

УДК 612.821

ПРОЦЕДУРЫ ОБЕЗБОЛИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ, МОДУЛИРУЕМОЙ ДЫХАНИЕМ ПАЦИЕНТА

С.Г.МАТРУСОВ^{*}, А.И.ФЕДОТЧЕВ^{}**

Введение. Самым популярным приемом обезболивания является транскутанная электронейростимуляция (ТЭНС), которая заключается в стимуляции периферических нервов короткими электрическими импульсами, прикладываемыми к интактной поверхности кожи. ТЭНС оказывает обезболивающее действие через активацию центральных структур мозга, которые контролируют выделение природных опиоидных пептидов типа бета-эндорфина. Эффективность имеющихся методов ТЭНС ограничивается феноменом привыкания, при котором мозг отфильтровывает постоянно повторяющиеся стимулы. Для преодоления привыкания предпринимаются многочисленные попытки варьирования одного или нескольких параметров стимуляции. Например, в приборе «Codetron» для этого используется 6 стимулирующих электродов, каждый из которых кратковременно активируется в случайном порядке в ходе лечебного сеанса [1]. В других вариантах ТЭНС применяют стохастические [2] или частотно-модулированные [3] режимы воздействия. Но до сих пор эффективность преодоления привыкания в этих методах остается под вопросом.

Для устранения привыкания и усиления возбудимости заинтересованных структур мозга нами предложен оригинальный подход, предполагающий управление параметрами стимулирующего тока с помощью обратной связи от эндогенного ритма дыхания пациента. Преимущества данного подхода базируются на нескольких моментах: в нем отсутствует феномен привыкания благодаря модуляции раздражений собственным ритмом пациента; модулируемая дыханием электронейростимуляция через резонансные механизмы может навязать организму сигналы, схожие с сигналом собственной саногенной реакции, вследствие чего можно ожидать ликвидацию патологических изменений [4]; при совпадении частот организма с изменяющимися параметрами стимуляции происходит резонансная активация тех структур мозга, которые получают ТЭНС-индуцируемые сигналы и являются посредниками для систем управления болью. Благодаря этому реализуется резонансный принцип организации процедур обезболивания, считающийся специалистами наиболее перспективным [5].

Цель исследования – экспериментальное тестирование описанного подхода, результаты которого представлены ниже.

Методика и организация исследования. Опыты проведены на группе больных, обратившихся в поликлинику с жалобами на острые боли различной этиологии и добровольно согласившихся на обследование. До и после лечебной процедуры каждый пациент оценил выраженность болевых ощущений, а также по 7-балльной шкале дал самооценку своего самочувствия, активности и настроения (тест САН). Стимуляцию осуществляли с помощью серийного транскутанного электронейростимулятора «ЭТНС-01» производства Ковровского механического завода с частотой электрических импульсов 4 Гц и интенсивностью 10 мА. Амплитуда электрических стимулов модулировалась собственным ритмом дыхания пациента в пределах 0,1–10 мА благодаря включению в цепь стимулятора сигналов обратной связи от угольного датчика дыхания, который фиксировался на груди испытуемого.

Регистрацию электрофизиологических реакций – электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в симметричных затылочных отведениях с объединенным ушным электродом, электромиограммы (ЭМГ) лицевых мышц, кожно-гальванического рефлекса (КГР) с правой руки и пневмограммы (ПГ) осуществляли в течение 2 мин перед включением ТЭНС и 2 мин по-

^{*} Пущинская больница с поликлиникой

^{**} Институт биофизики клетки РАН, 142290, г.Пущино, Московской обл., ул. Институтская, 3.

сле окончания процедуры, которая длилась 15 мин. Регистрацию проводили на жесткий диск компьютера после усиления сигналов с помощью 8-канального электроэнцефалографа «Орион» (Венгрия) и их оцифровки с частотой дискретизации 102,4 Гц. Анализ соматических характеристик проводили в отношении амплитудных параметров ПГ, ЭМГ и КГР. Обработка ЭЭГ велась с помощью описанной ранее оригинальной модификации динамического спектрального анализа ЭЭГ [6]. Проводили быстрые преобразования Фурье с вычислением кратковременных спектров для 5-секундных эпох ЭЭГ, которые последовательно смещались друг относительно друга с перекрытием в 50%. Для определения показателей фоновой и постстимульной ЭЭГ проводили гистограммное накопление кратковременных спектров с учетом мощности частотных составляющих в точках локальных максимумов. Полученные таким образом накопленные спектры представляли собой результаты анализа сотен кратковременных спектров и имели разрешающую способность 0,2 Гц.

Результаты. По результатам опроса до и после лечебного воздействия выяснилось, что ТЭНС, модулируемая дыханием пациента, обладает выраженным обезболивающим эффектом: 83% пациентов сообщили о полном прекращении боли, а у 15% было отмечено значительное снижение уровня болевых ощущений. Результаты выполнения теста САН до и после лечебного воздействия показали, что однократное применение модифицированной процедуры ТЭНС привело к росту оценок самочувствия и настроения. Оценки активности практически не изменились. Анализ электрофизиологических данных показал, что применение ТЭНС, модулируемой дыханием пациента, ведет к изменениям ЭЭГ и соматических характеристик по сравнению с уровнем фона.

Суммарные спектры ЭЭГ для правой затылочной зоны приведены на рис. 1.

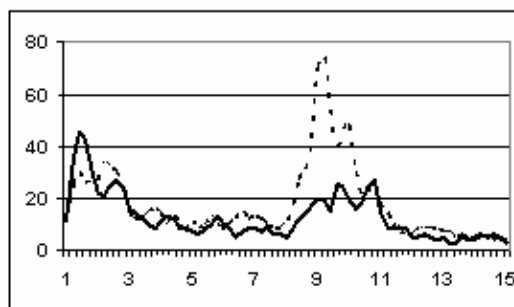


Рис. 1. Спектральные характеристики ЭЭГ в фоне (сплошная линия) и после сеанса обезболивания (пунктир). По оси абсцисс – частота ЭЭГ спектра, Гц. По оси ординат – спектральная плотность, отн. ед.

В результате модифицированной процедуры ТЭНС наблюдаются определенные перестройки спектральной структуры ЭЭГ относительно фона. Наибольшие изменения происходят в выраженности большинства низкочастотных (8–10 Гц) компонентов альфа-диапазона, для которых отмечен достоверный ($P < 0.05$) прирост спектральной плотности относительно исходного уровня. Выраженные изменения под влиянием ТЭНС, модулируемой дыханием пациента, были отмечены также для соматических показателей (рис. 2). Наиболее существенный эффект стимуляции наблюдался в отношении характера дыхания, которое стало реже, но с достоверно ($P < 0.01$) возросшей амплитудой. Значимые ($P < 0.05$) величины снижения амплитуды ЭМГ лицевых мышц и КГР являются объективными индикаторами уменьшения болевых ощущений и стресса.

Совокупность изменений ЭЭГ и сдвигов соматических характеристик под влиянием ТЭНС, контролируемой дыханием пациента, демонстрирует релаксационную реакцию ЦНС на это воздействие. Подобные эффекты отмечались ранее для состояний медитации и релаксации [7], при размеренном дыхании [8] и при аудио-визуальных воздействиях,

формируемых на основе биопотенциалов мозга пациента [9]. Однако наличие явных обезболивающих эффектов примененной модификации ТЭНС показывает, что состояние общей релаксации ЦНС сопровождается активацией структур мозга, ответственных за регуляцию уровня эндогенных опиоидных пептидов. При традиционных видах ТЭНС эффекты обезболивания после однократного воздействия, как правило, не наблюдаются, а достигаются в результате нескольких процедур [10].

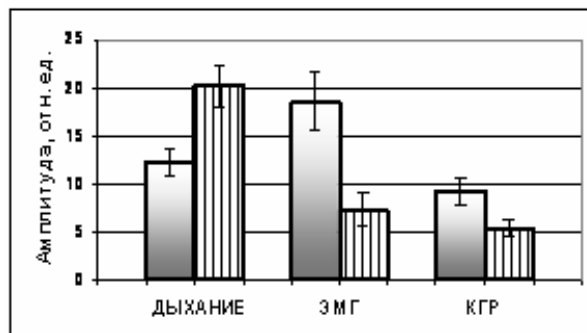


Рис. 2. Средние значения амплитуд дыхания, ЭМГ и КГР до (сплошной фон) и после стимуляции (штриховка)

В ходе лечебных процедур было также обнаружено, что одновременно с обезболиванием у пациентов под влиянием предпринятых воздействий происходят положительные локальные сдвиги в кровоснабжении и обменных процессах непосредственно в точке приложения электрических стимулов. Возможные механизмы таких локальных изменений метаболизма, отмеченных под влиянием электрической стимуляции с модуляцией дыханием пациента, предполагается исследовать в дальнейших экспериментах с помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии. Тем не менее, этот важный факт свидетельствует о потенциальной возможности применения данного подхода для лечения полиартритов, маститов и других подобных заболеваний.

Заключение. Прием автоматической модуляции параметров лечебной электростимуляции эндогенным ритмом дыхания пациента является перспективным путем увеличения эффективности процедур обезболивания. Выявленные под влиянием таких модулированных воздействий релаксационные сдвиги и локальные изменения метаболизма в точках стимуляции указывают, что данный подход может быть основой развития новых методов коррекции функциональных нарушений в организме человека.

Описанный подход реализуется в микропроцессорном устройстве, в котором предусмотрена как амплитудная, так и частотная модуляция электрических стимулов дыхательным ритмом пациента. Кроме того, для стимуляции глубоких тканей и нервных волокон дополнительно предусмотрена возможность генерации интерференционных токов, модулируемых дыханием пациента. Совокупность описанных свойств делает разрабатываемое устройство уникальным прибором, не имеющим аналогов.

Литература

1. Wong R.K. et al. // Int.J.Radiat.Oncol.Biol.Phys.– 2003.– Vol. 57, № 2.– P. 472–480.
2. Bloodworth D.M. et al. // Am.J.Phys.Med.Rehabil.– 2004.– Vol. 83, № 8.– P. 584–591.
3. Farina S. et al. // Eura Medicophys.– 2004.– Vol. 40, № 4.– P. 293–301.
4. Кидалов В.Н. и др. // ВНМТ.– 2005.– Т. 12, № 3-4.– С. 5–10.
5. Цибуляк В.Н. и др. // Анестезиология и реаниматология.– 2000.– № 5.– С. 68–70.
6. Бондарь А.Т., Федотчев А.И. // Физиология человека.– 1999.– Т. 25, № 5.– С. 64–73.
7. Федотчев А.И. и др. // Успехи физиол. наук.– 2000.– Т. 31, № 3.– С. 39–53.
8. Глазачев О.С. и др. // ВНМТ.– 2003.– Т. 10, № 4.– С. 27–29.

9. Федотчев А.И. и др. // 4-я нац. конф. «Информационно-вычислительные технологии в науке (ИВТН-2005)».– М.– 2005.– С. 37.

10. Rushton D.N. // Disabil.Rehabil.– 2002.– Vol. 24, № 8.– P. 407–415.

PAIN REDUCTION VIA ELECTRIC STIMULATION MODULATED BY PATIENT'S BREATHING RATE

S.G.MATRUSOV, A.I.FEDOTCHEV

Summary

To enhance the efficiency of transcutaneous electric stimulation for pain reduction, a promising approach is presented and substantiated. It is based on modulation of the electric currents by own patient's endogenous rhythm, i.e., breath rate. The device for this approach realization and the results of its experimental testing are described.

Key words: electric stimulation, pain reduction, habituation



Матрусов Сергей Герасимович – врач, зав. отделением физиотерапии больницы с поликлиникой Пущинского научного центра РАН. В настоящее время готовит кандидатскую диссертацию по вопросам коррекции функциональных расстройств человека на основе использования ритмических процессов организма пациента.



Федотчев Александр Иванович – д.б.н., в.н.с. Лаборатории механизмов рецепции Института биофизики клетки РАН. Руководит научной группой «Адаптация ЦНС», исследующей механизмы адаптации организма человека и животных к ритмическим раздражениям и разрабатывающей на основе выявленных закономерностей новые компьютерные технологии коррекции функциональных расстройств организма человека.