

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2012
УДК 615.837.3.03:616.8-009.7].076.9

Действие низкочастотного ультразвука на ноцицептивную чувствительность крыс

В. С. Улащик, Е. Н. Куклова, И. Л. Морозова

Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси, Минск

Проблема боли является мультидисциплинарной проблемой, а поэтому исследование механизмов формирования болевых реакций, ноцицептивной чувствительности и обезболевания актуально для биологии, нормальной и патологической физиологии, практической медицины.

В процессе филогенеза выживанию во внешней среде способствовало формирование болевого ощущения. Наличие в организме млекопитающих ноцицептивной системы обусловлено необходимостью дифференциации тех воздействий, которые могут причинять вред или угрожать их жизни. Если у людей болевое ощущение выявляется по словесному сообщению, то у животных возникновение ноцицептивного возбуждения можно определить лишь по регистрации ответных поведенческих, вегетативных или электрофизиологических показателей [1, 6, 23].

Для оценки ноцицептивной чувствительности адекватными, по мнению большинства исследователей, занимающихся проблемой боли и обезболевания, считаются широко применяемые методы тестирования “tail-flick”-тест [16, 19] и “hot plate”-тест [20, 21, 25], характеризующие защитные двигательные реакции, при которых эмоциональные компоненты выражены минимально. Эти методы являются щадящими по отношению к животному и в то же время позволяют исследовать изменения болевой чувствительности практически на пороговом уровне.

Адекватной моделью продолжительной тонической боли является формалиновый тест – классический метод определения эффективности и особенностей анальгетического действия фармакологических препаратов, физиотерапевтических и других факторов (иглотерапия, электрический ток, лазерное излучение, пайлер-свет и др.) [8, 15, 17, 18, 22, 26]. Особенность формалинового теста заключается в том, что он позволяет зарегистрировать и оценить как острую, так и продолжительную боль. Интенсивность боли, вызванной инъекцией раствора формалина, объективно оценивают по показателям ноцицептивного поведения – по паттернам сгибания,

встряхивания и вылизывания инъекционной конечности, интегрированным на спинальном и супраспинальном уровнях ЦНС [14].

Для обезболевания используются самые различные терапевтические средства. На наш взгляд, новым и перспективным направлением в решении проблемы боли и обезболевания может явиться использование лечебных физических факторов, в частности низкочастотного ультразвука (НУЗ), исследование которого активно проводится в последние годы. Ультразвук (УЗ) легко дозируется по силе и продолжительности, а акустическому раздражению можно подвергнуть не только рецепторы, заложенные в коже, но и интероцепторы, что может иметь значение как для диагностики, так и для терапии.

Что касается обезболивающего действия механических колебаний, то имеются данные такого рода по высокочастотному УЗ [4, 11, 12]. НУЗ отличается более высокой биологической активностью и простотой применения, обладает разнообразными лечебными свойствами, связанными с его антибактериальным, противовоспалительным, противоаллергическим, гипотензивным, рассасывающим действием [4, 5, 10, 12]. Особенности его обезболивающего действия изучены главным образом в клинических наблюдениях, что явно недостаточно.

С учетом изложенного целью данного исследования явилось изучение анальгетического действия импульсного и непрерывного НУЗ различной частоты и интенсивности на экспериментальных моделях острой и тонической боли.

Материалы и методы

Экспериментальное исследование было проведено на взрослых крысах-самцах Вистар массой 200–230 г ($n = 135$). Для экспериментов отбирали животных со средним уровнем двигательной активности и низкой эмоциональностью, определяемых в тесте “открытого поля”. Согласно имеющимся данным литературы, животные с такими характеристиками преобладают в популяции и именно у них развивается наиболее типичная реакция на любое воздействие [1, 3, 9]. Работа с крысами проводилась в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации о гуманном обращении с животными.

Улащик Владимир Сергеевич, д-р мед. наук, проф., рук. отд. медико-физиологических проблем Ин-та физиологии НАН Беларуси; e-mail: biblio@fizio.bas-net.by.

В I серии экспериментов, проведенной на 40 крысах, исследовали влияние на болевую чувствительность НУЗ частотой 22 кГц различной интенсивности (0,2, 0,4, 0,6 и 1 Вт/см²) в непрерывном режиме воздействия. Время экспозиции составляло 10 мин. Для воздействия УЗ использовали аппарат АНУЗТ-1-100 «Тульпан», разработанный в Беларуси при нашем участии, предусматривающий работу в непрерывном и импульсном режимах. Применялась контактная стабильная методика воздействия: излучатель устанавливался неподвижно в области основания хвоста. После удаления волосяного покрова для обеспечения безвоздушного контакта между излучателем и кожей использовали вазелин. Прежде чем озвучивать крыс НУЗ указанных параметров, их подвергали действию острой термической боли, которую моделировали с применением общепринятого теста «горячая пластинка» [15, 21]. В качестве показателя болевой реакции (ЛПБР) – минимальное время (в секундах) с момента помещения животного на нагретую до 50°C металлическую пластинку до момента отдергивания и лизания задней конечности, которые являются первыми проявлениями болевой реакции. После контрольного измерения ЛПБР животных подвергали действию НУЗ указанных выше параметров и сразу же повторно измеряли ЛПБР.

Последующие эксперименты этой серии по определению ЛПБР с применением НУЗ других рабочих частот (44, 60 и 100 кГц) и генерации УЗ проводились по аналогичной методике.

II серия опытов посвящена изучению действия НУЗ на тоническую боль у крыс. Известно, что ранняя фаза тонической боли, длящаяся первые 5–10 мин после инъекции формалина, обусловлена возникновением компонента острой боли формалинового теста и связана в основном с прямой активацией тонких немиелиновых С-волокон, большая часть которых передает импульсацию от болевых рецепторов. Через 10 мин после введения формалина наблюдается развитие II фазы. II тоническая фаза является результатом активации воспалительного процесса в периферических тканях и изменений функций задних рогов серого вещества спинного мозга, где лежат нейроны болевых восходящих путей [24] и по существу является тоническим компонентом болевой поведенческой реакции. Особый интерес представляет период покоя – межфазный интервал, во время которого ноцицептивные паттерны отсутствуют. Природа межфазного интервала до сих пор не выяснена [2].

Прежде чем моделировать тоническую боль, всех животных приучали в течение 10 дней к условиям эксперимента с целью минимизации стрессовых воздействий. Контрольной группе вводился 2,5% раствор формалина подкожно в объеме 0,15 мл в дорсальную поверхность стопы задней конечности. После этого животное помещалось в камеру, сделанную из оргстекла, по периметру которой с трех сторон располагались зеркала, и с помощью видеокамеры проводилась регистрация поведенческих реакций в течение 1 ч.

В наших экспериментах показателем интенсивно-

сти болевой реакции у крыс при экспериментально вызванной тонической боли была выбрана оценка продолжительности паттернов лизания пораженной конечности. Неболевые поведенческие реакции оценивались по продолжительности пассивного поведения, длительность которого рассчитывалась по сумме времени, затраченного животными на сон и покой. Другие показатели поведенческих болевых и неболевых реакций, такие как груминг, количество вылизываний, бег и др., нами не оценивались.

В последующих опытных группах животных исследовали влияние НУЗ частотой 22 кГц при интенсивности излучения 0,4 Вт/см² в непрерывном и импульсном режимах воздействия и времени экспозиции 10 мин. После применения НУЗ указанных параметров крысе подкожно вводили раствор формалина в дозировке и объеме, применяемых в контрольной группе животных, после чего ее помещали в камеру и проводили видеозапись поведенческих реакций в течение часа. Учитывая тот факт, что у грызунов болевой порог в течение суток варьирует [3], эксперименты проводили в одно и то же время светлой половины суток (с 9 до 12 ч).

Статистическую обработку и анализ экспериментальных данных осуществляли с помощью разностного метода для малых выборок и проводили оценку выявленных различий. Вычисляли среднюю разность и среднюю ошибку разности исследуемых показателей контрольной и экспериментальной групп и на их основании строили диаграммы. Для оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали *t*-критерий Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p \leq 0,05$. Расчеты и графическое оформление проводили с использованием программы Microsoft Excel [7].

Результаты и обсуждение

1. Влияние НУЗ различных параметров на показатели острой боли

До проведения озвучивания НУЗ во всех экспериментах измеряли ЛПБР на температурный стимул (тест «горячая пластинка»). Однократное озвучивание кожной поверхности основания хвоста крысы при частоте 22 кГц и интенсивности 0,2 Вт/см² в течение 10 мин сопровождалось достоверным ($p < 0,05$) увеличением ЛПБР на 23,3% (с 28,6 до 35,1 с), что указывает на снижение у животных болевой чувствительности. Повышение интенсивности озвучивания до 0,4 Вт/см² при неизменных других параметрах вызывало еще большее увеличение ЛПБР – на 37,9% (с 22,9 до 31,3 с; $p < 0,05$). В то же время увеличение интенсивности ультразвука до 0,6 и 1 Вт/см² привело к инверсии ответных реакций: латентный период в первом случае достоверно ($p < 0,05$) снизился на 32,4% (с 22 до 14,1 с), во втором – на 18,7% (с 27,6 до 22,4 с; $p < 0,05$). Таким образом, НУЗ с рабочей частотой 22 кГц и низкой интенсивностью (0,2–0,4 Вт/см²) приводит к обезболивающему эффекту, тогда как при более высокой интенсивности он вызывает гипералгезию (рис. 1).

Установленная закономерность не противоречит одному из принципов действия физиотерапевтических факторов, указывающему на то, что малые до-

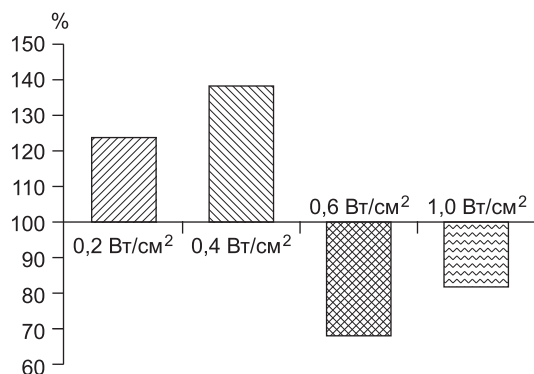


Рис. 1. Изменение величины ЛПБР (в % по отношению к контролю) при применении НУЗ в непрерывном режиме частотой 22 кГц с различной интенсивностью: 0,2 Вт/см² ($n = 10; p < 0,05$); 0,4 Вт/см² ($n = 10; p < 0,05$); 0,6 Вт/см² ($n = 10; p < 0,05$); 1 Вт/см² ($n = 10; p < 0,05$).

зы энергии физического фактора оказываются более адекватными, в частности, для обезболивающего эффекта, чем большие [12]. Полученные данные лишни раз подтверждают, что действие НУЗ весьма существенно зависит от его дозировки и может служить ориентиром для дифференцированного использования фактора.

Изложенные выше факты свидетельствуют о том, что НУЗ частотой 22 кГц и интенсивностью 0,4 Вт/см² оказывает наиболее выраженное ($p < 0,05$) обезболивающее действие. На основании этого в дальнейших экспериментах с другими параметрами УЗ была выбрана интенсивность 0,4 Вт/см².

В следующих экспериментах ставилась задача выяснить, какое действие оказывает на болевые реакции НУЗ не только при непрерывном режиме его генерации, но и при импульсном. Схема проведения эксперимента была аналогична описанной выше. Сравнение вызываемых изменений при различных режимах озвучивания показало следующее: НУЗ частотой 22 кГц, интенсивностью 0,4 Вт/см² в непрерывном режиме приводил к увеличению ЛПБР на 37,9%, а в случае применения импульсного режима озвучивания, при котором длительность серии импульсов и паузы между ними равнялась 5 с (скважность 2), ЛПБР увеличился еще больше – до 54,5% ($p < 0,05$). Данный факт свидетельствует о том, что применение НУЗ в импульсном режиме оказывало большее обезболивающее действие, чем в непрерывном режиме (рис. 2). Изменение параметров импульсного режима, когда воздействие серией импульсов осуществлялось в течение 1 с, а 9 с составляла пауза (скважность 10), привело к снижению эффективности его обезболивающего действия (25,5%; $p > 0,05$). Вероятно, импульсный УЗ по сравнению с непрерывным УЗ проникает на большую глубину, оказывая действие не только на поверхностные, но и на нижележащие ткани с расположенными в них рецепторами. С другой стороны, при импульсном режиме ослабляется энергетика воздействия и при большой скважности это может ослаблять эффект УЗ. Сопутствующее слабое тепловое воздействие способствует снятию мышечного спазма, увеличению скорости

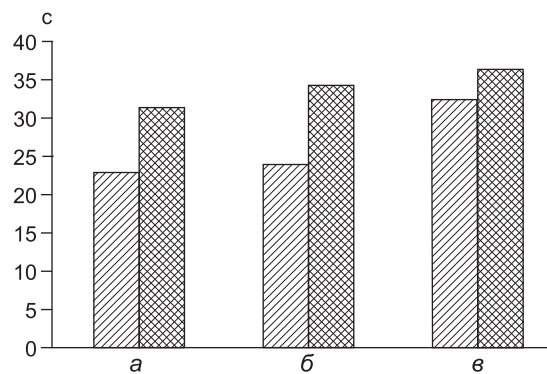


Рис. 2. Изменение величины ЛПБР при применении НУЗ частотой 22 кГц и интенсивностью: 0,4 Вт/см² в непрерывном (а) и импульсном (б, в) режимах: б – длительность серии импульсов 5 с, пауза – 5 с, в – длительность серии импульсов 1 с, пауза 9 с; $n = 30$; p (для а и б) $< 0,05$, в – $p > 0,05$. Светлые столбики – контроль.

проведения по нервным волокнам, а происходящее при этом изменение состояния болевых рецепторов способствует подавлению ноцицептивных реакций, приводящих к болеутоляющему эффекту.

При применении НУЗ с частотой 44 кГц (непрерывный режим) наблюдались достоверно выраженные гипералгезические реакции: снижение ЛПБР на 28,8% ($p < 0,05$) (рис. 3). Несколько менее выраженные реакции гипералгезической направленности выявлены при озвучивании с частотой 60 кГц и неизменными другими параметрами: ЛПБР снизился на 20,3% ($p < 0,05$ (см. рис. 3). Использование УЗ с максимальной из применяемых частот – 100 кГц – сопровождалось минимальными гипералгезическими сдвигами: ЛПБР уменьшился на 12% по сравнению с контролем ($p > 0,05$). Возможно, что при других параметрах частотная зависимость алгезических реакций УЗ носила бы иной характер, который должен быть выяснен в дальнейших исследованиях.

Таким образом, данные экспериментальных исследований свидетельствуют о достоверном модулирующем действии НУЗ на выраженность термических болевых реакций крыс. Этот физический фактор в зависимости от дозиметрических параметров,

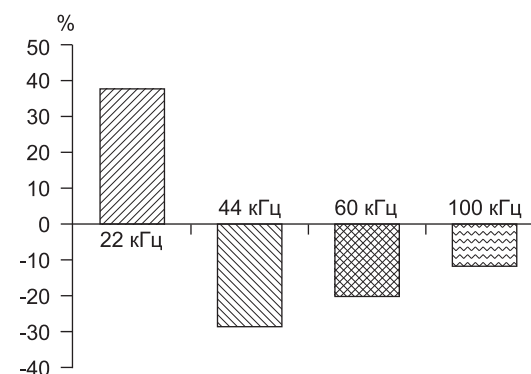


Рис. 3. Изменение величины ЛПБР (в % по отношению к контролю) под влиянием НУЗ в непрерывном режиме интенсивностью 0,4 Вт/см² при различной частоте: 22 кГц ($n = 10; p < 0,05$), 60 кГц ($n = 9; p < 0,05$), 100 кГц ($n = 9; p > 0,05$).

Таблица 1

Характеристика болевого двухфазного поведенческого ответа в условиях формалинового теста у крыс

Группа животных	Продолжительность болевой реакции, с		Продолжительность состояния покоя, с	
	I фаза	II фаза	I фаза	II фаза
Контрольная	61,1 ± 7,0	218,8 ± 15,3	111,3 ± 6,2	1259,4 ± 61
Экспериментальная (НУЗ в импульсном режиме)	65,1 ± 4,5	139,5 ± 8,3*	56,3 ± 15,3*	1980,3 ± 86,3*
Экспериментальная (НУЗ в непрерывном режиме)	118,3 ± 14,3*	140,1 ± 23,2*	162,2 ± 31,3*	1972,1 ± 133,2*

Примечание. Здесь и в табл. 2: * – $p < 0,05$ при сравнении с контрольной группой.

таких как несущая частота, интенсивность и режим воздействия, оказывает разнонаправленное влияние на ЛПБР, приводя либо к анальгетическим, либо к гипералгезическим эффектам, что должно учитываться при лечении болевых синдромов различного генеза.

II. Влияние НУЗ на поведенческие реакции при тонической боли

Результаты экспериментов, проведенных на модели тонической боли, свидетельствуют о следующем: в контрольной группе продолжительность I фазы ответной реакции, определяемой по паттернам вылизывания, составила $61,1 \pm 7,0$ с, а II фазы – соответственно $218,8 \pm 15,3$ с; у крыс экспериментальной группы, предварительно подвергнутых воздействию импульсным НУЗ со скважностью 2, эти показатели равны соответственно $65,1 \pm 4,5$ и $139,5 \pm 8,3$ с (табл. 1).

Рассмотрим более подробно развитие в динамике (усредненные за каждые 10 мин в течение часа) болевых и неболевых поведенческих реакций крыс,

выражая их в относительных (рис. 4) и абсолютных значениях (табл. 2). В табл. 2 приведены значения продолжительности двух рассматриваемых типов поведенческих ответов крыс в контроле и экспериментальных группах, подвергавшихся предварительному озвучиванию НУЗ. Полученные данные указывают на достоверно выраженное снижение после применения импульсного НУЗ болевых ответов с 30-й минуты и увеличение периода покоя с началом II фазы поведенческого ответа, свидетельствующего о снижении выраженности болевого синдрома.

Как следует из полученных данных, импульсный НУЗ используемых параметров существенно не влияет на I фазу ответа ($p > 0,05$) и значительно сокращает продолжительность тонической боли (II фаза ответа).

Продолжительность неболевых поведенческих реакций (состояние покоя) у крыс контрольной группы ($111,3 \pm 6,2$ с) значительно превышает такую у экспериментальных животных ($56,6 \pm 15,3$ с) в I фазу ответа, что свидетельствует о первоначальном возбуждающем действии НУЗ на крыс. В то же время во II фазу ответа НУЗ оказывает на активность крыс тормозное действие, о чем свидетельствует значительное увеличение в период с 11-й по 60-ю минуту состояния покоя у экспериментальных животных (суммарно $1980,3 \pm 86,3$ с) в сравнении с животными контрольной группы ($1259,4 \pm 61,0$ с).

В отличие от НУЗ в импульсном режиме использование данного физического фактора в непрерывном режиме в I фазу сопровождается увеличением продолжительности болевых реакций, что свидетельствует об отсутствии в формалиновой модели анальгетического действия у непрерывного НУЗ интенсивностью $0,4$ Вт/см². Болевые реакции по истечении 30 мин и до конца периода наблюдения имели аналогичную направленность, как и в слу-

Таблица 2

Продолжительность болевых и неболевых реакций у крыс после воздействия НУЗ (импульсный и непрерывный режимы) на фоне инъекции 2,5% раствора формалина

Группа животных	Продолжительность реакций (в секундах) в различные периоды наблюдения					
	с 1-й по 10-ю минуту	с 11-й по 20-ю минуту	с 21-й по 30-ю минуту	с 31-й по 40-ю минуту	с 41-й по 50-ю минуту	с 51-й по 60-ю минуту
Болевая реакция						
Контрольная	61,1 ± 7	57,6 ± 4,6	55,4 ± 5,1	46,7 ± 5,1	33,5 ± 3,6	25,7 ± 8
Экспериментальная (НУЗ в импульсном режиме)	65,1 ± 4,5	46,6 ± 3,8	70 ± 5,6	18,5 ± 5,1*	5,3 ± 2*	0,6 ± 0,4*
Экспериментальная (НУЗ в непрерывном режиме)	118,3 ± 14,3*	58,4 ± 10,6	41,9 ± 12,5	29,9 ± 8,0*	18,3 ± 5,0*	0,9 ± 0,9*
Состояние покоя						
Контрольная	111,3 ± 6,2	121,1 ± 14,3	192,3 ± 19,6	219,8 ± 31,9	294,7 ± 31,6	431,6 ± 27,3
Экспериментальная (НУЗ в импульсном режиме)	56,3 ± 15,3	182,5 ± 29,9	304,8 ± 19,5*	417,4 ± 40,4*	518,8 ± 22,3*	548,3 ± 33,3*
Экспериментальная (НУЗ в непрерывном режиме)	162,2 ± 31,3	251,3 ± 28,9*	352,8 ± 48,8*	433 ± 45,9*	419,4 ± 29,1*	535,2 ± 17,2*

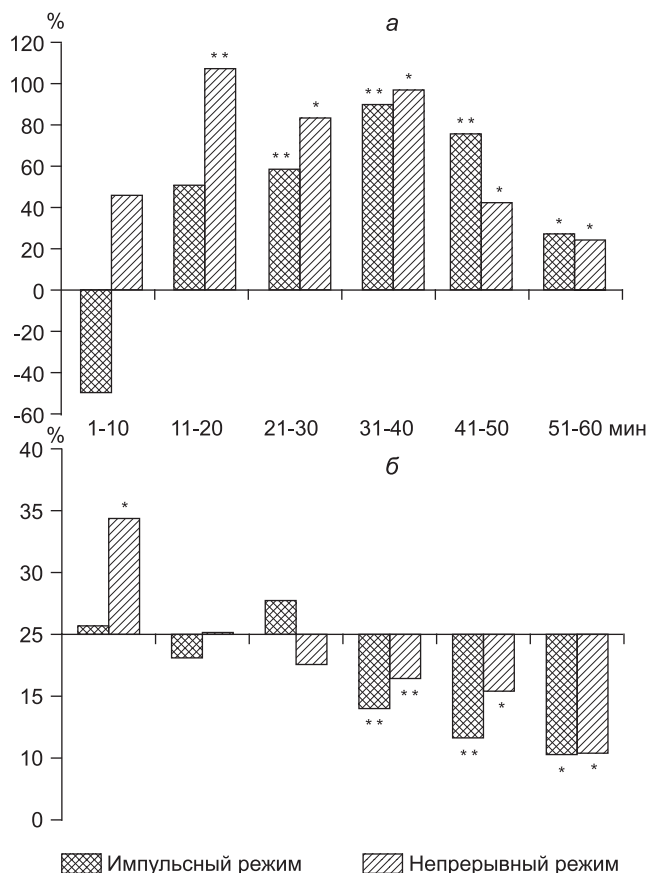


Рис. 4. Изменения относительно контроля продолжительности болевых (б) и неболевых (а) поведенческих реакций крыс опытных групп в различные временные отрезки периода регистрации.
* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,001$.

чае воздействия импульсным НУЗ, т. е. в эту фазу сокращалась продолжительность тонической боли (см. табл. 2).

Обнаружено, что НУЗ в непрерывном режиме в отличие от импульсного УЗ оказывает тормозное действие на активность крыс, о чем свидетельствует увеличение продолжительности состояния покоя (до $162,3 \pm 31,3$ с в сравнении с $56,3 \pm 15,3$ с). В то же время продолжительность неболевых реакций во II фазе поведенческого ответа (см. табл. 1 и 2) в сравниваемых группах практически не различалась ($1972,1 \pm 133,2$ и $1980,3 \pm 86,3$ с).

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о неодинаковом действии НУЗ на обе фазы поведенческого ответа в условиях формалинового теста у крыс. Он не влияет на продолжительность болевых реакций (по паттерну вылизывания) или даже увеличивает ее в острую фазу и достоверно сокращает их длительность во II фазу. Как указывалось ранее, I фаза ответа, отражающая острую кратковременную боль, вызванную непосредственным влиянием раствора формалина на периферические ноцицептивные окончания, является интегрированной реакцией нейронов на спинальном и супраспинальном уровнях, тогда как II фаза – продолжительная тоническая боль – определяется про-

цессами сенситизации в спинном мозге, вызванными I фазой, а также поступлением сигналов из очага воспаления. Между этими двумя фазами существует период покоя, во время которого ноцицептивные реакции отсутствуют (от 2 до 10 мин). Нами отмечено, что у некоторых животных наступление этого межфазного интервала может смещаться в сторону его более позднего проявления (11–20 мин) и этим можно объяснить недостоверность выраженного изменения продолжительности болевой реакции в этот временной интервал.

Заключение

Проведенный анализ позволяет заключить, что изменение показателей болевой чувствительности в формалиновом тесте при действии НУЗ в импульсном и непрерывном режимах генерации проявляется по-разному: если импульсный НУЗ не изменяет I фазу болевой реакции (острую боль), то непрерывный НУЗ ее значительно усиливает. В то же время НУЗ как в импульсном, так и непрерывном режиме воздействия достоверно подавляет тоническую боль во II фазе поведенческого ответа, что свидетельствует о целесообразности использования данного физического фактора для купирования тонической боли.

Общепризнано, что ответом организма на действие лечебных физических факторов являются изменения приспособительного характера. Структура, особенности и выраженность этих реакций зависят как от дозировки фактора, так и от индивидуальных качеств организма. Материалы имеющихся исследований свидетельствуют о том, что живым организмам присуща индивидуальная чувствительность к эмоциональному, болевому, гипокинетическому и другим видам стресса [13]. Некоторыми авторами отмечена вариабельность болевой чувствительности у крыс с разным профилем моторной асимметрии. Показано, что наиболее чувствительными к болевому стрессу оказались крысы с левосторонней моторной латерализацией, т. е. доминирующим правым полушарием мозга [3]. Однако зависимость развития болевых реакций от индивидуальных особенностей организма при воздействии на него лечебными физическими факторами до настоящего времени не изучалась. Экспериментальные данные выполненного нами исследования указывают на выраженную вариабельность чувствительности к НУЗ (о чем судили по ЛПБР), обусловленную в определенной степени индивидуальной чувствительностью каждого животного в выборке. Вместе с тем они подтверждают, что НУЗ обладает обезболивающим свойством и при варьировании условий и параметров его применения противоболевой эффект можно получить у каждого животного при различных способах моделирования боли. Авторы статьи полагают, что результаты выполненных экспериментальных исследований в последующем могут служить ориентиром для дифференцированного использования НУЗ с лечебными и реабилитационными целями у пациентов с болями различного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амикишиева А. В. // Вестн. ВОГиС. – 2009. – Т. 13, № 3. – С. 529–542.
2. Буткевич И. П., Михайленко В. А., Отелин В. А. Тоническая боль при воспалении: физиологические, поведенческие и онтогенетические аспекты. – СПб., 2010.
3. Джелдубаева Э. Р., Чуян Е. Н. // Ученые записки Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. – 2006. – Т. 19 (58), № 1. – С. 29–39.
4. Зубкова П. О. // Физиотер., бальнеол. и реабил. – 2005. – № 3. – С. 3–7.
5. Иващенко С. В., Берлов Г. А. // Мед. журн. – 2007. – № 1. – С. 42–44.
6. Кассиль Г. Н. Наука о боли. – М., 1975.
7. Лапач С. Н., Чубенко А. В., Бабич П. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. – Киев, 2000.
8. Лиманский Ю. П., Тамарова З. А., Бидков Е. Г., Колбун Н. Д. // Нейрофизиология. – 1999. – Т. 31, № 4. – С. 318–322.
9. Маркель А. Л. // Журн. высш. нервн. деят. – 1981. – Т. 31, № 2. – С. 301–307.
10. Морозова И. Л., Куклова Е. Н., Улащик В. С. // Новости мед.-биол. наук. – 2011. – Т. 3, № 3. – С. 14–18.
11. Улащик В. С., Чиркин А. А. Ультразвуковая терапия. – Минск, 1983.
12. Улащик В. С., Лукомский И. В. // Общая физиотерапия. – Минск, 2003. – С. 174–192.
13. Юматов Е. А., Мецзякова О. А. // Журн. высш. нервн. деят. – 1990. – Т. 40, № 3. – С. 575–579.
14. Capone F., Aloisi A. M. // Ann. 1st Super Sanita. – 2004. – Vol. 40, N 2. – P. 223–229.
15. Cohen M. L., Schenck K. W., Susan H. // J. Pharmacol. – 1999. – Vol. 290, N 3. – P. 1195–1201.
16. D'Amour F. E., Smith D. L. // J. Pharmacol. Exp. Ther. – 1941. – Vol. 72. – P. 74–79.
17. Du J., He L. // Acupunct. Electrother. Res. – 1992. – Vol. 17, N 1. – P. 1–6.
18. Dubuisson D., Dennis S. G. // Pain. – 1997. – N 4. – P. 161–164.
19. Manning B. H., Mayer D. J. // J. Neurosci. – 1995. – Vol. 15, N 12. – P. 8199–8213.
20. Mogil J. S., Wilson S. G., Bon K. et al. // Pain. – 1999. – Vol. 80, N 1–2. – P. 67–82.
21. O'Callaghan J., Holtzman S. G. // J. Pharmacol. Exp. Ther. – 1979. – Vol. 194. – P. 497–505.
22. Oyama T., Ueda Y., Kuraishi Y., Akaike A., Saton V. // Neurosci. Res. – 1996. – Vol. 25. – P. 129–135.
23. Sessle B. J. // Lab. Anim. Sci. – 1987. – Vol. 37. – P. 75–77.
24. Shibata M., Ohkubo T., Takahashi H., Inoki R. // Pain. – 1989. – Vol. 38, N 3. – P. 347–352.
25. Wilson R. I., Kunos G., Nicoll R. A. // Neuron. – 2001. – Vol. 31. – P. 453–462.
26. Yoon J., Ree M., Hwang Y. et al. // Langmuir. – 2004. – Vol. 20, N 3. – P. 544–549.

Поступила 13.08.12

РЕЗЮМЕ

Ключевые слова: *низкочастотный ультразвук, болевая чувствительность, острая и тоническая боль*

В эксперименте на крысах, у которых различными способами вызывалась болевая реакция, изучено действие низкочастотного ультразвука на ноцицептивную чувствительность. Показано, что ноцицептивная чувствительность у крыс зависит от частоты, интенсивности и режима генерации ультразвука, а также от используемой модели боли. Определены параметры низкочастотного ультразвука, при которых проявляется обезболивающий эффект при термической, острой и тонической боли.

THE ACTION OF LOW-FREQUENCY ULTRASOUND ON NOCICEPTIVE SENSITIVITY IN RATS

V.S. Ulashchik, E.N. Kuklova, I.L. Morozova

Key words: *low-frequency ultrasound, nociceptive sensitivity, acute and tonic pain*

The present experiment was carried out using rats in which the pain reaction was induced by different methods to estimate the influence of low-frequency ultrasound on nociceptive sensitivity. It has been shown that the nociceptive sensitivity is independent of the mode of generation of ultrasound, its frequency and intensity or the pain model being used. Characteristics of low-frequency ultrasound were detected at which the pain alleviating effect becomes apparent in case of thermal, acute, and tonic pain.

© М. Ю. ЛИХАЧЕВ, В. Д. СИДОРОВ, 2012

УДК 615.83.03:616.831-005

Физиотерапия вертеброгенных дисциркуляций головного мозга

М. Ю. Лихачев, В. Д. Сидоров

ФГБУ Российский научный центр медицинской реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва

Из клинической практики известно, что у трети пациентов нарушения мозгового кровообращения (НМК) в вертебробазилярном бассейне развиваются без атеросклеротического поражения брахиоцефальных и церебральных артерий. Заболевание широко распространено и поражает преимущественно трудоспособное население с большим процентом инвалидизации [2, 4].

Сидоров Владимир Дмитриевич, д-р мед. наук, проф., рук. отдела ревматологии и травматологии; e-mail: sid1690172@yandex.ru.

В течении вертебробазилярной недостаточности выделяют синдромы: преходящего НМК (ПНМК), дисциркуляторной энцефалопатии, артериальной гипертонии, кардиальный [4].

В настоящее исследование вошло 65 пациентов в возрасте от 16 до 65 лет с симптомами дисциркуляции головного мозга и клиническими проявлениями вертебробазилярной недостаточности на фоне интактных сонных и позвоночных артерий либо с гемодинамически и морфологически незначимыми стенозами. По данным рентгенологического исследования шейного отдела позвоночника у всех больных были выявлены дегенеративные изменения раз-