

На правах рукописи

Калачев Алексей Алексеевич

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИНАУРАЛЬНОГО
РЕЗОНАНСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
ЦЕНТРАЛЬНУЮ НЕРВНУЮ СИСТЕМУ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ РАБОТСПОСОБНОСТИ
ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

03.03.01 - физиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Волгоград-2011

Работа выполнена на кафедре нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения и социального развития РФ

Научный руководитель

доктор медицинских наук,
профессор *Клаучек Сергей Всеволодович*

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук,
профессор *Краюшкин Сергей Иванович*

доктор биологических наук,
профессор *Мулик Александр Борисович*

Ведущая организация ГОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Министерства здравоохранения и социального развития РФ

Защита состоится «09» февраля 2012 года в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 208.008.06 при Волгоградском государственном медицинском университете по адресу: 400131, г. Волгоград, площадь Павших борцов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного медицинского университета.

Автореферат разослан «06» января 2012 года

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор социологических наук,
кандидат медицинских наук,
доцент

М.Д.Ковалева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Профессиональная деятельность современного оператора протекает в условиях высокого темпа, при действии помех и различных неблагоприятных факторов, оказывающих отрицательное влияние на функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека (Бодров В.А., 2000; Степанова С.И. с соавт., 2007; Schulte F., 2009; Yamanaka K. et al., 2011). При этом значительное повышение требований к исполнительской деятельности в системе человек-машина при взаимодействии со сложным оборудованием, высокая ответственность за безопасность принимаемых решений приводят к росту психоэмоциональной нагрузки на человека (Айдаркин Е.К. и др., 2007). В связи с этим разработка способов поддержания высокого уровня работоспособности человека-оператора при необходимости выполнять профессиональную деятельность в осложненных условиях относится к числу наиболее актуальных проблем физиологии труда (Тоневичкий А.Г., 2007; Солонин Ю.Г. и др., 2011).

Актуальность данного направления исследований подчеркивается и большим вниманием к вопросам диагностики, своевременной коррекции и профилактики стрессиндуцированных функциональных нарушений у операторов (Клаучек С.В. и др., 1994; Бодров В.А., 2000; Бобко Н.А., 2007). С этой целью используются различные немедикаментозные методы, в основном направленные на снижение нервно-психического напряжения и достижение психофизиологической релаксации (Заугольников Н.С., 2007; Федотчев А.И., 2009; Basar E. et al., 2000; Antunes R. et al., 2010). Входящие в этот перечень коррекционные мероприятия с использованием методов навязывания ритма по биорезонансному принципу способствуют не только повышению устойчивости к эмоциональному стрессу, но и оказывают оптимизирующее влияние на работоспособность человека (Попова О.В., 2007; Иваницкий А.М. и др., 2010; Федотчев А.И., 2010).

Одним из методов ритмической звуковой стимуляции, применяемых с целью коррекции функционального состояния человека, являются бинауральные ритмы. В эксперименте они используются для модификации состояния сознания, поведенческих реакций, настроения (Bradya V. et al., 2000; Wahbeh H. et al., 2007; Kennel S. et al., 2010). В клинике рассматривается возможность использования бинауральных ритмов, например, для снижения потребности в анестетиках в периоперационном периоде (Lewis A.K. et al., 2004; Padmanabhan R. et al., 2005; Dabu-Bondoc S. et al., 2010). Однако, имеются лишь единичные работы, посвященные физиологическим механизмам воздействия бинауральных ритмов на ЦНС (Pratt H. et al., 2007).

Перечисленные факты свидетельствуют об актуальности исследований биорезонансных эффектов в ЦНС при предъявлении бинауральных

ритмов, направленных на физиологическое обоснование возможности их практического использования для коррекции функционального состояния и работоспособности человека.

Цель исследования – физиологическое обоснование метода повышения операторской работоспособности с использованием принципа резонансного воздействия бинауральных ритмов на ЦНС.

Задачи исследования:

1. Оценить возможности навязывания ритмов биоэлектрической активности коры головного мозга с использованием бинауральных ритмов различной частоты.

2. Определить закономерности изменений биоэлектрической активности коры при различной длительности и частоте воздействия бинауральными ритмами.

3. Изучить влияние воздействия бинауральными ритмами различной частоты на состояние вегетативной реактивности.

4. Выявить особенности субъективного оценочного отражения воздействия при бинауральной стимуляции различной частоты.

5. Определить эффективные режимы воздействия бинауральными ритмами с целью повышения работоспособности человека-оператора.

Научная новизна исследования

Впервые обоснованы режимы бинаурального резонансного воздействия на ЦНС с частотой 18 Гц как средства, повышающего работоспособность человека-оператора.

Определены физиологические особенности влияния бинауральных биений различной частоты на эффективность основных характеристик операторской деятельности.

Выявлен характерный комплекс частотно-неспецифических реакций биоэлектрической активности коры при воздействии бинауральной стимуляцией различной частоты.

Установлена информативность субъективной оценки воздействия различных частот предъявляемых бинауральных биений как одной из характеристик их влияния на уровень работоспособности.

Практическая значимость

Разработаны режимы воздействия бинауральными биениями, позволяющие целенаправленно изменять функциональное состояние и повышать уровень работоспособности человека-оператора.

Разработанная методика бинаурального резонансного воздействия на ЦНС рекомендуется для расширенного использования с целью повышения результативности деятельности операторов сенсомоторного профиля.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Наличие характерных изменений биоэлектрической активности коры головного мозга при пролонгированной стимуляции бинауральными ритмами, свидетельствующих о возможности целенаправленной модификации уровня активации ЦНС.

2. Возможность коррекции функционального состояния и уровня работоспособности человека-оператора путем биорезонансной стимуляции бинауральными ритмами с частотой 18 Гц.

3. Эффективность воздействия бинауральной стимуляции на вегетативный уровень обеспечения операторской деятельности со сдвигом вегетативного баланса в пользу симпатического доминирования при частоте стимуляции 3 Гц и парасимпатического преобладания при частотах 18 Гц и «резонансной».

Апробация работы

Результаты исследований, выполненных по теме диссертации, доложены и опубликованы в материалах 68-й открытой научно-практической конференции молодых ученых и студентов с международным участием, посвященной 75-летию ВолГМУ, «Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины» (Волгоград, 2010); материалах 2-ой Всероссийской научно-практической конференции «Физиология адаптации» (Волгоград, 2010); опубликованы в Медицинском академическом журнале (Санкт-Петербург, 2010); журнале «Врач-аспирант» (Воронеж, 2011); журнале «Естественные и технические науки» (Москва, 2011).

Апробация диссертации проведена на расширенной межкафедральной конференции с участием сотрудников кафедр нормальной физиологии, патологической физиологии, общей гигиены, физического воспитания и здоровья Волгоградского государственного медицинского университета и кафедры физиологии и химии Волгоградской государственной академии физической культуры в октябре 2011 года.

Публикации

По материалам исследований опубликовано 7 печатных работ; три из них в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертация представлена на 179 страницах и состоит из введения, обзора литературы, главы с изложением методов и организации исследований, четырех глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы (169 отечественных и 86 зарубежных источников), проиллюстрирована 6 рисунками и 36 таблицами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнялась в лаборатории нейрофизиологии на базе кафедры нормальной физиологии Волгоградского государственного медицинского университета в течение 2008-2011 годов. Обследовано 317 практически здоровых мужчин в возрасте 18-23 лет. Предварительно у обследуемых собирался анамнез, оценивались общее состояние и психосоматический статус; проводилось информирование об объеме, условиях, методах обследования, полной безопасности, гарантиях неразглашения полученных результатов, по результатам которого обследуемый заполнял добровольное информированное согласие. Выявлялись противопоказания к проведению обследования: эпилепсия; острые воспалительные заболевания зрительного аппарата; органические поражения головного мозга; психотические состояния; обострение или тяжелое хроническое течение соматического заболевания; индивидуальная непереносимость мерцающего света и звука.

В процессе обследований применялись следующие методики оценки функционального состояния человека: электроэнцефалографическая регистрация биоэлектрической активности головного мозга с последующим компьютерным анализом, электрокардиография с последующим спектральным анализом вариабельности ритма сердца, комплекс психофизиологических методик, направленный на изучение уровня работоспособности обследуемого (исследование простой и сложной зрительно-моторных реакций, исследование работоспособности при дефиците времени, стабильности умственной деятельности, а также помехоустойчивости). В качестве биорезонансного воздействия применялись бинауральные ритмы различной частоты. Также для оценки субъективного восприятия различных вариантов бинаурального воздействия использовалась оригинальная анкета-опросник.

Исследование включало 5 этапов:

1 этап – оценка возможности навязывания ритма биоэлектрической активности мозга с использованием стандартных проб фото- и фоностимуляции, а также бинауральной стимуляции. Производилась регистрация и анализ ЭЭГ на фоне проведения фото-, фоностимуляции и предъявления бинауральных ритмов различной частоты. Определялись наиболее эффективные, с точки зрения ответа на ЭЭГ, режимы ритмического воздействия (54 обследуемых).

2 этап – выявление общих закономерностей изменения параметров ЭЭГ при варьировании длительности воздействия бинауральными биениями различной частоты (317 обследуемых).

3 этап – изучение влияния пролонгированного воздействия бинауральными ритмами различной частоты на баланс вегетативной нервной системы (317 обследуемых).

4 этап – исследование особенностей оценочного отражения воздействия бинауральными биениями различной частоты (317 обследуемых).

5 этап – определение эффективных режимов воздействия бинауральными ритмами с целью повышения уровня работоспособности человека-оператора (317 обследуемых).

Обработка первичных результатов, создание базы данных и заключительный статистический анализ производились с использованием программных пакетов Microsoft® Office Excel 2003 (Copyright ©, 1985-2003 by Microsoft Corporation), «Statistica 6.0» (Copyright ©, 1984-2001 by StatSoft, Inc.) (Боровиков В.П., 2003; Лялин В.С. и др., 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На этапе оценки возможности навязывания ритма биоэлектрической активности ЦНС была обследована группа из 54 мужчин в возрасте 18-23 лет. Для обследования использовался программно-аппаратный комплекс регистрации ЭЭГ - «Нейрон-Спектр». Исследование проводилось в затемненной экранированной комнате, в положении сидя, с закрытыми глазами. Использовалась Международная система отведений «10-20». Запись проводилась с 8 активных хлорсеребрянных электродов. Применялся монополярный способ отведения биоэлектрической активности; в качестве референтных были использованы два ушных электрода. Применялись фильтры высоких и низких частот, ограничивающие пропускание сигнала в пределах 0,5-35 Гц.

Запись производилась с применением стандартных функциональных проб: ритмического светового (фотостимуляция) и ритмического звукового (фоностимуляция) воздействий. Также проводилось бинауральная стимуляция, то есть воздействие бинауральными ритмами («биениями»). С целью генерирования бинауральных ритмов по левому звуковому каналу во всех случаях подавался сигнал частотой 400 Гц. Частота звуковых колебаний, предназначенных для правого уха, устанавливалась в зависимости от требуемой для исследования частоты бинауральных биений – $400 \text{ Гц} + n \text{ Гц}$, что позволяло получить при стереофоническом прослушивании бинауральные биения с частотой $n \text{ Гц}$ (Oster G., 1973). Каждая проба имела продолжительность по 20 секунд. Между пробами давался перерыв – 180 секунд. Результаты, полученные при проведении проб, сравнивались с показателями фоновой ЭЭГ обследуемых (зарегистрированной в тишине).

Были выбраны следующие частоты: 10 Гц как средняя частота альфаритма, преобладающего в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами; 3 Гц и 14 Гц – частоты полярных диапазонов (дельта и бета) нормальной ЭЭГ, позволяющие судить о потенциальной способности примененного метода воздействия повысить или понизить исходную частоту ЭЭГ.

При фотостимуляции частотами 10 Гц и 14 Гц происходило навязывание ритма в большинстве отведений, прослеживаемое при анализе частотно-спектральных характеристик ЭЭГ в альфа-диапазоне и бета-диапазоне и заключающееся в равенстве доминирующих и средних частот спектра частоте воздействия и значительном уменьшении их ошибки репрезентативности. При частоте фотостимуляции, равной 3 Гц такие частотно-специфические изменения не выявлялись. Приведенные данные указывают на высокий потенциал стандартной пробы фотостимуляции в навязывании ритма ЭЭГ альфа- и бета-диапазона, что согласуется с данными литературы (Посикера И.Н. и др., 1986; Бондарь А.Т., 1988). При проведении пробы фоностимуляции отмечались изменения доминирующих и средних частот в правом лобном, правом височном и левом височном отведениях, для которых не характерна отчетливая взаимосвязь с частотой воздействия. При бинауральной стимуляции отмечались изменения доминирующих и средних частот в некоторых отведениях (левое лобное, правое центральное, левое центральное, левое височное), которые также не имели отчетливой взаимосвязи с частотой воздействия.

Учитывая, что бинауральные биения частотами 3 Гц, 10 Гц, 14 Гц, предъявляемые по 20 секунд, вызывали частотно-неспецифические изменения показателей ЭЭГ, было решено увеличить длительность воздействия каждой частотой биений до 120 секунд. Также в новой пробе навязывание ритма происходило ступенчато («ведение ритма»): первоначальный ритм прослушиваемых бинауральных биений был равен усредненной собственной и округленной до десятых долей частоте альфа-ритма в затылочных отведениях (предварительному анализу подвергались 4 четырехсекундных интервала, а данная частота в дальнейшем условно называется «резонансной»). Бинауральные биения с этой частотой обследуемый прослушивал в течение 120 секунд. В дальнейшем первоначальный ритм уменьшался с интервалом в 1 Гц (второй показатель частоты округлялся до целых) до 6 Гц в первой пробе и увеличивался с интервалом 1 Гц (второй показатель частоты также округлялся до целых) до 14 Гц во второй пробе. Каждая частота бинауральных биений предъявлялась к прослушиванию также в течение 120 секунд. Между двумя пробами обследуемым предоставлялся интервал времени, равный 180 секундам. Изучались характеристики амплитудно-частотного спектра участков ЭЭГ, зарегистрированной на 100-120 секундах. Как следует из полученных данных, при проведении пробы «ведение ритма» с использованием бинауральной ритмической стимуляции отмечались единичные статистически достоверные изменения доминирующих и средних частот в некоторых отведениях (левое лобное, правое лобное, левое затылочное, правое затылочное, левое височное, правое височное), для которых не была характерна отчетливая взаимосвязь с частотой воздействия. Также регистрировались разнонаправленные изменения средней амплитуды спектра в левом лобном, правом лобном, правом

центральному, левому височному, правому височному отведениях в различных частотных диапазонах ЭЭГ.

В связи с отсутствием устойчивой взаимосвязи частоты бинауральных ритмов, предъявляемых в течение 120 секунд, и частотных характеристик спектра биоэлектрической активности коры, и, в то же время, присутствием ряда частотно-неспецифических изменений на ЭЭГ (изменения средней амплитуды спектра в ряде отведений), сделана попытка увеличения экспозиции бинауральных биений до 10 минут. За этот промежуток времени, предположительно, могут произойти функциональные изменения в ЦНС обследуемого под влиянием прослушиваемых бинауральных биений, которые найдут отражение на ЭЭГ (Думбай В.Н., 2007; Корюкалов В.И. и др., 2007; Данько С.Г. и др., 2010).

Для исключения влияния на показатели электрической активности ЦНС длительного прослушивания звукового фрагмента (не содержащего бинауральных биений), предварительно производилась регистрация ЭЭГ в состоянии тишины – 10 минут, а затем при прослушивании монотонного стереозвука частотой 400 Гц в обоих каналах. Аппаратура и условия при прослушивании стереозвука были аналогичными таковым при прослушивании бинауральных биений. При анализе частотно-спектральных характеристик ЭЭГ, кросскорреляционной функции и когерентности статистически достоверных различий не обнаружилось. Это позволило в дальнейших исследованиях в качестве исходной принимать фоновую ЭЭГ, зарегистрированную в тишине.

С целью изучения изменений биоэлектрической активности коры при пролонгированном воздействии бинауральными стимулами различной частоты обследовано 317 практически здоровых мужчин 18-23 лет. Каждому предлагалось прослушивать по 10 минут бинауральные ритмы с частотами 3 Гц, 18 Гц, а также с собственной средней частотой альфа-ритма в затылочных отведениях, предварительно усредненной и округленной до десятых долей - «резонансной» частотой. В группе обследуемых среднее значение «резонансной» частоты было $10,0 \pm 0,07$ Гц (минимальное зарегистрированное ее значение – 8,7 Гц, максимальное – 11,4 Гц).

При предъявлении бинауральных ритмов регистрировалась ЭЭГ. Между эпизодами воздействия разными частотами предоставлялся перерыв, равный 180 секундам. Также в качестве фоновой регистрировалась ЭЭГ покоя в тишине. Выбор порядка предъявления определенной частоты бинауральных биений или регистрация фоновой записи в каждом случае носил случайный характер. Обследуемому не сообщалась частота, которой производится воздействие, ориентироваться он мог лишь на собственные субъективные ощущения. Данный блок воздействия производился в течение одного посещения обследуемым лаборатории в течение не более 1,5 часов, с целью исключения влияния суточных и иных ритмов на биоэлектрическую активность коры.

В дальнейшем проводился анализ ЭЭГ: частотно-спектральный, когерентный и корреляционный. Анализу подвергались усредненные результаты обработки 3-х шестнадцатисекундных интервала ЭЭГ, не содержащих артефактов и расположенных на 10-ой минуте прослушивания бинауральных биений или нахождения в тишине. Вычислялись изменения каждого показателя ЭЭГ у испытуемого при прослушивании фрагмента бинауральных биений по отношению к фоновому. Полученные значения усреднялись и достоверность каждого изменения анализировалась с помощью парного t-критерия Стьюдента. Перед применением t-критерия Стьюдента производился анализ характера распределения вычисленных изменений показателей. Во всех случаях распределение носило нормальный характер.

При анализе изменений на ЭЭГ, происходящих при пролонгированном прослушивании бинауральных биений частотой 3 Гц, 18 Гц и «резонансной», выявлено, что наибольшее количество статистически значимых изменений частотно-спектральных характеристик ЭЭГ характерно для частоты воздействия 3 Гц, меньшее – для 18 Гц и наименьшее число изменений – для «резонансной» частоты.

При частотно-спектральном анализе всего частотного диапазона ЭЭГ изменений доминирующих и средних частот, приближающих их к частоте воздействия, не отмечалось. Однако, из анализа частотных диапазонов ЭЭГ, соответствующих частотам воздействия бинауральными ритмами, следовало, что увеличение средней частоты в правом центральном и левом височном отведениях в дельта-диапазоне (на 0,1 Гц в обоих случаях при исходных средних частотах соответственно 2,4 Гц и 2,5 Гц) приближает ее к частоте бинауральной стимуляции (3 Гц). Снижение средней частоты в левом лобном и левом центральном отведениях в бета₂-диапазоне, соответственно на 0,4 Гц и 0,2 Гц при исходных средних частотах 25,4 Гц и 24,2 Гц, приближает эту частоту к частоте бинауральной стимуляции (18 Гц). Повышение доминирующей и средней частоты в альфа-диапазоне в правом височном отведении на 0,3 Гц и 0,1 Гц соответственно при исходных частотах 9,6 Гц и 9,9 Гц также приближает эти показатели к частоте бинауральной стимуляции («резонансной» частоте, равной для группы обследованных 10,0 Гц).

Наибольшее количество достоверных изменений доминирующих и средних частот при анализе по отдельным частотным диапазонам ЭЭГ зарегистрировано в височных отведениях, меньшее количество – в центральных и лобных. Уменьшение средней мощности и амплитуды с одновременным увеличением средней и доминирующей частот в височных отведениях в альфа-диапазоне может указывать на реакцию активации данных зон коры (таблица 1). Эти результаты согласуются с локализацией проекционной зоны слухового анализатора в височной области (Батуев А.С., 2006). Уменьшение средней мощности и амплитуды с одновременным увеличением средней частоты в левом лобном отведении в альфа-диапазоне

Таблица 1. Изменения частотно-спектральных характеристик ЭЭГ обследуемых при предъявлении бинауральных биений с частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» ($n=317$; $M \pm m$).

Отв.	Бинауральная стимуляция 3 Гц				Бинауральная стимуляция 18 Гц				Бинауральная стимуляция РезЧ			
	А ср.	S ср.	F дом.	F ср.	А ср.	S ср.	F дом.	F ср.	А ср.	S ср.	F дом.	F ср.
F1A1	-0,06± 0,020*	-0,14± 0,049*	0,0	0,1± 0,04*	-0,04± 0,021	-0,10± 0,049*	-0,1± 0,12	0,0	-0,02± 0,022	-0,07± 0,052	-0,1± 0,09	0,0
F2A2	-0,07± 0,021*	-0,16± 0,057*	0,1± 0,11	0,1± 0,06	-0,04± 0,021	-0,12± 0,049*	-0,1± 0,13	0,0	-0,03± 0,020	-0,08± 0,053	0,0	-0,1± 0,07
C3A1	-0,11± 0,039*	-0,24± 0,085*	0,0	-0,2± 0,33	-0,05± 0,027	-0,11± 0,086	0,1± 0,15	0,1± 0,08	-0,05± 0,031	-0,12± 0,093	0,1± 0,17	0,1± 0,07
C4A2	-0,08± 0,027*	-0,25± 0,087*	0,2± 0,14	0,2± 0,06*	-0,05± 0,027	-0,18± 0,096	0,1± 0,13	0,1± 0,07	-0,06± 0,025*	-0,15± 0,087	0,1± 0,15	0,0
O1A1	-0,16± 0,063*	-0,76± 0,353*	0,0	0,1± 0,08	-0,09± 0,075	-0,23± 0,429	-0,1± 0,16	0,1± 0,08	-0,09± 0,056	-0,21± 0,328	-0,1± 0,15	0,0± 0,08
O2A2	-0,16± 0,065*	-0,76± 0,361*	0,1± 0,12	0,1± 0,08	-0,10± 0,079	-0,34± 0,451	-0,1± 0,11	0,1± 0,07	-0,08± 0,058	-0,24± 0,312	-0,2± 0,13	-0,1± 0,08
T3A1	-0,09± 0,022*	-0,19± 0,056*	0,2± 0,11	0,2± 0,05*	-0,06± 0,027*	-0,13± 0,072	0,3± 0,14*	0,1± 0,06	-0,03± 0,041	-0,03± 0,116	-0,1± 0,25	-0,1± 0,22
T4A2	-0,06± 0,024*	-0,12± 0,051*	0,4± 0,16*	0,2± 0,07*	-0,03± 0,027	-0,04± 0,068	0,3± 0,14*	0,2± 0,06*	-0,05± 0,023*	-0,10± 0,058	0,3± 0,14*	0,1± 0,04*

Примечание: * - различия статистически достоверны ($p \leq 0,05$); Отв. – отведение; А ср. – амплитуда спектра средняя, мкВ/с; S ср. – мощность спектра средняя, мкВ²/с²; F дом., ср. – частота доминирующая, средняя, Гц; РезЧ – «резонансная» частота.

может указывать на активацию левой лобной зоны ЦНС, что характерно для наличия эмоциональной реакции, возможно позитивно окрашенной (Tomarken A.J., Keener A.D., 1998; Davidson R.J. et al., 1999).

Наименьшее количество достоверных изменений показателей пространственной синхронизации ритмов характерно для ЭЭГ, зарегистрированной при прослушивании бинауральных биений с частотой 3 Гц. Больше число изменений регистрируется при частотах воздействия 18 Гц и «резонансной» (рисунок 1, рисунок 2). Изменения межполушарных кросс-корреляции и когерентности имеют одинаковую направленность для всех частот воздействия бинауральными ритмами.

По данным литературы, при увеличении уровня активации ЦНС происходит преимущественное усиление пространственной синхронизации медленных (дельта и тета) и снижение – быстрых (альфа и бета) частот (Кирой В.Н., 1998). При прослушивании бинауральных биений нами отмечено снижение межполушарной когерентности медленных частот (в лобных отведениях) и увеличение межполушарной когерентности быстрых частот (в затылочных отведениях), которые могут указывать на наличие

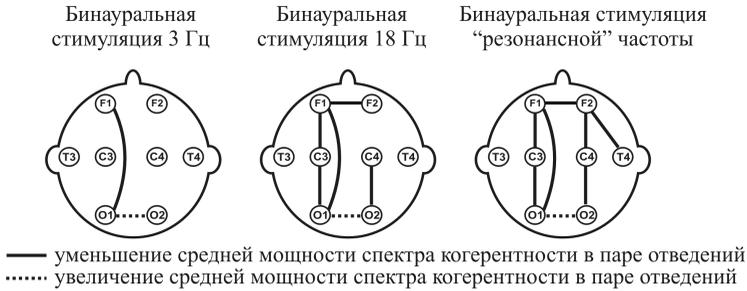


Рисунок 1. Пары отведений, в которых при бинауральной стимуляции с частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» отмечаются достоверные изменения средней мощности спектра когерентности (весь частотный диапазон ЭЭГ).

тенденции к снижению общего уровня активации ЦНС по сравнению с состоянием покоя в тишине.

Уменьшение когерентности в лобных зонах, отмечающееся при бинауральной стимуляции частотой 18 Гц и «резонансной», по данным литературы наблюдается при когнитивной нагрузке (Nunez P.L., 1995). Повышение когерентности в альфа-диапазоне также характерно для решения когнитивных и моторных задач (Beaumont J.G. et al., 1978; Ford M.R. et al., 1986). Такое повышение когерентности в альфа-диапазоне (в затылочных отведениях) регистрируется при бинауральной стимуляции частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» частоты.

Опираясь на существующую точку зрения, что уменьшение когерентности может отражать вовлечение соответствующих зон в обработку информации (Show J.C., Ongley C., 1972), мы отметили следующие факты. При бинауральной стимуляции частотой 3 Гц с одной стороны отмечается вовлечение в обработку информации преимущественно левых лобной и затылочной зон коры. С другой стороны в тета-диапазоне эта тенденция отмечается также в левой центральной зоне, в бета₂-диапазоне – в правой центральной и затылочной зонах коры головного мозга.

При бинауральной стимуляции частотой 18 Гц вовлечение в обработку информации отмечается в левых лобной, центральной и затылочной зонах, а также правых центральной и затылочной зонах. В дельта-диапазоне в указанный процесс также вовлекается левая височная область. В альфа-диапазоне отмечается повышение когерентности в правых лобной, затылочной, височной зонах, что позволяет предположить снижение активности данных зон в обработке информации.

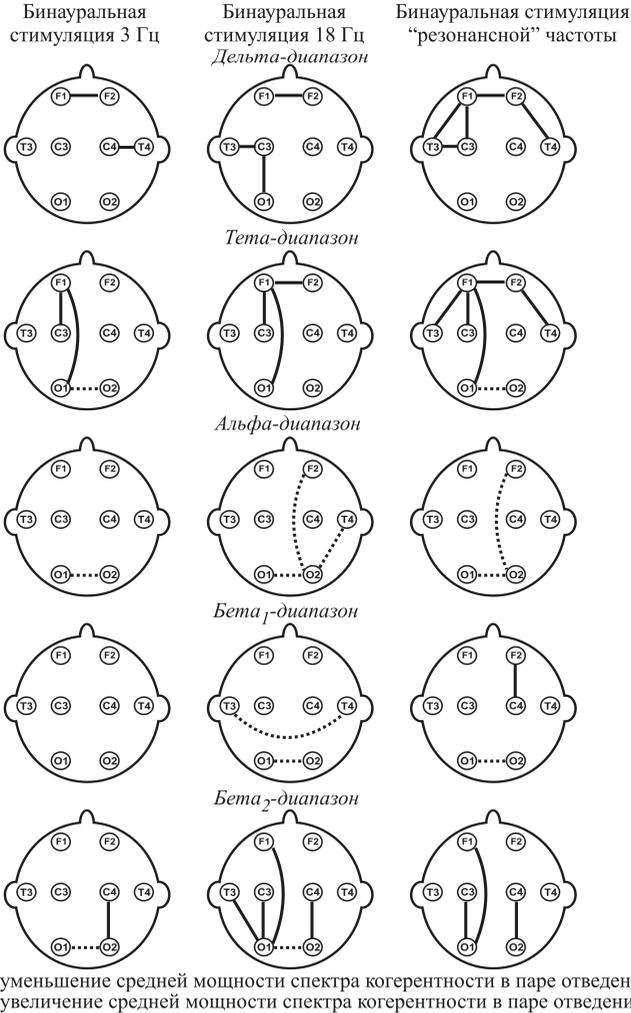


Рисунок 2. Пары отведений, в которых при бинауральной стимуляции частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» отмечаются достоверные изменения средней мощности спектра когерентности.

При бинауральной стимуляции «резонансной» частотой отмечается вовлечение в обработку информации левых лобной, центральной и затылочной зон, а также правых лобной, центральной, затылочной и височных зон. В дельта- и тета-диапазоне также вовлекается левая височная зона. В

альфа-диапазоне отмечается повышение когерентности в правых лобной и затылочной зонах.

По данным литературы положительные эмоциональные реакции больше связываются с активацией левых лобных областей, негативные – правых (Heller W. et al., 1997). Активность правой височно-теменной области при негативных эмоциях увеличивается, что связывают с включением механизма восприятия и оценки информационных посылок к эмоциональным реакциям (Davidson R.J. et al., 1999). Указанное положение позволяет предполагать, что отсутствие вовлеченности в обработку информации лобных зон при бинауральной стимуляции частотой 3 Гц указывает на минимальную выраженность эмоциональных реакций на предъявляемый стимул у обследуемых. Вовлеченность в обработку информации преимущественно левой лобной зоны при бинауральной стимуляции частотой 18 Гц указывает на умеренный эмоциональный фон с положительным знаком. Вовлеченность в обработку информации левой и правой лобных зон, а также правой височной зоны может указывать на значительную эмоциональную окраску, сопровождающую прослушивание бинауральных ритмов «резонансной» частоты, возможно негативной направленности.

На следующем этапе с целью изучения динамики вегетативного тонуса при прослушивании бинауральных биений обследовано 317 практически здоровых мужчин 18-23 лет. После адаптации к условиям обследования в течение 5 минут каждому предлагалось прослушивать по 10 минут бинауральные ритмы с частотами 3 Гц, 18 Гц, а также «резонансной». При предъявлении бинауральных ритмов регистрировалась ЭКГ с помощью программно-аппаратного комплекса «Поли-Спектр». Между эпизодами воздействия разными частотами предоставлялся перерыв между пробами, равный 180 секундам. Также в качестве фоновой регистрировалась ЭКГ покоя в тишине. Выбор порядка предъявления определенной частоты бинауральных биений или регистрация фоновой записи в каждом случае носил случайный характер.

При прослушивании бинауральных биений частотой 3 Гц были зарегистрированы достоверные снижение полной мощности кардиоритма, снижение мощности спектра в области высоких частот и увеличение соотношения LF/HF, которые носят однонаправленный характер и указывают на увеличение влияния симпатической части вегетативной нервной системы на ритм сердца (таблица 2).

При прослушивании бинауральных биений частотой 18 Гц отмечалось снижение индекса напряжения и мощности спектра кардиоритма в области низких частот, что характерно для повышения роли вагусной регуляции ритма сердца. Увеличение мощности спектра в области высоких частот, зарегистрированное при воздействии бинауральными ритмами «резонансной» частоты, также указывает на некоторый рост выраженности влияния парасимпатической части вегетативной нервной системы. Нали-

Таблица 2. Фоновые показатели variability ритма сердца и их изменения относительно фоновых при предъявлении бинауральных биений с частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» частотой (n=317; M±m)

Показатель	Фоновые показатели (в тишине)	Изменения показателей variability ритма сердца при бинауральной стимуляции		
		БС 3 Гц	БС 18 Гц	БС РезЧ
ЧСС, уд./мин	72±2,7	1±0,6	-2±0,7*	-2±0,8*
Мо, с	0,845±0,0274	-0,013±0,0126	0,014±0,0108	0,014±0,0118
АМо, %	45,8±2,46	-4,4±2,40	-0,6±1,88	-1,6±1,65
ВР, с	0,305±0,0248	-0,005±0,0164	-0,003±0,0111	-0,002±0,0124
ИН	124,3±17,90	-25,2±13,12	-23,1±8,67*	-20,1±11,95
ТР, мс ²	4276±796,1	-879±321,2*	-536±299,6	-485±384,5
VLF, мс ²	807±101,6	-185±111,5	396±214,7	417±235,9
LF, мс ²	1214±241,7	21±74,8	-259±78,4*	54±174,9
LFnorm, у.е.	34,2±1,98	4,3±3,01	-1,9±3,42	-3,1±3,63
HF, мс ²	2389±404,7	-685±205,6*	-689±375,7	278±116,7*
HFnorm, у.е.	65,8±1,98	-4,3±3,01	1,9±3,42	3,1±3,63
LF/HF	0,57±0,053	0,27±0,111*	-0,03±0,089	-0,07±0,098

Примечание: * - изменения статистически достоверны (p≤0,05); БС – бинауральная стимуляция; РезЧ – «резонансная» частота

чие тенденции к сдвигу вегетативного равновесия в сторону вагусных влияний при прослушивании бинауральных биений частотой 18 Гц и «резонансной» подтверждает и отмеченное статистически достоверное снижение ЧСС.

Таким образом, при прослушивании бинауральных биений частотой 3 Гц отмечался сдвиг вегетативного регулирования в сторону симпатической активности, частотой 18 Гц и «резонансной» – парасимпатической. По данным литературы преобладание при стрессе парасимпатических влияний на сердечную деятельность способствует большей устойчивости к эмоциональному стрессу (Ульянинский Л.С., 1997). Это позволяет предположить, что бинауральная стимуляция с частотой 18 Гц и «резонансной» частотой может способствовать формированию более оптимальной реакции на стресс, связанный с операторской деятельностью, а стимуляция с частотой 3 Гц является менее оптимальной.

Следующий этап исследования предполагал определение особенностей оценочного отражения воздействия как компонента функционального состояния человека при бинауральной стимуляции различной частоты. Обследованы те же 317 мужчин 18-23 лет. После прослушивания бинауральных биений с частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» частотой в течение 10 минут каждому предлагалось заполнить специально разработанный

опросник, для каждой частоты воздействия – отдельно. Опросник содержал 7 шкал: психологического комфорта, желания длительного прослушивания звукового фрагмента, «приятности» звука, эмоционального расслабления, желания уснуть (релаксирующего действия), возможности сосредоточиться на определенной мысли, возможности решения интеллектуальных задач. Как следует из полученных результатов, более благоприятно воспринимались бинауральные ритмы, частотой 3 Гц, им сопутствовало большее количество позитивно окрашенных визуальных образов. Более отрицательное восприятие было характерно для бинауральных биений частотой 18 Гц и «резонансной», их сопровождало меньшее количество, однако, имевших чаще негативную окраску образов.

На завершающем этапе исследований для определения характера и выраженности изменений уровня работоспособности человека при прослушивании бинауральных биений было обследовано 317 мужчин, предварительно обученных элементарным операторским приемам. Все обследуемые выполняли тестовые задания, моделирующие операторскую деятельность, четыре раза: в тишине, а также при прослушивании бинауральных ритмов частотой 3 Гц, 18 Гц и «резонансной». Между эпизодами воздействия разными частотами предоставлялся перерыв между пробами, равный 180 секундам. Выбор перечисленных условий проведения тестирования, а также порядка чередования тестов между собой носил случайный характер. Обследуемому не сообщалась частота, которой производится воздействие. Данный блок воздействия производился в течение одного посещения обследуемым лаборатории, преимущественно в утренние часы.

С целью определения влияния бинауральной стимуляции на уровень работоспособности человека-оператора использованы прямые показатели, которые характеризуют эффективность и надежность выполнения профессиональных задач, действий и операций (Белоховская М.С. и др., 2006; Смагулов Н.К. с соавт., 2007). Для разработки протокола обследования были применены рабочие тесты – стандартизированные по объему, времени и условиям выполнения рабочие задания, представляющие собой по содержанию отдельные элементы рабочей деятельности. В качестве таких рабочих тестов были применены объективные психодиагностические методики – компьютеризированные «деятельностные» тесты (Кудрин Р.А., Клаучек С.В., 2001). Обследование проводилось в затененной комнате, изолированной от посторонних звуковых и визуальных раздражителей.

Комплекс тестов был ориентирован на исследование простой и сложной зрительно-моторных реакций (ПЗМР и СЗМР), работоспособности при дефиците времени, стабильности умственной деятельности, а также помехоустойчивости. Как следует из полученных данных, воздействие бинауральной ритмической стимуляцией с частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» частотой при выполнении тестов достоверно изменяло их результаты, то есть влияло на уровень работоспособности (таблица 3). Отмечалось

Таблица 3. Фоновые показатели работоспособности и их изменения относительно фоновых при бинауральной стимуляции с частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» частотой (n=317; M±m)

Показатель	Фоновые показатели (в тишине)	Изменения результатов тестов при бинауральной стимуляции		
		БС 3 Гц	БС 18 Гц	БС РезЧ
Простая и сложная зрительно-моторные реакции				
Среднее время ПЗМР (мс)	227,0± 10,57	-25,4± 8,47*	-30,9± 10,93*	-27,8± 9,89*
Среднее время СЗМР (мс)	417,2± 19,19	-20,8± 22,32	-60,6± 27,27*	-53,4± 23,85*
Доля ошибочных ответов СЗМР (%)	1,8± 0,50	-1,1± 0,53*	-1,3± 0,54*	-1,20± 0,539*
Работоспособность при дефиците времени				
Среднее время экспозиции (мс)	2514,5± 215,26	-420,3± 243,18	-371,1± 199,91	-386,2± 235,16
Дисперсия среднего времени экспозиции (мс)	269,4± 9,72	-2,3± 12,03	6,4± 10,66	2,4± 11,65
Доля правильных ответов (%)	70,3± 1,42	6,1± 1,56*	10,4± 1,53*	8,4± 1,83*
Стабильность умственной деятельности				
Среднее время ответа на одну страницу (с)	70,1±1,25	-11,6±1,83*	-14,3±2,19*	-13,8±2,16*
Дисперсия среднего времени ответа	2,3±0,22	-0,4±0,18*	-0,5±0,19*	-0,4±0,19*
Количество ошибок на одну страницу	1,7±0,17	0,6±0,20*	0,5±0,21*	0,5±0,24*
Дисперсия количества ошибок	1,3±0,12	0,0	0,2±0,14	0,1±0,12
Помехоустойчивость умственной работоспособности				
Среднее время ответа без помех (мс)	2783,3± 112,56	-517,5± 90,52*	-683,8± 119,53*	-589,3± 98,69*
Дисперсия среднего времени ответа без помех (мс)	318,8± 35,90	-213,4± 38,24*	-252,6± 34,31*	-238,7± 36,43*
Среднее время ответа с помехами (мс)	2783,4± 108,84	-453,9± 90,12*	-564,9± 87,52*	-509,6± 92,74*
Дисперсия среднего времени ответа с помехами (мс)	140,9± 17,84	-62,3± 17,38*	-62,4± 17,50*	-62,3± 17,46*
Коэффициент помехоустойчивости (%)	94±2,4	-1,9±3,01	-2,1±2,99	-1,5±2,76
Количество ошибок	4,5±0,86	-1,7±0,92	-1,9±0,82*	-1,9±0,87*

Примечание: * - изменения статистически достоверны (p≤0,05); БС – бинауральная стимуляция; РезЧ – «резонансная» частота.

улучшение показателей в целом – снижалось время реакций, уменьшалась их дисперсия, что характеризовало результат как более стабильный.

Установлено, что улучшение работоспособности при дефиците времени (наличие тенденции к снижению среднего времени экспозиции и дисперсии среднего времени экспозиции) сопровождалось увеличением доли правильных ответов, улучшение показателей помехоустойчивости умственной работоспособности (снижение среднего времени ответа без помех, дисперсии среднего времени ответа без помех, среднего времени ответа с помехами, дисперсии среднего времени ответа с помехами) также сопровождалось снижением количества ошибок.

Однако в условиях чрезмерно монотонной и рутинной деятельности воздействие бинауральными ритмами вызывало улучшение временных показателей стабильности умственной деятельности с одновременным увеличением количества ошибок, то есть с ростом скорости выполнения задания отмечается некоторое ухудшение его качества. В тесте помехоустойчивости умственной деятельности достоверного изменения коэффициента помехоустойчивости при прослушивании бинауральных ритмов не было отмечено, что являлось закономерным в связи с однонаправленным изменением как среднего времени ответа без помех, так и среднего времени ответа с помехами.

Наименьшее количество и выраженность достоверных изменений показателей работоспособности отмечались при воздействии бинауральными ритмами с частотой 3 Гц. Большие позитивные сдвиги в комплексе показателей, составляющих операторскую работоспособность, выявлялись при бинауральной стимуляции с частотой 18 Гц. Бинауральные ритмы «резонансной» частоты по степени воздействия на работоспособность занимали промежуточное положение.

ВЫВОДЫ

1. Изменения функционального состояния ЦНС при биорезонансном воздействии бинауральными ритмами демонстрируют его преимущества по сравнению с «эталонными» методами навязывания заданной частоты биоэлектрической активности коры путем ритмической фото- и фоностимуляции, выражающиеся в возможности применения бинауральных ритмических воздействий одновременно с выполнением операторских функций.

2. Бинауральные ритмические воздействия позволяют целенаправленно снижать уровень активации ЦНС, характерный для эмоционального стресса, что выражается в достоверном снижении межполушарной когерентности медленных частот преимущественно в лобных отведениях и увеличении когерентности быстрых частот в затылочных отведениях.

3. При пролонгированном воздействии бинауральными ритмами наиболее значимые изменения частотно-спектральных параметров ЭЭГ, отражающие тенденцию к усвоению ритма, характерны для частоты воздействия 3 Гц, в меньшей степени – для 18 Гц, наименьшее число изменений отмечаются при воздействии «резонансной» частотой.

4. Характер модулирующего действия бинауральной ритмической стимуляции на вегетативный баланс определяется частотой воздействия. При экспозиции с частотой 3 Гц отмечается тенденция к активации симпатической составляющей вегетативной реактивности; в случае воздействия частот 18 Гц или «резонансной» активируется парасимпатическая составляющая вегетативного регулирования ритма сердца.

5. Результаты самооценки функционального состояния обследуемых указывают на преимущественное позитивное восприятие бинауральных ритмов с частотой 3 Гц. Более негативное восприятие характерно для бинауральных ритмов с частотами 18 Гц и «резонансной».

6. Воздействие бинауральной ритмической стимуляции с частотами 3 Гц, 18 Гц и «резонансной» повышает уровень работоспособности, что выражается в улучшении его показателей – снижении времени реакций, уменьшении дисперсий, количества ошибок при выполнении рабочих заданий, содержащих элементы операторской деятельности. Наиболее выраженное позитивное влияние на операторские функции отмечается при воздействии бинауральными ритмами частотой 18 Гц.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанные режимы воздействия бинауральными биениями, позволяющие влиять на функциональное состояние и повысить уровень работоспособности человека-оператора, рекомендуется использовать для повышения результативности операторской деятельности операторов сенсорного профиля.

2. Физиологически обоснованные методы коррекции функционального состояния вегетативной нервной системы с помощью бинауральной стимуляции различной частоты рекомендуется использовать в практике работы кабинетов психофизиологической разгрузки лечебно-профилактических учреждений для снижения профессионально обусловленного психоэмоционального стресса.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Калачев, А.А. Влияние бинауральных ритмов на психофизиологические характеристики человека / А.А. Калачев, К.Г. Шапошникова, С.В. Клаучек // Физиология адаптации: Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции, г. Волгоград, 22-24 июня 2010 г. – Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2010. – С. 68-70.

2. Калачев, А.А. Динамика успешности операторской деятельности при бинауральном ритмическом воздействии // Естественные и технические науки. – 2011. – №6. – С. 146-148.

3. Калачев, А.А. Особенности вегетативной реактивности при воздействии бинауральными биениями и их субъективное восприятие // Врач-аспирант. – 2011. - №6.1(49). – С. 168-173.

4. Калачев, А.А. Особенности субъективного восприятия бинауральных биений различной частоты // Медицинский академический журнал. – 2010. – Том 10, №5. – С. 15-16.

5. Калачев, А.А. Психофизиологические эффекты бинауральных биений различной частоты при моделировании операторской деятельности / А.А. Калачев, К.Г. Шапошникова, С.В. Клаучек // Медицинский академический журнал. – 2010. – Том 10, №5. – С. 16

6. Калачев, А.А. Устойчивые паттерны биоэлектрической активности коры головного мозга при прослушивании бинауральных ритмов // Врач-аспирант. – 2011. - №5.4(48). – С. 575-580.

7. Калачев, А.А. Физиологическое обоснование воздействия бинауральных ритмов (биений) на мозг человека / А.А. Калачев, А.Н. Долецкий // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины: Материалы 68-й открытой научно-практической конференции молодых ученых и студентов с международным участием, посвященной 75-летию ВолГМУ. – Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2010. – С. 9-10.