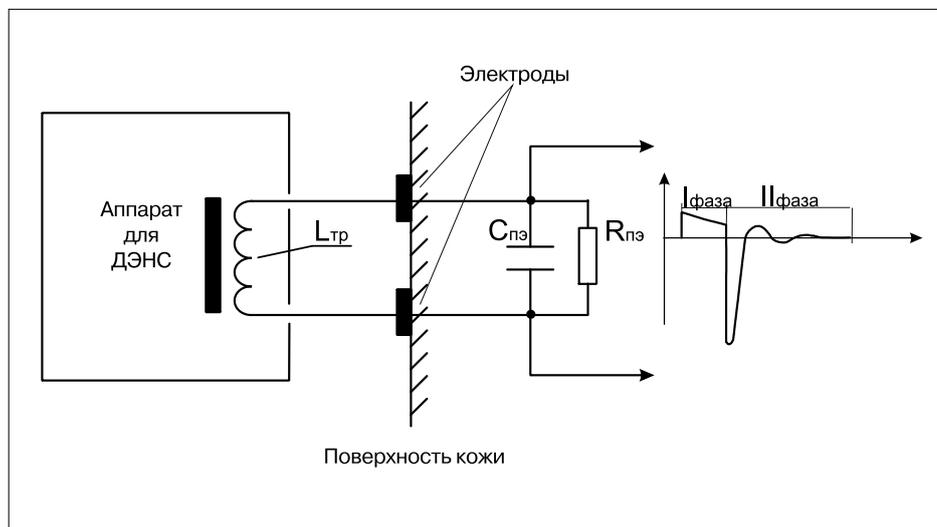


Рис. 1. Принципиальная схема работы аппаратов ДЭНС. **Обозначения:** $L_{тр}$ – индуктивность выходного трансформатора аппарата, $C_{плэ}$ – ёмкостная составляющая импеданса подэлектродного участка кожи, $R_{пэ}$ – активное сопротивление – омическая составляющая импеданса подэлектродного участка кожи.

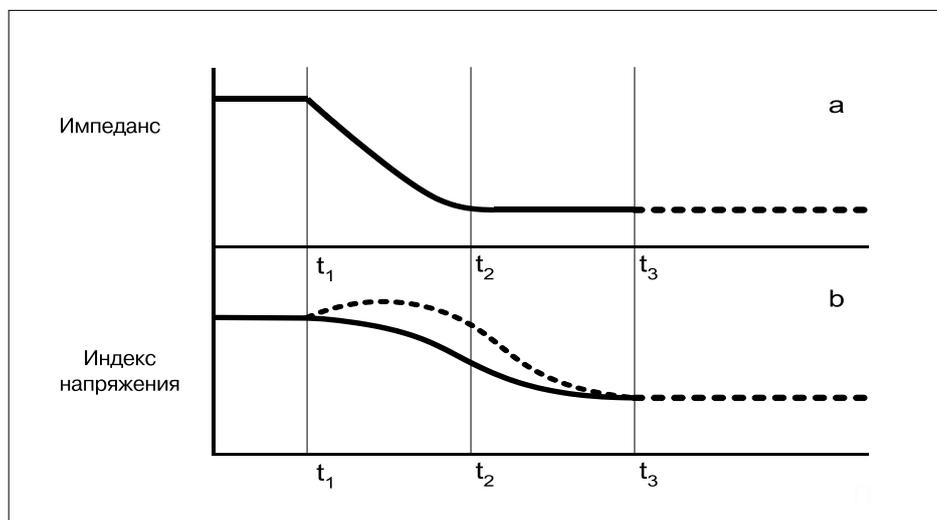


Рис. 2. Изменения импеданса подэлектродного участка кожи и индекса напряжения при проведении программы МЭД (пояснения в тексте).

С началом стимуляции (t_1) увеличиваются значения емкости в подэлектродной зоне Спэ, что приводит к снижению значения импеданса (график «а» от t_1 до t_2) до его стабилизации. После начала стимуляции в зависимости от исходного состояния обследуемого могут наблюдаться противоположно направленные изменения ИН. У пациентов с актуальным болевым синдромом, особенно сопровождающимся признаками дезадаптации, ИН в течение первых 1–1,5 минут повышается на 10–35% (график «b», t_1 , пунктирная линия). После кратковременного периода преобладания симпатикотонии происходит постепенное снижение ИН (график «b» от t_1 до t_2). У обследованных нами здоровых добровольцев и пациентов без признаков дезадаптации первоначального повышения ИН не наблюдалось, он начинал снижаться в течение первых нескольких минут стимуляции. Начиная с момента стабилизации емкостной составляющей (t_2), в течение 1–2 минут стимуляции происходит стабилизация состояния и выход на плато кривой изменения ИН (график «b» до момента t_3).

Параллельно с изменением показателей вегетативной регуляции электропроводности кожи в этот временной диапазон наблюдались и изменения субъективных ощущений испытуемых. Пациенты с болевыми синдромами именно в это время отмечали уменьшение интенсивности боли, а здоровые добровольцы – субъективное снижение амплитуды стимуляции. Таким образом, кратковременная стимуляция обеспечивает ответ со стороны ВНС как на местном, так и системном уровнях, определяя персональную минимальную дозу воздействия.

При курсовом применении ДЭНС у пациентов с вертеброгенными болевыми синдромами было установлено, что повышение симпатического тонуса после 1-й процедуры, продолжающееся до середины курса, типично для пациентов независимо от исходных значений ИН (рис. 3).

Из рис. 3 следует, что, несмотря на аналогичную общую динамику изменений ИН, его количественные характеристики в группах физиологического стресса и компенсированного дистресса существенно различаются. У пациентов с ИН соответствующем диапазону нормальных физиологических значений (30–120 условных единиц [14]) значения ИН возрастали в среднем на 73 %, а по завершении лечебного курса оставались выше исходных значений на 47 %, несмотря на достижение выраженного обезболивающего эффекта. В группе пациентов с исходным ИН соответствующим компенсированному дистрессу (250–400 условных единиц) тенденция к повышению ИН была значительно менее выраженной, составляя в среднем 5%, а его значения по завершении курса оказались на 45,6% ниже исходных значений. В неразделенной на группы когорте включенных в исследование пациентов первоначальное повышение ИН составило 18%, а по оконча-

нии лечения показатель снизился на 37% от исходного. Таким образом, динамика ИН в процессе курса лечения, хотя и в ином временном масштабе, совпадает с вариантом изменений ИН, обозначенной пунктирной линией на графике «b» рис. 2.

Положительный терапевтический эффект в виде снижения интенсивности боли, хотя и в разной мере, проявлялся у всех 30 обследованных пациентов. В данном исследовании не удалось выявить корреляционную связь между степенью повышения ИН после 1-го сеанса и в середине курса лечения с выраженностью обезболивающего ДЭНС.

В общем случае боль представляет собой форму стресса с типичной для этого состояния преобладанием симпатической регуляции, проявляющейся в повышенных значениях ИН. Первоначальное повышение ИН, отражающее усиление симпатической регуляции позволяет рассматривать ДЭНС как вариант активационной терапии. Согласно концепции активационной терапии активность стресс-лимитирующих гомеостатических систем организма существенно повышается под воздействием факторов средней интенсивности, вызывающих неспецифическую адаптационную реакцию активации [17]. В экспериментальных исследованиях [18] показано, что под воздействием ДЭНС происходит изменение соотношения лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов, характеризующее развитие реакции активации. Реакция активации, формируется на фоне повышения симпатического тонуса ВНС. При этом оптимизируются взаимоотношения систем организма, повышающие резервы адаптации и их мобилизационную готовность.

Указанная точка зрения находит подтверждение в публикациях, где ЧЭНС рассматривается как нефар-

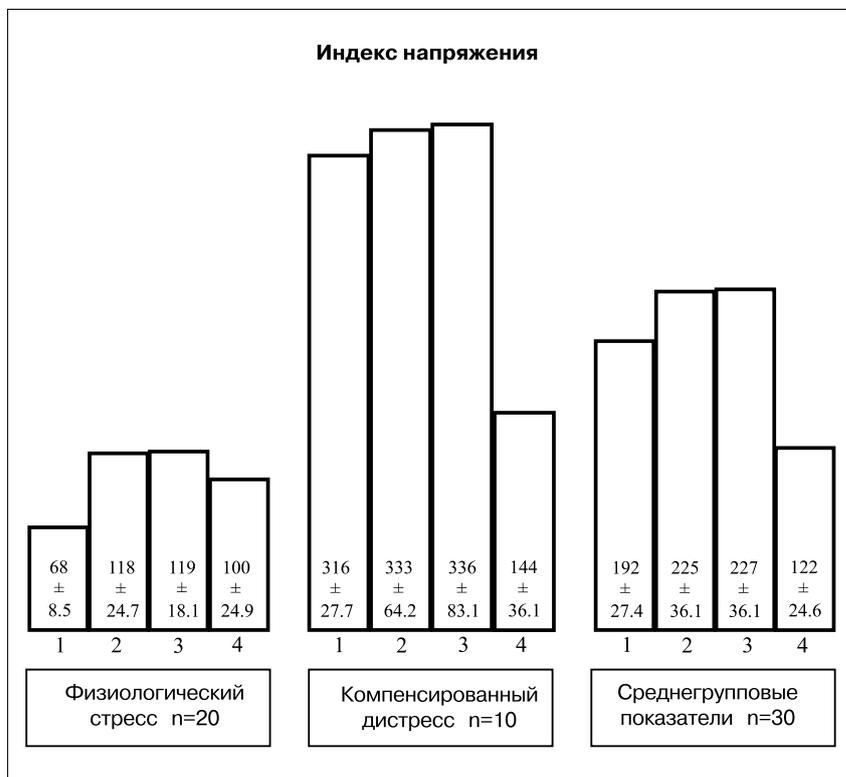


Рис. 3. Динамика индекса напряжения ($M \pm t$) в течение курса ДЭНС. Обозначения: 1 – исходные значения, 2 – после 1-й процедуры, 3 – в середине курса, 4 – по завершении курса лечения.

макологический метод нормализации симпато-вагусного баланса. В модели болезни движения показано, что одновременная ЧЭНС в области шейного отдела позвоночника и акупунктурной точки ST36 вызвала изменения сердечного ритма, артериального давления и кожной температуры, указывающие на повышение симпатического и снижение парасимпатического тонуса. При этом эффективно устранялись симптомы болезни движения [19]. При обследовании пациентов с болью внизу спины показано снижение тонуса парасимпатического и повышение симпатического тонуса. На фоне обезболивающего эффекта электропунктуры паравертебральных точек поясничного отдела позвоночника наблюдали снижение как парасимпатического, так симпатического тонуса [20]. Решающее значение имеет частота следования импульсов. Показано, что у здоровых добровольцев ЧЭНС с частотой 10 Гц приводит к снижению низкочастотных колебаний спектра сердечного ритма (LF), связанного с симпатической активностью и повышению высокочастотных колебаний (HF), отражающего процессы парасимпатической активности. ЧЭНС с частотой 100 Гц вызывает прямо противоположный эффект [21].

Высокая эффективность применения ДЭНС показана при разнообразных заболеваниях и патологических состояниях и широко применяется в восстановительной медицине [22–26]. Приведенные в настоящей публикации результаты дают основание считать, что

наблюдаемый многими авторами обезболивающий эффект ДЭНС в значительной мере обусловлен тем, что в ней заложен принцип персонализированного воздействия, основанный на индивидуальных особенностях реакции со стороны ВНС.

Заключение

Из концепции персонализированной медицинской помощи следует потребность разработки и применения физиотерапевтической аппаратуры с использованием сигналов ответной реакции. В качестве таких сигналов целесообразно применение показателей изменения реактивности ВНС, что легло в основу технологии ДЭНС. Типичной реакцией ВНС на ДЭНС является снижение ПИК. При этом кратковременная стимуляция, проводящаяся для определения МЭД, может вызвать изменения ИН в двух вариантах. В одном из них снижение ИН происходит параллельно со снижением ПИК, в другом имеет место двухфазная реакция в виде первоначального повышения с последующим снижением ИН. Более длительные сеансы ДЭНС, используемые при ее терапевтическом применении, приводят сначала к повышению ИН, которое к завершению лечебного курса становится значительно менее выраженным. Указанная динамика ИН позволяет рассматривать ДЭНС как разновидность персонализированной активационной терапии, мобилизующей индивидуальные адаптационные резервы реципиентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шендеров Б.А. «Омик»-технологии и их значение в современной профилактической и восстановительной медицине // Вестник восстановительной медицины. – 2012. – №3 (49). – с. 70–78.
2. Кукес В.Г., Сычёв Д.А. Персонализированная медицина: новые возможности для повышения безопасности фармакотерапии // <http://www.pravmed.ru/node/30>.
3. Журавлев Ю.И., Назаренко Г.И., Рязанов В.В., Клейменова Е.Б.. Новый метод анализа риска развития ишемической болезни сердца на основании геномных и компьютерных технологий. // Кардиология. – 2011. – № 2. – с. 19–25.
4. Bossuyt P.M. The thin line between hope and hype in biomarker research. JAMA. 2011 Jun 1; 305 (21): 2229–30.
5. Пономаренко Г.Н. Физиогенетика: генетические основы физиотерапии // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2006; 1: 43–46.
6. Пономаренко Г.Н., Обрезная А.Г., Крысюк О.Б. Персонализированная лазеротерапия кардиологических больных как пилотный проект концепции персонализированной физиотерапии // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2006. – № 5. – с. 34–38.
7. Лихтерман Б.В. А. Е. Щербак и его вклад в советскую физиотерапию, «Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры», 1963, № 5.
8. Маляренко Т.Н. Пролонгированное информационное воздействие как немедикаментозная технология оптимизации функций сердца и мозга // Автореф. дисс. д.м.н., Пятигорск, 2005.
9. Макац В.Г., Макац Д.В., Макац Е.Ф. Энергоинформационная система человека, как биофизическая основа вегетативной чжень-цзю терапии // Рефлексотерапевт. – 2011. – №12. – с. 3–21.
10. Бойцов И.В. Динамическая сегментарная диагностика (ДСД-тестирование) // Традиционная медицина. – 2011. – № 2 (25). – С. 19–25.
11. Бойцов И.В. Кожные сегменты вегетативного обеспечения как основа концепции вегетотома // Бюллетень ВШЦ СО РАМН. – Иркутск, 2012. – № 1 (83). – С. 14–17.
12. Малахов В.В., Чернышев В.В., Рязкин А.Ю., Иванов В.В., Рязкин С.Ю. Динамическая электронейростимуляция (ДЭНС). Истоки. Понятия. Эффекты // Рефлексотерапия. – 2005. – №1(12). – с. 14–23.
13. Мейзеров Е.Е., Гуров А.А., Королева М.В. К вопросу о физиологическом обосновании дозировки воздействия при динамической электронейростимуляции // Традиционная медицина. – 2004. – № 1. – С. 58–61.
14. Гуров А.А., Черныш И.М., Мейзеров Е.Е., Черемхин К.Ю., Иванов В.В. Биофизические основы метода ДЭНС // Рефлексотерапия. – 2007. – №1(19). – с. 11–15.
15. Дубова М.Н., Черныш И.М., Петухова Г.Н. Анализ вариабельности сердечного ритма в изучении механизмов саногенеза динамической электронейростимуляции // Вестник восстановительной медицины. – 2011. – № 1 (41). – С. 17–21.
16. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина. – 1997. – 265 с.
17. Гаркави Л.Х. Активационная терапия. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та. – 2006. – 256 с.
18. Жукова Г.В. Использование принципов активационной терапии для повышения противоопухолевой эффективности электромагнитных воздействий в эксперименте автореф. дисс. д.б.н. Ростов-на-Дону. 2006.
19. Chu H, Li MH, Juan SH, Chiou WY. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on motion sickness induced by rotary chair: a crossover study. J Altern Complement Med. 2012 May; 18 (5): 494–500.
20. Shankar N, Thakur M, Tandon OP, Saxena AK, Arora S, Bhattacharya N. Autonomic status and pain profile in patients of chronic low back pain and following electro acupuncture therapy: a randomized control trial. // Indian J Physiol Pharmacol. 2011 Jan-Mar; 55 (1): 25–36.
21. Stein C, Dal Lago P, Ferreira JB, Casali KR, Plentz RD. Transcutaneous electrical nerve stimulation at different frequencies on heart rate variability in healthy subjects. Auton Neurosci. 2011 Dec 7; 165 (2): 205–8.
22. Черемхин К.Ю., Власов А.А., Губернаторова Е.В., Умникова М.В. Возможности применения динамической электронейростимуляции в восстановительной медицине (обзор) // Вестник восстановительной медицины. – 2008. – №2 (24). – с. 17–19.
23. Разумов А.Н., Василенко А.М., Бобровицкий И.П., Черемхин К.Ю., Черныш И.М., Гуров А.А. Динамическая электронейростимуляция. Учебное пособие // Москва-Екатеринбург. – 2008. – 138 с.

24. Поляев Б.А., Коришев В.И., Орус-Оол В.К. Восстановительное лечение остеоартроза коленных суставов методом динамической электронейростимуляции // Вестник восстановительной медицины. 2009. № 4 (32). С. 45–49.
25. Ахмадеева Л.Р., Сетченкова Н.М., Магжанов Р.В., Абдрашитова Е.В. Эффективность чрескожной адаптивной динамической электронейростимуляции для лечения неспецифических болей в нижней части спины (рандомизированное слепое плацебо-контролируемое исследование) // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2010. – №4. – с. 57–62.
26. Ахмадеева Л.Р., Сетченкова Н.М., Раянова Г.Ш. Оценка анальгетического эффекта методов чрескожной электронейростимуляции в лечении пациентов с болями в нижней части спины: два рандомизированных контролируемых исследования // Российский журнал боли. – 2011. – т. 2. – с. 117–118.
27. Рявкин С.Ю., Пономаренко Г.Н., Дробышев В.А., Шашуков Д.А., Власов А.А., Василенко А.М. Эффективность применения чрескожной электронейростимуляции при дискогенных дорсопатиях поясничной локализации // Вестник восстановительной медицины. – 2012. № 5, с. 2–10.

РЕЗЮМЕ

Динамическая электронейростимуляция основана на мониторинге поверхностного импеданса кожи подэлектродного пространства. Одновременно со снижением импеданса кожи, указывающим на повышение симпатического тонуса, наиболее типичной реакцией является повышение индекса напряжения ритма сердца (ИН). Эта реакция рассматривается как проявление активации организма, направленная на ограничение болевого стресса. После первой лечебной процедуры ИН увеличивается независимо от его исходной величины. При низком исходном ИН ($68 \pm 8,5$ у.е.) он повышается до уровня немного превышающего верхнюю границу нормального диапазона значений ($118 \pm 24,7$ у.е.), оставаясь таковым до окончания лечебного курса. При исходных значениях ИН, соответствующих компенсированному дистрессу ($316 \pm 27,7$) также имеет место статистически недостоверная тенденция к его повышению, а к завершению курса он достоверно снижается до 144 у.е. ДЭНС, основанная на автоматической корректировке параметров стимуляции в соответствии с индивидуальными изменениями импеданса кожи подэлектродного пространства представляет собой реализацию персонализированной активационной терапии в формате физиотерапии.

Ключевые слова: динамическая электронейростимуляция персонализированная активационная терапия, вегетативная нервная система, поверхностный импеданс кожи, индекс напряжения сердечного ритма.

ABSTRACT

Dynamic electric neurostimulation (DENS) is based on the monitoring of the surface impedance of the skin in under electrode space. At the same time with a reduction in the impedance of the skin, pointing to increased sympathetic tone, the most typical reaction is the increase in the index of stress heart rhythm (ISHR). This reaction is considered as manifestation of activation of the organism, aimed at the restriction of painful stress. After the first treatment procedure ISHR increases regardless of its original size. At low source ISHR ($68 \pm 8,5$ c.u.) it rises to a level slightly exceeding the upper limit of the normal range of values ($118 \pm 24,7$ c.u.), remained so until the end of the treatment course. The initial values ISHR the corresponding offset by distressed ($316 \pm 27,7$) also has a statistically insignificant tendency to its increase, and the completion of the course, he reliably is reduced to 144 c.u.. DENS, based on the automatic adjustment of the parameters of stimulation in accordance with the individual changes to the impedance of the skin in under electrode space is an implementation of the personalized activation therapy in the format of physiotherapy.

Keywords: dynamic electroneurostimulation, personalized activation therapy, vegetative nervous system, the surface impedance of the skin, the index of stress heart rhythm.

Контакты:

Василенко Алексей Михайлович. E-mail: vasilenko-a-m@mail.ru