

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОЧАСТОТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ОСТРОЙ ГИПОКСИИ

Курданова М. Х.¹, Аккизов А. Ю.^{1,2}, Шаов М. Т.^{1,2}, Пшикова О. В.^{1,2}, Хашхожева Д. А.²

¹ ФГБУН ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, Центр медико-экологических исследований, Нальчик, e-mail: maryamk@20yandex.ru, akkizov@mail.ru, shaov_mt@mail.ru, olgapshikova@mail.ru;

² ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», Нальчик, e-mail: dianaadamovna@mail.ru

В статье приведены результаты экспериментального исследования действия низкочастотной акустической стимуляции на динамику показателей функционирования головного мозга и сердца человека в условиях кратковременной острой гипоксии. Исследование, проведенное в два этапа на 32 добровольцах, включало регистрацию таких параметров, как: уровень постоянного потенциала головного мозга, частота сердечных сокращений, пульсовое давление и вариабельность сердечного ритма. Испытуемые в течение пяти минут подвергались воздействию импульсной (1,5 Гц) и бинауральной (1 Гц) акустической стимуляции. В результате было установлено, что под воздействием низкочастотной акустической стимуляции в условиях кратковременной острой гипоксии (проба Штанге) происходит нормализация и стабилизация показателей церебрального метаболизма и функционирования сердечнососудистой системы. В перспективе низкочастотная акустическая стимуляция представляется эффективным методом управления адаптационными процессами в различных экстремальных условиях.

Ключевые слова: гипоксия, гемодинамика, акустическая стимуляция, церебральный метаболизм.

CHANGE OF INDICATORS OF ADAPTATION OF THE PERSON AT ACTION OF LOW-FREQUENCY ACOUSTIC STIMULATION IN THE CONDITIONS OF THE SHORT-TERM SHARP HYPOXIA

Kurdanova M. H.¹, Akkizov A. U.^{1,2}, Shaov M. T.^{1,2}, Pshikova O. V.^{1,2}, Khashkhozheva D.A.²

¹ Scientific Center of Russian Federation – Institute for Bio-medical Problems of the Russian Academy of Sciences, Center of medico-ecological researches, Nalchik, e-mail: maryamk@20yandex.ru, akkizov@mail.ru, shaov_mt@mail.ru, olgapshikova@mail.ru;

² Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik, e-mail: dianaadamovna@mail.ru

Results of a pilot study of action of low-frequency acoustic stimulation on dynamics of indicators of functioning of a brain and heart of the person at a short-term sharp hypoxia are given in article. Research is carried out in two steps on 32 volunteers. Parameters were registered: level of constant potential of a brain, heart rate, pulse pressure, variability of a warm rhythm. Volunteers were affected five minutes pulse (1,5 Hz) and binaural (1 Hz) by acoustic stimulation. It has been established: under the influence of low-frequency acoustic stimulation in the conditions of a short-term sharp hypoxia there is an improvement of indicators of a cerebral metabolism and cardiovascular system. In the future low-frequency acoustic stimulation is an effective method of management of adaptation of the person in extreme conditions.

Keywords: hypoxia, hemodynamic, acoustic stimulation, cerebral metabolism.

До сих пор не потеряла своей актуальности проблема повышения приспособительных возможностей человека к различным экстремальным условиям окружающей среды. Представляет как теоретический, так и практический интерес проблема повышения адаптационного потенциала человека в условиях гипоксии посредством воздействия на него разного рода внешних факторов [1].

Известно, что человеческий организм приспосабливается к гипоксии путем изменения функционирования отдельных систем и напряжения регуляторных механизмов [2].

Представляется перспективным в этом отношении использование различного рода стимуляций головного мозга – главного органа срочной адаптации, в первую очередь страдающего из-за гипоксии. В научной литературе имеются сведения, что с помощью низкочастотной акустической стимуляции (НАС) можно вызывать функциональные сдвиги, которые являются адаптивными по отношению к состоянию гипоксии [6].

Такого рода воздействия отражаются на динамике показателей функционирования центральной нервной системы и аппарата кровообращения – своеобразных «индикаторов» общих приспособительных реакций организма, играющих важную роль в обеспечении адаптации. Поэтому изменения таких относительно легко регистрируемых параметров, как частота сердечных сокращений (ЧСС), вариабельность сердечного ритма (ВСР), пульсовое давление (ПД) и уровень постоянного потенциала (УПП), указывают на переход организма в новое адаптивное состояние.

Цель исследования

Целью нашего исследования явилась оценка влияния низкочастотной акустической стимуляции на динамику показателей функционирования головного мозга и сердца человека в условиях кратковременной острой гипоксии.

Материал и методы исследования

Исследование было проведено на 32 волонтерах в возрасте 21–22 лет (рост: 156–173 см; вес 45–68 кг), с соблюдением современных требований биоэтики. В качестве кратковременной гипоксической «нагрузки» применялась функциональная проба Штанге. Всего было проведено два исследования, разделенных промежутком в пять дней. Условия регистрации исследуемых параметров были схожими: одна лаборатория, одно время регистрации и т.п. Результаты второго исследования анализировались на предмет выявления т.н. «эффекта последствия» НАС во время первого исследования.

НАС осуществлялась через наушники («Panasonic RD-DJS200») в двух режимах: импульсном и непрерывном. В первом случае использовались «щелчки» частотой 1,5 Гц, генерируемые электронным метрономом («Planet Waves MT-01»). Во втором случае применялся виртуальный генератор (НПО «Нейроэнергетика») звуковых колебаний, с возможностью задания частоты для каждого из двух каналов. Экспериментальной была акустическая стимуляция, при которой на один канал подавалась частота 440 Гц, а на второй – 441 Гц. Таким образом, разностная частота в 1 Гц была тем низкочастотным бинауральным ритмом, который воспринимался испытуемым как медленные биения тона 440 Гц. В качестве контрольной акустической стимуляции был применен чистый тон частотой 440 Гц. Интенсивность звука во всех случаях составляла 40 дБ.

УПП – показатель интенсивности церебрального метаболизма (другими словами –

функционирования головного мозга), регистрировался в униполярном фронтальном отведении неполяризуемыми хлорсеребряными электродами анализатора медленной электрической активности («АМЕА», пр-во НПО «Нейроэнергетика»). Также с помощью электронного тонометра («В. Well WA-33») регистрировались ЧСС и артериальное давление. Коэффициент вариации ЧСС нами расценивался как показатель ВСР, а ПД определялось через разность между значениями систолического и диастолического артериального давления. При этом учитывалось, что быстрые изменения величины ПД обусловлены динамикой ударного объема сердца, и поэтому изменения данного параметра анализировались с учетом динамики ЧСС.

Результаты исследования и их обсуждение

Сближение кривых средних значений УПП, наблюдающееся уже после первой пробы Штанге и продолжающееся до конца обследования, указывает на стабилизацию и нормализацию церебрального метаболизма под действием гипоксической «нагрузки» и НАС (рис. 1).

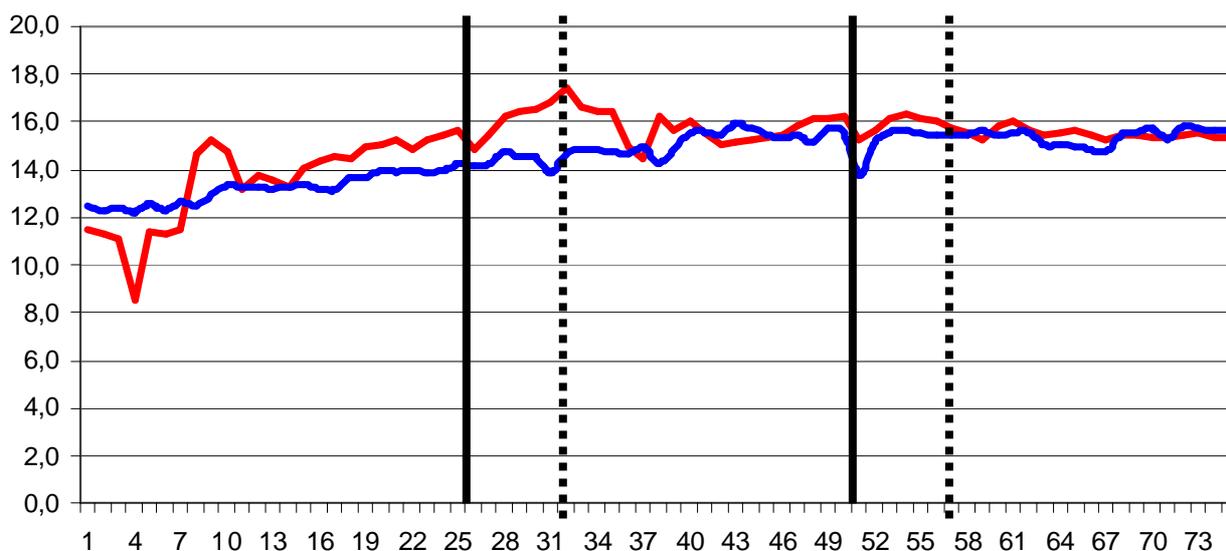


Рис. 1. Динамика УПП (мВ) в течение 15 минут (по оси абсцисс – 12-секундный шаг регистрации «АМЕА»)

Примечание: Сплошная вертикальная линия – начало пробы Штанге, а пунктир – ее окончание. НАС осуществлялась на 25–50 шагах. Видно, как ломанные и несовпадающие друг с другом кривые УПП в первом (красная) и втором (синяя) опытах, к концу регистрации практически сливаются.

На указанном графике после начала синхронного воздействия на организм волонтеров острой гипоксии и НАС видно резкое (но непродолжительное) снижение УПП, что, в свою очередь, свидетельствует об угнетении церебрального метаболизма. Можно утверждать, что воздействие на организм испытуемых НАС в условиях кратковременной острой гипоксии

было сопряжено с нормализацией значений УПП. Возникает вопрос: какой механизм лежит в основе этого явления?

Известно, что УПП головного мозга является производной двух процессов: накопления и вымывания кислых продуктов обмена веществ [4, 5]. Доминирование первого процесса приводит к повышению УПП, а второго – к его понижению. Разнонаправленная динамика УПП, по-видимому, является результирующей усиления двух параметров: 1) интенсивности метаболизма, приводящего к ацидозу мозга, и 2) мозгового кровотока, вымывающего кислые продукты обмена. В зависимости от преобладания того или иного параметра происходит либо позитивный, либо негативный сдвиг УПП [7].

В нашем исследовании было отмечено, что значение УПП стремится достичь определенного значения, при котором действие внешнего раздражителя – акустической стимуляции – было бы минимально [1]. Поэтому можно предположить следующий физиологический механизм наблюдавшихся нами явлений: акустическая стимуляция как возмущающее воздействие активирует систему регуляции УПП по механизмам отрицательной обратной связи, что и приводит к нормализации значений УПП под действием НАС и пробы Штанге.

Эти результаты согласуются с данными исследования динамики УПП мозга при 20-минутной звуковой стимуляции интенсивностью в 90 дБ, которая тоже сопровождалась разнонаправленными изменениями УПП. Динамика амплитуды УПП была незначительной (в пределах нескольких милливольт), поэтому при статистическом анализе достоверных сдвигов выявлено не было [3]. Однако направление динамики УПП проявило любопытную закономерность: сдвиги УПП при звуковой стимуляции были связаны отрицательной корреляцией с исходным уровнем этого параметра.

При анализе полученных результатов обнаружено, что динамика ЧСС в обоих исследованиях весьма схожа: во время произвольной задержки дыхания пульс испытуемых сначала ускорялся, затем – замедлялся, а потом вновь ускорялся. Фоновая ВСР была незначительной, поэтому можно утверждать: проба Штанге в проведенном исследовании четко выявила нормальное для здорового человека явление – постоянные флюктуации ЧСС (рис. 2).

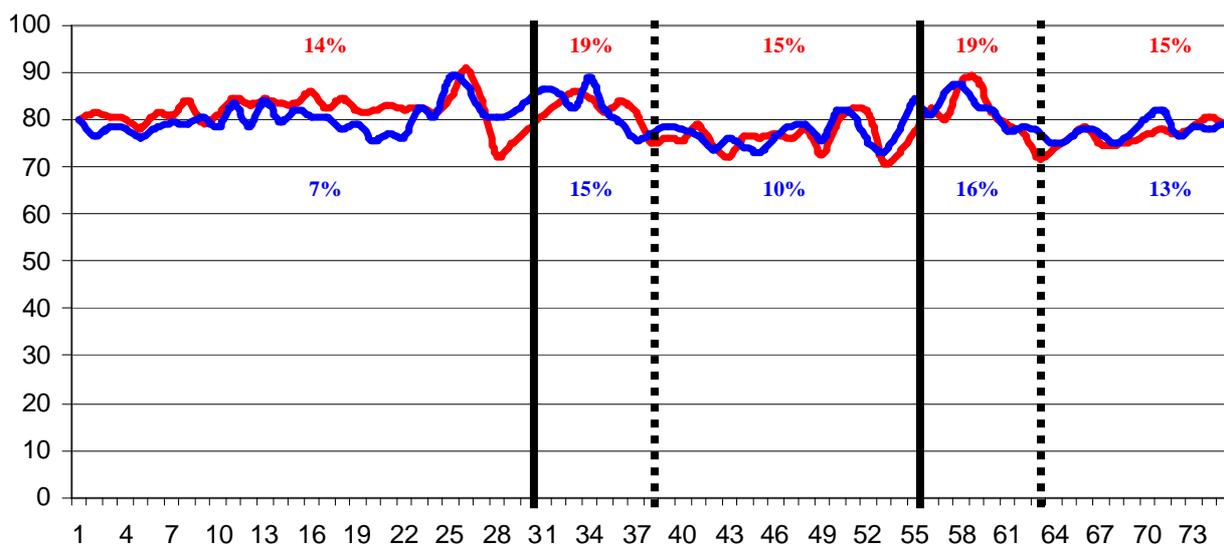


Рис. 2. Динамика ЧСС (уд/мин) в течение 15 минут (по оси абсцисс – 12-секундный шаг регистрации «АМЕА»)

Примечание: Сплошная вертикальная линия – начало пробы Штанге, а пунктир – ее окончание. НАС осуществлялась на 25-50 шагах. В процентах указаны средние значения коэффициента вариации ЧСС.

Это объясняется следующими обстоятельствами: ВСП определяется как симпатическими, так и парасимпатическими раздражениями сердца, и поэтому изменения этого параметра (как и динамика ЧСС) проявляет периодически колеблющийся характер. Особенности регуляции этого параметра делает его универсальным показателем срочной адаптации целостного организма в ответ на внешнее или внутреннее воздействие любой природы.

В покое ВСП отражает состояние механизмов регуляции сокращений сердца, а именно – доминирование симпатического или парасимпатического влияния. Именно постоянными колебаниями симпатических и парасимпатических влияний на сердце (а не абстрактным усредненным балансом вегетативного тонуса) определяются значения качественных и количественных параметров ВСП. Поэтому теоретически снижение ВСП может быть сопряжено как угнетением парасимпатических влияний, так и очень высоким уровнем симпатической стимуляции. Однако на практике симпатическая стимуляция зачастую сопряжена с ростом ЧСС и выраженным снижением общей мощности ВСП, тогда как парасимпатическая стимуляция сопряжена с обратной картиной изменений этих параметров.

Оба указанных выше параметра (ЧСС и ВСР) находятся преимущественно под влиянием вегетативной нервной системы. ВСР в значительной степени зависит от парасимпатической модуляции.

Структура ВСР здорового человека с позиции методов теории хаоса близка к фрактальной структуре динамики нелинейной системы, находящейся в хаотическом режиме. Ранее было показано, что при перерезке нервов сердца, ВСР значительно снижается и сердечный ритм становится периодическим, т.е. размерность осциллирующей системы значительно снижается. Также было показано, что процессы старения сопряжены с уменьшением числа степеней свободы и упрощением структуры ВСР. Это снижает адаптационные возможности всего организма в целом. Процесс старения сопровождается значительным изменением временной структуры биоритмов. Возникает спектральная дезорганизация биоритмов, что проявляется в снижении упорядоченности временной организации, снижении амплитуды и части адаптивных изменений спектра биоритмов, а также увеличении шумов.

Что касается средней ЧСС, то этот параметр является конечным результатом регуляции аппарата кровообращения, который характеризует особенности вновь сформированной приспособительной реакции. Считается, что отклонение среднего ЧСС от индивидуальной нормы – это сигнал об увеличении нагрузки, либо о наличии патологических изменений. В нашем исследовании среднее значение ЧСС в экспериментальной группе возросло незначительно (на 7 %), тогда как в контрольной группе на такую же величину достоверно снизилось. К концу эксперимента значение ЧСС волонтеров неизменно возвращалось к начальному уровню.

Следует отметить, что пульсовое давление менялось заметнее: среднее значение ПД в контрольной группе достоверно возросло на 19 %, а в экспериментальной – на 22 % (таблица).

Динамика ЧСС (числитель дроби; уд/мин) и ПД (знаменатель дроби; мм рт. ст.)

Этап исследования	До нагрузки	После нагрузки
Фон (без стимуляции)	$\frac{75,9 \pm 4,12}{38,0 \pm 1,39}$	$\frac{71,7 \pm 3,68}{47,8 \pm 2,57}^*$
Контроль	$\frac{80,3 \pm 3,64}{43,6 \pm 2,31}$	$\frac{74,7 \pm 3,10}^*}{51,9 \pm 2,47}^*$
Опыт	$\frac{76,6 \pm 3,47}{42,6 \pm 3,59}$	$\frac{81,7 \pm 4,61}{52,0 \pm 3,78}$

Примечание: * $p < 0,05$.

Воздействие на испытуемых НАС в условиях кратковременной острой гипоксии хоть и незначительно, но влияла как на уровень, так и на коэффициент вариации их ЧСС. Причем

исследованные режимы акустической стимуляции в большинстве случаев не угнетают нормализующий эффект функциональной пробы Штанге, но иногда оказывают и прямо противоположное действие, ухудшая адаптационные возможности испытуемого. В то же время, очевидно, что кратковременное раздражение НАС – это довольно слабый раздражитель, который не может вызвать значительного и устойчивого изменения исследованных показателей адаптации.

Конечно, согласно современным научным представлениям, организм человека является очень стабильной системой. Другими словами, слабые по своей интенсивности воздействия факторы внешней среды (даже если они частые) не сопряжены с выходом за пределы физиологической нормы значений исследованных показателей адаптации. Поэтому организм находится в одном из стационарных или стабильных состояний.

Одновременное воздействие акустической стимуляции и пробы Штанге не было интенсивным, и поэтому такая сочетанная «нагрузка» оказывала, по-видимому, преимущественно психофизиологическое влияние на испытуемых. Однако даже такое слабое воздействие НАС вызывало функциональные изменения, как в головном мозгу, так и в сердечнососудистой системе испытуемых.

Из состояния этого физиологического равновесия организм выводят т.н. «экстремальные факторы», и он переходит в новое стационарное состояние – адаптация к этому фактору. Все это отражается на динамике исследованных показателей адаптации. Переходы из одного стабильного состояния в другое обратимы, ограничены во времени и подчиняются определенным закономерностям, которые предполагают переходные квазистационарные состояния.

Доказательством сказанному служит зафиксированные в эксперименте изменения показателей функционирования головного мозга и сердца человека в условиях кратковременной острой гипоксии.

Заключение

Кратковременная острая гипоксия была сопряжена со стабилизацией показателей церебрального метаболизма на нормальных значениях. Показатели адаптации сердечнососудистой системы при этом обратимо возрастали. По-видимому, произвольная задержка дыхания сама по себе оказывает благотворное адаптационное действие. Низкочастотная акустическая стимуляция на фоне острой гипоксии выражено стабилизирует динамику показателей церебрального метаболизма, незначительно снижая при этом параметры адаптации сердечнососудистой системы.

Список литературы

1. Аккизов А. Ю. Влияние симптомов горной болезни на эффективность устного счета // Материалы Международной научной конференции, посвященной 75-летию Адыгейского государственного университета «Механизмы функционирования нервной, эндокринной и висцеральных систем в процессе онтогенеза» (8–9 октября 2015 года). – Майкоп: Изд-во АГУ, 2015. – С. 169-172.
2. Клименко Л. Л. Структурно-функциональная организация межполушарной асимметрии: экспериментальные и клинические аспекты проблемы / Л. Л. Клименко. – М.: Институт химической физики РАН, 2008.
3. Связь электрических реакций головного мозга с процессами перекисного окисления липидов при патологическом старении / В. Ф. Фокин [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии. – 1989. – Т. 54. – № 6. – С.682-684.
4. Фокин В. Ф. Интенсивность церебрального энергетического обмена: возможности его оценки электрофизиологическим методом / В. Ф. Фокин, Н. В. Пономарева // Вестник РАМН. – 2001. – № 8. – С.38-43.
5. Фокин В. Ф., Пономарева Н. В. Энергетическая физиология мозга. – М.: Антидор, 2003. – 288 с.
6. Шаов М. Т., Пшикова О. В. К проблеме дистанционного управления физиологическими функциями организма // Украинский физиологический журнал. – Киев, 2003. – Т.49. – № 3. – С.169-173.
7. Шахнович А. Р. О гуморальном механизме регулирования адекватного кровоснабжения ткани головного мозга // Труды IV Тбилисского симпозиума по мозговому кровообращению. – 1980. – С.79-83.