

## **ВЛИЯНИЕ БИНАУРАЛЬНЫХ БИЕНИЙ НА НЕЙРО- И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕЛОВЕКА**

***А. А. Калачев, А. Н. Долецкий***

*Волгоградский государственный медицинский университет,  
кафедра нормальной физиологии*

Изучалось воздействие различных режимов бинауральных биений на биоэлектрическую активность мозга здорового человека и качество выполнения тестовых заданий, имитирующих операторскую активность. Бинауральные биения вызывают изменение уровня активации центральной нервной системы и уменьшают время зрительно-моторной реакции, улучшают результаты тестов на помехоустойчивость.

*Ключевые слова:* бинауральные биения, электроэнцефалография, операторская деятельность.

## **EFFECTS OF BINAURAL BEATS ON INDIVIDUAL NEURO- AND PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS**

***A. A. Kalachev, A. N. Doletskiy***

Effects of different binaural beats on the brain activity of healthy people and quality of tests with operator's activity was examined. Binaural beats lead to a change in the level of CNS activity, reduce visual-motor reaction time, and improve the performance on noise immunity tests.

*Key words:* binaural beats, hemispheric synchronization, electroencephalography, operator activity.

Профессиональная деятельность современно-го оператора протекает нередко в условиях высокого темпа, избыточности или дефицита информации, при действии помех и различных неблагоприятных факторов, оказывающих отрицательное влияние на функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека. Повышение сложности и скорости течения производственных процессов выдвигает повышенные требования к точности действий операторов, быстроте принятия решений в осуществлении управленческих функций. Значительное повышение требований к исполнительской деятельности, высокая ответственность за безопасность принимаемых решений приводят к росту психоэмоциональной и информационной нагрузки на человека. Это особенно характерно для работы в экстремальных условиях, которая зачастую выполняется на пределе функциональных возможностей организма. Таким образом, разработка способов поддержания высокого уровня работоспособности человека-оператора при необходимости выполнять профессиональную деятельность в осложненных условиях относится к числу наиболее актуальных проблем физиологии труда [1].

Кроме средств фармакопрофилактики стресса, в настоящее время широко используются различные немедикаментозные методы, в основном направленные на снижение нервно-психического напряжения и достижение психофизиологической релаксации. Входящие в этот перечень коррекционные мероприятия с использованием методов навязывания ритма по биорезонансному принципу способствуют не только повышению эмоциональной устойчивости к стрессу, но и оказывают оптимизирующее влияние на работоспособность человека [3].

Одним из методов биорезонансного воздействия является бинауральная стимуляция [8]. Бинауральные ритмы (слуховой феномен, возникающий при подачи в правое и левое ухо тонов, различающихся на несколько герц, и заключающийся в возникновении биений, равных по частоте разнице между тонами), совпадающие с дельта- и тета-диапазонами электроэнцефалограммы (ЭЭГ) связываются с состояниями расслабления, медитации и творчества и используются в качестве средства, помогающего уснуть. Бинауральные ритмы с частотой биений, соответствующей частоте альфа-активности, предположительно усиливают выраженность биоэлектрической активности соответствующей частоты в мозге, что соответствует состоянию спокойного бодрствования, а бинауральные биения в бета-диапазоне связываются с повышенной сосредоточенностью и бодрствованием, а также с улучшением памяти. Имеются также единичные сообщения о прослушивании бинауральных биений во время оперативного вмешательства под наркозом, что влекло за собой снижение потребности в анальгетическом компоненте общей анестезии, но не позволяло уменьшить дозу гипнотика [5, 6, 7].

Все перечисленные факты свидетельствуют об актуальности исследований, направленных на изучение физиологических эффектов и возможности использования биорезонансных явлений для коррекции функционального состояния человека, а также установления зависимости результативности методов навязывания ритма и ожидаемого психофизиологического эффекта от частоты и режима воздействия.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выявление характера влияния бинауральных биений с различными частотами на функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС) и на качество выполнения человеком тестовых заданий, моделирующих операторскую деятельность.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследовано 163 практически здоровых человека в возрасте 18—25 лет. Предварительно производилось информирование о целях, безопасности исследования, собирался анамнез, выявлялись противопоказания к биорезонансному воздействию. Обследование проводилось в звукоизолированном экранированном помещении с приглушенным освещением, в положении сидя.

Для обследования биоэлектрической активности мозга использовался электроэнцефалограф «Нейрон-Спектр». При наложении электродов использовалась международная система отведений «10—20». Запись проводилась с восьми активных хлорсеребряных электродов. Применялся монополярный способ отведения биоэлектрической активности; в качестве референтных были использованы два ушных электрода. Применялся фильтр частот, ограничивающий пропускание сигнала в пределах 0,5—35 Гц. Анализировались кросскорреляционная функция и когерентность полученной записи ЭЭГ.

С целью моделирования операторской деятельности использовались следующие тесты:

I тест — «Простая зрительно-моторная реакция». Обследуемому предлагалось при появлении визуального стимула на мониторе компьютера (светлый круг, стилизованный под мишень тира) как можно быстрее нажать клавишу компьютера. Оценивалось среднее из 10 попыток время простой зрительно-моторной реакции (в миллисекундах).

II тест — «Помехоустойчивость умственной работоспособности». Из пяти двухсимвольных буквенно-цифровых сочетаний испытуемому предлагалось как можно быстрее и точнее выбрать то, которое соответствует задаваемому эталону. На каждое новое сочетание указывался новый эталон. Половину времени работа проводилась без помех, половина — с визуальными помехами. Оценивались следующие результаты теста: среднее время ответа без помех (мс); среднее время ответа с помехами (мс); коэффициент помехоустойчивости — отношение времени реакции на сигналы без помех ко времени реакции с помехами, выраженное в процентах (таким образом, этот параметр может принимать значения больше 100 %, что происходит в случае, если в присутствии помех пользователь реагирует быстрее, чем без них и меньше 100 в противном случае).

Обследуемому предлагалось прослушивать звуковые фрагменты, содержащие бинауральные би-

ения. Были выбраны следующие частоты бинауральных биений: 3 Гц (соответствует дельта-диапазону ЭЭГ), 18 Гц (бета-диапазон ЭЭГ) и «резонансная» частота (определялась у каждого обследуемого индивидуально — усреднялись показатели средней частоты альфа-ритма в затылочных отведениях четырех 10-секундных отрезков ЭЭГ покоя с закрытыми глазами, после чего полученное среднее значение округлялось с точностью до 0,5 Гц; частоты воздействия находились в диапазоне 9,0—11,0 Гц).

Звуковые колебания синусоидальной формы генерировались с помощью компьютерной программы и копировались на портативный музыкальный стереофонический плеер. Отсутствие искажений синусоиды и частотно-амплитудные характеристики воспроизводимого плеером звука перед началом обследований контролировались с помощью цифрового осциллографа. Воспроизводился файл с помощью наушников с амбушюрами, исключающими возможность костной проводимости. В этих же наушниках обследуемые находились при проведении исходных исследований в тишине (при этом фонограммы звуковых фрагментов с бинауральными биениями не проигрывались), что также позволяло исключить посторонние звуковые помехи. Громкость прослушиваемых фонограмм устанавливалась обследуемым самостоятельно на наиболее комфортном для него уровне перед началом обследования, но не ниже заранее установленного минимума. В процессе обследования изменения уровней громкости не допускались.

У каждого обследуемого регистрировалась ЭЭГ покоя с закрытыми глазами в тишине. Затем производилась регистрация ЭЭГ при прослушивании 10-минутных звуковых фрагментов, содержащих бинауральные биения с частотами 3 Гц, 18 Гц, «резонансная». Порядок предъявления звуковых фрагментов был случайным, обследуемые находились с закрытыми глазами. На следующем этапе обследуемым предлагалось выполнять одни и те же тестовые задания как в тишине, так и во время прослушивания каждого из вышеуказанных звуковых фрагментов. Чередование условий тестирования проводилось в случайном порядке. Между всеми эпизодами воздействия предоставлялось достаточное время для «отмывания» эффекта предыдущего.

Выявлялось изменение показателей функций межполушарной кросскорреляции (абсолютного ее значения — без учета знака) и когерентности ЭЭГ, зарегистрированной во время прослушивания звуковых фрагментов, содержащих бинауральные биения, относительно ЭЭГ, записанной в тишине. Анализу подвергались результаты статистической обработки 48-секундных отрезков ЭЭГ, не содержащих помех и артефактов (9—10 минут прослушивания звукового фрагмента). Результаты представлены в табл. 1.

## Изменение функций межполушарной кросскорреляции и когерентности ЭЭГ при воздействии бинауральных биений ( $M \pm m$ )

Отведение	Частота бинаурального воздействия		
	3 Гц	18 Гц	«резонансная»
Кросскорреляция			
Fp1Fp2	-0,03 ± 0,03	-0,090 ± 0,032*	-0,090 ± 0,038*
C3C4	0,030 ± 0,024	0,030 ± 0,032	0,020 ± 0,031
O1O2	0,030 ± 0,035	-0,050 ± 0,027	-0,030 ± 0,028
T3T4	0,040 ± 0,032	0,030 ± 0,033	0
Когерентность (средняя)			
<i>дельта-диапазон</i>			
Fp1Fp2	-0,040 ± 0,018*	-0,12 ± 0,02*	-0,110 ± 0,023*
C3C4	0,010 ± 0,024	-0,020 ± 0,018	0,010 ± 0,021
O1O2	0,020 ± 0,016	0,020 ± 0,017	0,010 ± 0,017
T3T4	0,020 ± 0,014	-0,010 ± 0,015	0,010 ± 0,016
<i>тета-диапазон</i>			
Fp1Fp2	-0,010 ± 0,016	-0,050 ± 0,019*	-0,060 ± 0,021*
C3C4	0	0,020 ± 0,014	0
O1O2	0,040 ± 0,014*	0,020 ± 0,015	0,040 ± 0,014*
T3T4	0,020 ± 0,013	0,020 ± 0,014	0,010 ± 0,020
<i>альфа-диапазон</i>			
Fp1Fp2	0	-0,01 ± 0,013	-0,010 ± 0,014
C3C4	-0,010 ± 0,024	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,02
O1O2	0,03 ± 0,011*	0,030 ± 0,013*	0,03 ± 0,01*
T3T4	0	0,020 ± 0,013	0,020 ± 0,015
<i>бета_н-диапазон (14 – 20 Гц)</i>			
Fp1Fp2	0	0,010 ± 0,014	-0,010 ± 0,015
C3C4	-0,020 ± 0,022	0,010 ± 0,011	0,010 ± 0,013
O1O2	0,020 ± 0,013	0,030 ± 0,012*	0,03 ± 0,01*
T3T4	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01*	0,010 ± 0,016
<i>бета_в-диапазон (20 – 35 Гц)</i>			
Fp1Fp2	0	-0,010 ± 0,007	-0,02 ± 0,01
C3C4	0,010 ± 0,017	0,020 ± 0,012	0,010 ± 0,012
O1O2	0,030 ± 0,013*	0,020 ± 0,008*	0,020 ± 0,011
T3T4	0,010 ± 0,006	0,010 ± 0,004	0,010 ± 0,007

\*Статистически достоверные изменения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При воздействии бинауральными биениями с частотой 3 Гц происходит статистически достоверное уменьшение межполушарной когерентности в дельта-диапазоне в лобных отведениях и увеличение в тета-, альфа- и бета-диапазонах в затылочных отведениях. При воздействии частотами 18 Гц и «резонансной» наблюдаются сходные изменения: уменьшение кросскорреляции в лобных отведениях, уменьшение когерентности в дельта-, тета-диапазонах в лобных отведениях, увеличение ее в альфа- и бета-диапазонах в затылочных отведениях (в случае с 18 Гц также происходит увеличение когерентности в бета\_н-диапазоне в височных отведениях). В целом прослеживаются однонап-

равленные изменения анализируемых показателей ЭЭГ для всех режимов воздействия бинауральными биениями, более выраженные (как по количеству статистически значимых результатов, так и по их абсолютному значению) на частотах 18 Гц и «резонансной». Происходит снижение когерентности низкочастотной активности в лобных отведениях с одновременным увеличением высокочастотной, преимущественно в затылочных отведениях. Это может характеризовать изменение уровня активации ЦНС и позволяет предположить сдвиг его в сторону снижения [2, 4].

На следующем этапе анализировались изменения результатов выполнения тестовых заданий при прослушивании бинауральных биений относительно работы в тишине (табл. 2).

## Изменение результатов выполнения тестовых заданий при воздействии бинауральных биений ( $M \pm m$ )

Показатель	Частота бинаурального воздействия		
	3 Гц	18 Гц	«резонансная»
I тест — «Простая зрительно-моторная реакция»			
Среднее время реакции, мс	-26,50 ± 9,16*	-30,40 ± 12,64*	-28,30 ± 11,63*
II тест — «Помехоустойчивость»			
Среднее время ответа без помех, мс	-513,30 ± 93,69*	-669,50 ± 128,66*	-596,40 ± 103,76*
Среднее время ответа с помехами, мс	-448,80 ± 94,18*	-523,60 ± 94,31*	-507,80 ± 96,23*
Коэффициент помехоустойчивости	0	0	0

\*Статистически достоверные изменения.

При прослушивании бинауральных биений у обследуемых уменьшается время выполнения всех предложенных тестовых заданий (то есть улучшается результат). Сильнее проявляется это на частотах 18 Гц и «резонансной», незначительно менее выражены изменения при воздействии бинауральными биениями с частотой 3 Гц. Коэффициент помехоустойчивости во втором тесте закономерно не изменился.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, прослушивание бинауральных биений вызывает изменение функционального состояния здорового человека. В целом, эти изменения однонаправлены для выбранных частот воздействия, но для частоты 3 Гц менее выражены, чем для частот 18 Гц и «резонансной». Анализ изменений когерентности и кросскорреляции ЭЭГ при 10-минутном прослушивании бинауральных биений с закрытыми глазами указывает на возможный сдвиг уровня активации ЦНС обследуемых в сторону ее снижения относительно состояния покоя в тишине. Однако прослушивание бинауральных биений в состоянии активного бодрствования помогает улучшить результаты выполняемого в это время психофизиологического тестирования, имитирующего операторскую деятельность.

Для уточнения характера воздействия бинауральных биений на функциональное состояние человека представляется целесообразным при последующих исследованиях расширить спектр анализируемых во время воздействия бинауральных биений параметров ЭЭГ, а также относящихся к операторской деятельности психофизиологических характеристик. Значимым аспектом решения обозначенной проблемы явилось бы изучение изменения состояния вегетативной нервной системы человека при прослушивании бинауральных биений.

Последующий анализ перечисленных данных, с учетом особенностей субъективного восприятия человеком бинауральных биений различной частоты, позволил бы выбрать оптимальные режимы биорезонансного воздействия с использованием бинауральных биений для коррекции функционального состояния и достижения наилучших результатов деятельности человека-оператора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляева С. И. Анализ моторных и вегетативных показателей у человека-оператора при обучении целенаправленной деятельности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2001. — 26 с.
2. Киров В. Н. Механизмы формирования функционального состояния мозга человека. — Ростов-н/Д: Издательство РГУ, 1991. — 184 с.
3. Коновалов В. Ф., Сериков И. С., Федотчев А. И. // Физиология человека. — 1987. — Т. 13, № 1. — С. 3—11.
4. Шеповальников А. Н. Формирование биопотенциального поля мозга человека / Шеповальников А. Н., Цицерошин М. Н., Апанасионок В. С. — Л.: Наука, 1979. — 163 с.
5. Dabu-Bondoc S., Drummond-Lewis J., Gaal D., et al. // Anesthesia and Analgesia. — 2003. — Sep. 71. — P. 460—468.
6. Lane J. D., Kasian S. J., Owens J. E., et al. // Physiology and Behavior. — 1998. — Vol. 63, № 2. — P. 249—252.
7. Lewis A. K., Osborn I. P. // Anesthesia and Analgesia. — 2004. — № 98. — P. 533—536.
8. Oster G. // Scientific American. — 1973. — № 229. — P. 94—102.

### Контактная информация

**Долецкий Алексей Николаевич** — к. м. н., ассистент кафедры нормальной физиологии, Волгоградский государственный медицинский университет, e-mail: andoletsky@gmail.com