

наличие в состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами респираторной синусовой аритмии. Колебательный режим биоуправления способен восстановить утраченную респираторную синусовую аритмию и подготовить оператора к более качественному выполнению операторской деятельности. Использование биотехнических систем для комплексной “предстартовой” подготовки специалистов оправдано во всех случаях. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать пути практической реализации комплекса мер по мобилизации резервов операторов и повышения качества деятельности. К ним относится индивидуальная предстартовая подготовка в биотехнической системе, оперативное формирование или восстановление дыхательной аритмии. Наличие в кардиоритме в состоянии расслабленного бодрствования собственной гармоничной, обусловленной дыхательными движениями, является одним из качественных критериев повышения эффективности операторской деятельности.

УДК 57:681.31+61:681.31

Б.М. Владимирский, А.Г. Сухов

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕМЕДИКАМЕНТОЗНОЙ НЕИНВАЗИВНОЙ КОРРЕКЦИИ БОЛИ

Боль – физиологическая реакция, связанная с повреждающими или представляющими потенциальную опасность для организма воздействиями, играющая, таким образом, предупредительную и защитную функцию. Она представляет собой неприятное ощущение, возникающее в результате сложного взаимодействия между сенсорными и когнитивными механизмами. По оценкам ВОЗ только хронические боли, вызываемые болезнями или травмами, затрагивают почти 20% населения Земли и существенно снижают качество жизни, создавая большие проблемы как для отдельного страдающего человека, так и для общества в целом.

Болевые раздражения могут возникать в коже, глубоких тканях и внутренних органах. Эти раздражения воспринимаются рецепторами боли – ноцицепторами, расположенными по всему телу, за исключением головного мозга. Наибольшее ухудшение качества жизни связано с хроническими болями, ключевая особенность которых – обострение чувствительности (сенситизация) сигнальных систем, приводящая к боли и от воздействия обычно не являющихся болезненными стимулов. Такие сенсорные изменения могут иметь место не только в травмированных областях, но и в окружающих их нормальных тканях. Показано, что сенситизация развивается как в самой отвечающей на боль (ноцицепторной) системе, так и внутри центральной нервной системы (ЦНС).

В настоящее время достаточно подробно изучены структурные и функциональные элементы, присутствующие на различных уровнях ноцицепторной системы: от начала сенсорной цепочки до восприятия боли. Известно также, что высшие центры мозга оказывают тормозные и возбуждающие воздействия на низшие центры этой системы. Именно немедикаментозная и неинвазивная коррекция боли путем специальной организации таких воздействий является одной из важнейших медико-технических задач на предстоящие годы.

Создание эффективных немедикаментозных средств коррекции боли потребовало разработки методических и технических средств, обеспечивающих объективизацию оценок боли. В настоящее время предложены и реализованы новые нейрофизиологические подходы оценки болевых порогов, связанные с ноцицептивным флексорным рефлексом (НФР), подавлением под действием внешних факторов (экстероцептивная супрессия) произвольной мышечной активности (ЭС) и возникновением вызван-

ных потенциалов под действием лазерной стимуляции (ЛВП). Из этих подходов для целей создания автоматизированных систем обезболивания наиболее перспективными представляются ЛВП и ЭС.

Привлекательность ЭС состоит в том, что ее можно вызвать не только посредством периферической стимуляции (экстероцептивной), но и через корковую активацию с помощью транскраниальной электромагнитной стимуляции, которая, в свою очередь, может быть использована в другом режиме для обезболивания.

ЛВП появляются в области вертекса при стимуляции кожи рук здоровых испытуемых короткими импульсами инфракрасного лазера. Амплитуда этих потенциалов коррелирует с интенсивностью болевых ощущений. Использование лазера позволяет стандартизировать стимул и использовать разные участки тела для стимуляции.

Механизм действия лазерной инфракрасной стимуляции заключается в генерировании в коже тепловых импульсов, чрезвычайно быстро повышающих температуру кожи ($500^{\circ}\text{C}/\text{с}$), что вызывает активацию расположенных под кожей ноцицепторов. Интенсивное термическое воздействие на ноцицепторы обуславливает мощный синхронный афферентный поток импульсов, достигающих коры головного мозга, что при регистрации выглядит как двухфазный негативно-позитивный потенциал. Использование ЛВП позволяет индивидуализировать оценку болевых ощущений, что является принципиально важным при синтезе автоматизированных систем коррекции боли.

К настоящему времени специалисты существенно продвинулись в понимании процессов, участвующих в формировании и передаче боли, что позволило создать ряд лекарственных препаратов для эффективного контроля над болью. После того, как были открыты опиоидные рецепторы и природные пептиды, имитирующие действие такого известного анальгетика, как морфин, стал возможен синтез и использование широкого класса обезболивающих веществ. Однако использование таких препаратов имеет хорошо известные недостатки, а в некоторых случаях не дает желаемого эффекта. Поэтому в течение последних двадцати-тридцати лет интенсивно ведутся поиски новых методов немедикаментозного ослабления болевых ощущений.

С использованием теории «воротного контроля» был предложен ряд методик, таких как чрезкожная электронейростимуляция, вибрационная стимуляция и некоторые другие, позволяющие частично блокировать передачу ноцицепторной информации в головной мозг. В исключительных случаях, когда хроническая боль становится невыносимой, вживляют стереотаксические электроды непосредственно в головной мозг, через которые осуществляют специально организованную электрическую стимуляцию. Такая стимуляция приносит облегчение двум третям больных на 50 – 100%.

Современные исследования с использованием функциональной магнито-резонансной томографии (фМРТ) показали, что в головном мозге нет отдельного «болевого центра», а восприятие и реакция на боль являются функцией ЦНС в целом. Так было показано, например, что гипноз снижает активность в одних зонах головного мозга, таких, например, как поясная извилина, и повышает в других, например, в базальных ганглиях. За счет этого блокируется часть болевых сигналов, поступающих в высшие центры головного мозга и достигается эффект анестезии.

В самое последнее время в качестве способа, ослабляющего болевые ощущения, начали использовать технологию, связанную с виртуальной реальностью. Пациентам, страдающим от сильной боли, в частности, ожоговым больным предоставляют возможность оказаться в виртуальном пространстве с возможностями действия в нем. Отвлечение внимания при использовании этой информационной технологии позволяет по утверждению авторов методики снизить болевые ощущения даже более эффективно, чем при использовании опиоидов.

Таким образом, можно констатировать, что поиски новых подходов к ослаблению или

ликвидации болевых ощущений ведутся по самым разным направлениям.

По нашему мнению, существенную помощь в понимании центральных механизмов процессов болевого восприятия и анальгезии и выработке путей разработки специальных методик и технических средств для немедикаментозного и неинвазивного ослабления или устранения боли может дать анализ эндогенных и экзогенных механизмов ритмогенеза мозга.

Хорошо известно, что ритмическая активность является неотъемлемым свойством всех живых организмов, что свидетельствует о её фундаментальном значении для реализации процессов, протекающих в организме, в том числе и боли. Важнейшую роль в формировании ритмогенеза и различных функциональных состояний и играют стволовые отделы мозга: гипоталамус и ретикулярная формация, а также образования, образующие лимбическую систему мозга. Лимбическая система, как наиболее древняя структура мозга, непосредственно регулирует врожденные формы поведения, связанные с состояниями голода, жажды, наличием разрушающих болевых воздействий, при которых всегда появляется тета-ритм или ритм напряжения (стресс-ритм). При болевых воздействиях тета-ритм начинает наблюдаться в гиппокампе, островке, таламусе, поясной извилине, а также в первичной и вторичной областях соматосенсорной коры, что свидетельствует об участии этих образований и в восприятии болевых воздействий.

Нами отмечено, что в поясной извилине тета-ритм может сопровождаться гамма-осцилляциями, которые свидетельствуют о резком повышении возбудимости в этой структуре. Введение нембутала блокирует болевую чувствительность и устраняет тета-ритм и гамма-осцилляции, вместо которых в новой коре, в частности, в соматосенсорной начинает регистрироваться веретенообразная активность альфа-частотного диапазона и сигма-ритм, который подавляет тета-ритм и повышает пороги болевой чувствительности, т.е. обладает анальгезирующим эффектом. У нас есть предварительные данные, свидетельствующие о том, что организованные специальным образом афферентные влияния, направленные на блокаду тета- и гамма-ритма и усиливающие веретенообразную активность могут дать определенный обезболивающий эффект.

Эти данные позволяют наметить стратегию разработки принципиально нового подхода к реализации немедикаментозной и неинвазивной коррекции боли. Известно, что не только внутренние органы, но и разные отделы мозга имеют свои проекции на поверхности тела. Поэтому стимуляция определенных областей кожной поверхности может изменять характер активности тех или иных нервных центров. Эта стимуляция, например, электрокожная, может быть подпороговой, но, тем не менее, если она имеет определенный паттерн, то может приводить к модуляции ритмической активности в нужных нам нервных образованиях.

Медико-технологический процесс неинвазивного немедикаментозного ослабления или ликвидации боли может выглядеть по-разному в зависимости от того является ли боль кратковременной или хронической. Например, кратковременные головные боли можно купировать с использованием лазерной стимуляции зон, расположенных в области скальпа, используя описанную выше идеологию. Дело в том, что локализация рефлекторных зон в определенной мере совпадает с анатомической проекцией структур головного мозга, поэтому воздействие на эти зоны может приводить к изменениям ритмической активности соответствующих отделов мозга. При этом особое значение принадлежит возможности модуляции функционального состояния лимбико-ретикулярного комплекса, который наиболее сильно вовлечен в процессы, связанные с болью.

Таким образом, при разработке систем для неинвазивной и немедикаментозной коррекции боли необходимо учитывать следующее.

Во-первых, знание истинных топографических проекций отдельных отделов мозга, связанных с реализацией механизмов боли, является обязательным условием реализации

эффективного медико-технологического процесса. Эти проекции могут быть найдены с использованием современной тепловизионной техники.

Во-вторых, такие системы должны быть снабжены блоками для объективной оценки эффекта анальгезии при выбранном режиме стимуляции.

В-третьих, подсистема стимуляции должна быть самонастраивающейся по сигналам от блока объективного контроля уровня боли.

И, наконец, в-четвертых, система коррекции боли должна включать в себя подсистему биологической обратной связи, которая будет модулировать режимы стимуляции проекций разных отделов головного мозга, связанных с болью. Это необходимо для индивидуализации режимов стимуляции в связи с тем, что восприятие боли может зависеть от психогенных, этнических и культуральных особенностей людей.

УДК 612.821

Е.Н. Винарская, Р.А. Кууз, Г.И. Фирсов

**ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ДИСКРИМИНАНТНО-ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ
СПОСОБНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛЯЦИИ ПОЗЫ
В ЗАДАЧАХ КЛИНИЧЕСКОЙ НЕВРОЛОГИИ И СПОРТА**

Основные пути совершенствования метода компьютерной стабильности, направленные на непосредственное его применение в физиологических, психологических и медицинских исследованиях, зависят, в частности, от разработки способов оценки стабильности с позиции теории сигналов и систем. Такой подход требует привлечения достаточно хорошо формализованных способов описания целостной структуры стабильности. В настоящее время известно два основных подхода к анализу стабильности – либо отдельно в сагиттальном и фронтальном направлениях, либо совместно. Первый подход достаточно традиционен, его широко используют при оценке характера стабильностной кривой и ее изменениях при различных патологиях или функциональных нагрузках [1,2]. Второй подход связан как с рассмотрением совместно стабильности в сагиттальном и фронтальном направлениях, так и анализом траектории проекции общего центра давления на плоскость опоры. В последние годы появились работы, в которых к анализу стабильностной информации применяются методы нелинейной динамики, в частности, расчеты корреляционной размерности, ляпуновских показателей, энтропии Шеннона–Колмогорова–Климонтовича [3–8].

В литературе, посвященной анализу процессов регуляции вертикальной позы, неоднократно высказывалось мнение об отсутствии корреляционных связей между сагиттальной и фронтальной составляющими стабильности. Обосновывалось это обычно малыми значениями коэффициента корреляции r . Наши эксперименты показали, что подобное заключение не всегда справедливо, связь между ортогональными составляющими стабильности может быть нелинейной, что не может быть установлено с помощью коэффициента корреляции. Кроме того, корреляционная связь между фронтальной и сагиттальной стабильностями зависит от функционального состояния человека.

Поэтому при обработке стабильности помимо вычисления значений коэффициента корреляции должен выполняться расчет взаимокорреляционной функции, дисперсионного отношения и взаимной дисперсионной функции [9].

Дисперсионное (корреляционное) отношение случайной величины Y относительно X определяется как