

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»  
(ФГБОУ ВПО ТГПУ им. Л.Н. Толстого)

Кафедра биологии и технологий живых систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

**ВЛИЯНИЕ МУЗЫКИ И МОДУЛИРОВАННОГО АКУСТИЧЕСКОГО  
ШУМА НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА**

Выполнена:

студенткой 5 курса группы 850791  
очной формы обучения  
специальности «Биоэкология»  
со специализацией «Экологическая  
экспертиза»  
факультета естественных наук,  
**Залиняевой Екатериной Викторовной**

Тула – 2014

**Работа выполнена на факультете естественных наук  
ФГБОУ ВПО ТГПУ им. Л.Н. Толстого**

Научный руководитель: Красников Геннадий Викторович, к.б.н., доцент  
кафедры биологии и технологий живых систем

**Работа допущена к защите:**  
Заведующий кафедрой биологии  
и технологий живых систем  
д.б.н., профессор

В.В. Иванищев

**Рецензент:**  
Панфилов Олег Петрович, д.б.н., профессор кафедры теории и методики  
физической культуры и спортивных дисциплин факультета физической  
культуры ФГБОУ ВПО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого»

Защита состоится 24 июня 2014 года в учебном корпусе №2  
ТГПУ им. Л.Н. Толстого в аудитории №97 в 9.00 часов

**Декан факультета  
естественных наук**  
д.х.н., профессор

И.В. Шахкельдян

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	7
1.1. Влияние музыки на человека .....	7
1.1.2. Психофизиологические аспекты влияния музыки различных стилей и направлений .....	14
1.2. Кровоток в системе микроциркуляции кожи человека .....	16
1.2.1. Лазерная доплеровская флоуметрия как метод исследования микроциркуляции .....	16
1.2.2. Колебания в системе микроциркуляции .....	20
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	25
2.1. Материалы и методы .....	25
2.2. Результаты и их обсуждение .....	29
2.2.1. Влияние модулированного акустического белого шума на вариабельность ритма сердца и колебания кровотока кожи человека .....	29
2.2.2. Влияние влияния музыки различных стилей на вариабельность ритма сердца и колебания кровотока кожи человека .....	37
ВЫВОДЫ .....	47
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	48

Использование в научных целях и учебных целях.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире весьма актуальна проблема изучения комфортности среды обитания и среди этих параметров комфортности важной является проблема внешних акустических воздействий. Начиная от производственного шума и заканчивая различными музыкальными произведениями.

Акустический шум – беспорядочные звуковые колебания разной физической природы, характеризующиеся случайным изменением амплитуды, частоты и фазы. Понятие акустического шума связано со звуковыми волнами (звуками), под которыми понимают распространяющиеся в окружающей среде и воспринимаемые ухом человека упругие колебания в частотном диапазоне от 20 Гц до 20 кГц.

Шум оказывает влияние на весь организм человека. Шум с уровнем звукового давления до 30–35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40–70 дБ в условиях среды обитания создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия, а при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 дБ может привести к потере слуха – профессиональной тугоухости. При действии шума высоких уровней (более 140 дБ) возможен разрыв барабанных перепонки, контузия, а при еще более высоких (более 160 дБ) и смерть [16, 17].

Помимо шума важным компонентом акустического окружения для человека является и музыка – сочетание звука и тишины, особым образом организованные во времени. Музыка строится из музыкальных звуков. Они обладают определённой высотой (высота основного тона обычно от до субконтроктавы до до – ре пятой октавы (от 16 до 4000 — 4500 Гц). Тембр музыкального звука определяется присутствием обертонов и зависит от источника звука. Громкость музыкального звука не превышает порога болевого ощущения. Музыкальный звук обладает определённой длительностью. Физическая

особенность музыкального звука состоит в том, что звуковое давление в нём является периодической функцией времени.

Известно, что музыка вызывает эмоциональные ответы, которые могут улучшить качество жизни, но, также, может вызвать напряжение и агрессивность. Музыка может усиливать положительные эмоции, что играло важную роль в создании определенной психологической среды посредством ее использования в ритуалах и религиозных обрядах. Влияние музыки имеет различные нейрофизиологические аспекты, связанные прежде всего с сердечно-сосудистой системой. Так, показано, что у человека прослушивание музыки может сопровождаться чувством эйфории, вызванным высвобождением дофамина в области полосатого тела головного мозга. Установлено, что у людей и некоторых других млекопитающих под воздействием музыки может изменяться кровяное давление, увеличиваться частота сердечных сокращений, а также уменьшаться ритм и глубина дыхательных движений.

Регуляция деятельности сердечно-сосудистой системы представляет собой открытую многокомпонентную иерархически структурированную систему, работающую в колебательном режиме. Спонтанные колебания на выходе такой системы являются результатом взаимодействия внутренних динамических процессов и внешних факторов. В этой связи теоретический и практический интерес вызывают эффекты воздействия внешней периодической стимуляции на сердечный ритм, спонтанные колебания центрального и периферического кровотока. В отношении ритма сердца имеются многочисленные исследования влияния ритмической стимуляции различной модальности: визуальной, акустической стимуляции, управляемого дыхания, ментальной нагрузки [6, 11, 12, 17, 19, 23].

В исследованиях влияния акустических стимулов чаще всего используют фрагменты музыкальных произведений [15, 19] и аудиосигналы различной формы и происхождения [11, 16, 17].

В этих случаях преимущественно используются сигналы или шумы с высокой интенсивностью, либо эмоционально-значимые стимулы – фрагмен-

ты музыкальных произведений, что очевидно связано с эмоционально-психическим напряжением испытуемых.

**Целью** данной работы является исследование эффектов влияния низкоинтенсивного немодулированного и модулированного акустического шума и музыки на параметры variability сердечного ритма (BCP) и микроциркуляторного кровотока кожи у человека. Исходя из цели исследования, в работе были поставлены следующие **задачи**:

- 1 Освоение методов вариационной пульсометрии и лазерной доплеровской флоуметрии;
- 2 Освоение методов амплитудно-частотного анализа физиологических сигналов;
- 3 Исследование влияния низкоинтенсивного немодулированного и модулированного акустического шума на BCP и микроциркуляторный кровоток кожи;
- 4 Исследование влияния музыки различных стилей на BCP микроциркуляторный кровоток кожи.

Любое копирование и тиражирование запрещено

## 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1. Влияние музыки на человека

В XIX веке ученый И. Догель установил, что под воздействием музыки меняются кровяное давление, частота сокращений сердечной мышцы, ритм и глубина дыхания как у животных, так и у человека. Известный русский хирург академик Б. Петровский использовал музыку во время сложных операций: согласно его наблюдениям под воздействием музыки организм начинает работать более гармонично. Выдающийся психоневролог академик Бехтерев считал, что музыка положительно влияет на дыхание, кровообращение, устраняет растущую усталость и придает физическую бодрость [14].

С 1969 г. в Швеции существует музыкально-терапевтическое общество. Благодаря сотрудникам этой организации стало известно всему миру, что звуки колокола, содержащие в себе резонансное ультразвуковое излучение, за считанные секунды убивают тифозные палочки, возбудителей желтухи и вирусы гриппа, что под воздействием определенных типов музыки ускоряет свое движение протоплазма клеток растений и многое другое.

В нашем сложном земном мире любое явление можно направить и в положительную и в отрицательную стороны. Музыка – не исключение.

Ни для кого не секрет, что музыка занимает немаловажное место в нашей жизни. Но обычно мало кто отдаёт себе отчёт в том, что, она предназначена не только для развлечения. Музыка может оказывать заметное воздействие на психоэмоциональное и физическое состояние человека. Как же человек воспринимает звук? Звуковые колебания воспринимаются либо через органы слуха, передающие полученную информацию в особые участки мозга, либо колебания определённой частоты напрямую воздействуют на функционирование отдельных органов и организм в целом. В первом случае мозг, в зависимости от полученной информации, направляет органам сигналы, возникающие под её влиянием. Во втором случае механизм воздействия зву-

ковых колебаний следующий. Каждый орган работает в своём особом режиме, биоритмы работы любого здорового органа лежат в определённом диапазоне частот, общем для подавляющего большинства людей [25].

Например, частота работы сердца и гладкой мускулатуры внутренних органов близка к 7 Гц. Альфа-режим работы мозга – 4-6 Гц. Бета-режим – 20 – 30 Гц. При совпадении или приближении частоты звукового колебания к частоте биоритмов того или иного органа возникает хорошо известное всем явление резонанса (усиление колебаний) или антирезонанса (подавление колебаний). Возможны также случаи так называемого неполного резонанса (частичного совпадения колебаний). Но, как бы там ни было, орган начинает работать в непривычном или вовсе дисгармоничном для него ритме, что может привести к развитию патологии как этого органа, так и всего организма в целом. Человек слышит звуковые колебания в среднем с частотой от 20 Гц до 20 КГц. Выше этого диапазона начинается область ультразвуковых колебаний, но прямое воздействие на организм в общем случае оказывают в основном колебания от 2 до 10 Гц. Помимо этого, следует отдельно перечислить ряд дополнительных факторов, которые также влияют на наш организм:

1. Громкость звука (свыше 120 дБ появляются болезненные ощущения, а при 150 возможен летальный исход).

2. Шум. Особенно влияет так называемый «белый шум» (фоновый шум). Его уровень, который составляет примерно 20 – 30 дБ, безвреден для человека, так как является естественным.

3. Продолжительность воздействия звуковых колебаний. Любой шум достаточной интенсивности и длительности воздействия может привести к снижению слуховой чувствительности и некоторым функциональным недомоганиям [1].

Нельзя забывать и о том, что музыка и любой звук вообще действуют не только как факторы физические, – то есть как определённой частоты колебания, – но и содержат своеобразный психоэмоциональный ассоциативный ряд. Конечно же, он тоже воздействует на человека.



Приведём некоторые примеры влияния музыки на человека. Еще в глубокой древности было известно, что звуковые колебания (и, в частности, музыка) способны оказывать эффективное лечебное или болезнетворное воздействие на человеческий организм и психику. Пифагор, которого, помимо прочих лестных титулов, называют «первым музыкотерапевтом», создал целую методику такой терапии и успешно применял её. А в парфянском царстве (III в. до н. э.) был выстроен специальный музыкально-медицинский центр, где с помощью специально подобранных мелодий лечили от тоски, нервных расстройств и сердечных болей. В Библии было сказано, что пение и игра пастухов положительно влияют на рост стада. В эпopeях Гомера истекание крови из ран останавливалось благодаря мелодичным песням. Пифагор сочинял музыку, основанную на определенных мелодиях и ритмах, которые не просто лечили, но «очищали» человеческие действия и страсти, восстанавливая гармонию души.

В Древнем Китае считали, что музыка избавляет от всех недугов, которые неподвластны врачам. История сохранила для нас сведения о том, что в Древнем Египте работали клиники, в которых физические и психические расстройства исцеляли при помощи прослушивания музыки и игры на различных музыкальных инструментах. Наиболее глубокое воздействие музыка оказывает на тех, кто подготовлен к ее восприятию. Активное внимательное прослушивание гармоничных музыкальных произведений позволяет эффективно возвысить сознание, ощутить вдохновение и, вместе с тем, существенно способствует нашему здоровью [13].

С давних времен определенные ритмы и созвучия использовали как анестезирующее средство. В настоящее время этим методом обезболивания пользуются в некоторых стоматологических клиниках США. Музыка используют во врачебной практике голландские акушеры, в некоторых родильных домах Одессы.

Красивая музыка стимулирует интеллектуальную деятельность, дарит вдохновением. Многие писатели и поэты сочиняли свои произведения во

время или после прослушивания музыки. Например, так действует музыка Бетховена – композитора, который, пережив периоды стресса, боли, отчаяния, нашел в глубине своей души не только вдохновение, но и силу, и веру.

Религиозная музыка дарит чувство покоя, она анальгетик в мире звуков, помогает справляться с болью, поднимает нас над уровнем повседневности в высшие сферы. Музыка Баха вызывает в воображении строгие, возвышающие наше настроение, символы, зовет к гармонии. Так же воздействует и музыка Генделя. Церковное пение как музыка человеческого голоса, трансформирующая молитвенные устремления в мелодии – многогранно и символично. Каноны этой музыки являются фильтром, который очищает сознание человека от тумана страстей. Для того чтобы понимать ее, требуется предварительная подготовка. Она может показаться несколько сухой и однообразной для человека, ищущего в музыке пустого развлечения или примитивных ритмов [1].

Механизм воздействия музыки в конце XIX века исследовал И.Р. Тарханов, ученик выдающегося русского физиолога И.М. Сеченова. В 1893 г. он опубликовал в Петербурге статью «О влиянии музыки на человеческий организм», в которой обратил внимание на то, что только гармоничная благозвучная музыка положительно влияет на функционирование сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной систем. Он подчеркивал, что красивая музыка способствует увеличению работоспособности и снятию напряжения. Оказалось также, что на человека с одинаковой силой воздействует как непосредственно звучащая музыка, так и музыка звучащая внутри, мысленно или как принято говорить «пение про себя».

В начале XX века В.М. Бехтерев писал о том, что колыбельные песни способствуют профилактике неврозов у детей. В настоящее время специалистами Французской национальной ассоциации пренатального воспитания установлено, что человек очень рано начинает реагировать на музыку еще на пятом месяце внутриутробного развития. Классическая музыка, по данным Мари-Луизы Аучер и соавторов приводит к динаминизации центральной

нервной системы не только матери, но и ребенка. Дети, которые регулярно слушали красивую гармоничную музыку до рождения, отличались от сверстников высокими адаптивными свойствами.

Ритм, как основа музыкального произведения, оказывает огромное влияние на человека. В 1916 году В.М. Бехтерев установил, что даже простое отбивание ритма влияет на частоту пульсаций крови. Он подчеркивал, что каждый человек имеет свой неповторимый индивидуальный ритм, который меняется в зависимости от психического состояния. Этот факт можно назвать одной из причин возникновения столь разных музыкальных пристрастий. В связи с этим можно отметить и обратный процесс: влияние музыки на состояние психики и на функционирование организма в целом [2].

Исследования немецкого врача Франка Морелля (70-е гг. нашего века), продолженные группой российского учёного Ю. Готовского, подтвердили возможность использования звуковых колебаний в лечебных целях. Московский центр восстановительного лечения детей с бронхолёгочной патологией под руководством М. Лазарева уже в течение нескольких лет успешно применяет музыку для благотворного воздействия на внутриутробное развитие ребёнка.

С 1993 года музыкотерапия стала одним из самых популярных способов лечения в США. Американский доктор Гордон Шоу объясняет влияние музыки на здоровье воздействием вибрации звуков. Звуки создают энергетические поля, заставляющие резонировать наш организм. Мы поглощаем музыкальную энергию, и она нормализует ритм нашего дыхания, пульс, давление, температуру, снимает мышечное напряжение. Поэтому правильно подобранная мелодия оказывает благоприятное воздействие на больных людей и ускоряет выздоровление. Американские биологи Л.Дж. Милк и М. Милк опытным путем доказали, что новорожденные быстро успокаиваются при прослушивании записи биения сердца отдыхающей женщины, если же спящим детям включали запись биения сердца обеспокоенной женщины, они немедленно просыпались.

Психотерапевт И.Е. Вольперт доказал на практике, что вокалотерапия, например, исполнение народных песен, оказывает мягкое терапевтическое воздействие на психику человека и весь организм в целом. Он рекомендует вокалотерапию всем, а особенно «...фобикам, ананкастам, депрессивным, заторможенным, эгоцентрическим пациентам, лицам, страдающим функциональными расстройствами органов, бронхиальной астмой, головными болями».

Музыка, содержащая в себе низкочастотные ритмические колебания, крайне отрицательно воздействует на психику и здоровье человека. Британские учёные продемонстрировали, что инфразвук может оказывать очень странное и, как правило, негативное влияние на психику людей. Люди, подвергшиеся воздействию инфразвука, испытывают примерно те же ощущения, что и при посещении мест, где происходили встречи с призраками. Сотрудник Национальной лаборатории физики в Англии, доктор Ричард Лорд, и профессор психологии Ричард Уайзман из провели эксперимент над аудиторией из 750 человек. С помощью семиметровой трубы им удалось примешать к звучанию обычных акустических инструментов на концерте классической музыки сверхнизкие частоты. После концерта слушателей попросили описать их впечатления. Испытуемые сообщали, что почувствовали внезапный упадок настроения, печаль, у некоторых по коже побежали мурашки, у кого-то возникло тяжёлое чувство страха. Самовнушением это можно было бы объяснить лишь отчасти. Из четырёх сыгранных на концерте произведений инфразвук присутствовал только в двух, при этом слушателям не сообщали, в каких именно. Инфразвук довольно часто возникает вследствие естественных причин, его источником могут быть бури и ураганы, а также некоторые типы землетрясений. Некоторые животные, например слоны, используют его с коммуникационными целями, а также для отпугивания врагов [13].

Музыка, которую можно назвать вредной, отличается частым диссонансом, отсутствием формы, нерегулярностью ритмов или же примитивным грубым ритмом, усиливающим в человеке животные инстинкты. К такой му-

зыка относятся поп-музыка и рок-музыка, которые воздействуют ультра- и инфразвуками и которые мы не слышим, но их воспринимают наши органы, и это может воздействовать на мозг по принципу «25-го кадра». Экспериментально установлено, что если бой барабанов типа «там-тама» превышает 100 децибелов, некоторые слушатели падают в обморок. Рок-н-ролл и родственные ему музыкальные формы имеют около 120 ударов в минуту, то есть около 2 Гц. Впрочем, в последнее время всё большее распространение получают музыкальные направления, где частота ударов в минуту достигает 240, то есть приближается к 4 Гц. Образно говоря, она — прямой удар непосредственно по мозгу (недаром такую музыку слушают именно с целью «сноса крыши»), по желудочно-кишечному тракту. Профессиональным заболеванием немалого процента среди эстрадных музыкантов является язва желудка, возможно, связанная с обсуждаемыми параметрами музыки. Также эта частота затрагивает сердечно-сосудистую, иммунную и нервную системы.

Популярность рок-музыки стала источником серьезных проблем. В США под руководством Боба Ларсена были проведены медицинские исследования, которые позволили определить особенности воздействия тяжелого рока на организм человека и его психику. Было установлено, что низкочастотные колебания оказывают воздействие на спинномозговую жидкость, состояние которой влияет на слизистые железы и гормональную сферу. В период прослушивания тяжелого рока нарушается равновесие половых и надпочечных гормонов, увеличивается содержание инсулина в крови, что приводит в свою очередь к нарушению процессов возбуждения и торможения в коре головного мозга. Известно, что нередко поклонники такой музыки отличаются неадекватным поведением, как на концертах, так и после них. Дисгармоничная музыка оказывает деструктивное влияние на психику человека и на весь организм в целом. Некоторые образцы рок-музыки способны подтолкнуть психику человека к отрицательной динамике, к саморазрушению. До сих пор не выяснены истинные мотивы самоубийства солиста группы

«Лесоповал», гитариста группы «Черный кофе», сотрудника группы «Технология», гитариста рок-группы «Алиса» [2].

### **1.1.2. Психофизиологические аспекты влияния музыки различных стилей и направлений**

Самое всестороннее влияние на человека оказывает классическая музыка. Именно влиянию классической музыки на человека посвящено наибольшее количество исследований. Больше всего разговоров ведется вокруг творений таких признанных гениев как Вивальди, Моцарт, Бетховен, Чайковский, Шуберт, Григ, Дебюсси и Шуман. Принято считать, что музыка Моцарта способствует быстрому усваиванию информации и влияет на умственную работоспособность. Снять мигрень помогут «Венгерская рапсодия» Листа, Полонез Огинского и «Фиделио» Бетховена. Лучшим средством от бессонницы считаются пьесы Сибелиуса и Грига, ну и, конечно, Чайковского. Отмечены эффекты улучшения процессов памяти при периодическом прослушивании произведений Вивальди, входящих в цикл «Времена года» [2].

В отличие от классической музыки медики не рекомендуют долго слушать группы, играющие в стиле рэп, хард-рок и хеви-метал. Об этом говорят исследования, проведенные мельбурнскими учеными. Хард-рок часто является причиной несознательной агрессии, рэп также пробуждает отрицательные эмоции, а хеви-метал и вовсе может стать причиной психических расстройств.

Что касается других жанров: блюз, джаз и регги могут вывести вас из депрессивного состояния; музыка в стили поп кому-то может поднять настроение, а кому-то испортить; мышечное и нервное напряжение снимет мелодичный рок, а тяжелый рок, наоборот, введет в ступор.



Культурная и национальная принадлежность человека тоже является фактором восприятия той или иной мелодии. Скажем, для европейца звучание восточных мотивов не всегда приятно, а длительное воздействие подобной музыки является не просто раздражителем, а может привести к серьезным психическим расстройствам. Это же касается и азиатов, влияние западной музыки на психику человека с востока вряд ли окажется полезным. Поэтому-то ученые и рекомендуют людям слушать композиции своих народностей. Народная музыка оказывает положительное влияние на человека — она отлично успокаивает, как бы возвращая людей к их историческим корням. Этническая музыка очищает пространство от негативного воздействия и открывает энергетические центры, насыщает биополе человека энергией и нормализует жизненные потоки [18, 20].

Некоторые специалисты убеждены, что не только жанр, ритм и тональность произведения имеют значение, а и то, на каком именно музыкальном инструменте было сыграна мелодия. Звучание отдельно взятого музыкального инструмента влияет на определённый орган человеческого организма. Так, например струнные инструменты (скрипка, гитара, арфа и виолончель) — оказывают оздоровительный эффект на работу сердечнососудистой системы. Помимо этого, звучание струнных вызывает у человека чувство благодарности, сострадания и жертвенность.

Игра на пианино и рояле гармонизирует психику, очищает щитовидную железу, приводит в норму работу мочеполовой системы. Звуки органа стимулируют мозговую активность. Духовые инструменты очищают бронхи и улучшают работу дыхательной системы, а также положительно влияют на кровообращение. В свою очередь ударные инструменты лечат печень и кровеносную систему [2].

## 1.2. Кровоток в системе микроциркуляции кожи человека

Механизмы регуляции кровотока в микроциркуляторном русле кожи постоянно являются предметом пристального внимания исследователей, поскольку их нарушения считают важным звеном патогенеза значительного числа заболеваний. Для оценки системных изменений микроциркуляции обычно исследуют реактивность сосудов кожи.

Нормальная настройка системы микроциркуляции, определяющая оптимальный кровоток в капиллярах, а, следовательно, и нормальный транскпиллярный обмен между кровью и тканями, обеспечивается двумя системами регуляции – локальной (местной) и нервно-гуморальной, а также их взаимодействием. Немаловажную роль здесь играет и собственная ауторегуляция микроциркуляторной системы, проявляющаяся в спонтанной активности гладкомышечных клеток, на ритм которой как бы накладывается ритм внешних регуляторных влияний [3].

### 1.2.1. Лазерная доплеровская флоуметрия как метод исследования микроциркуляции

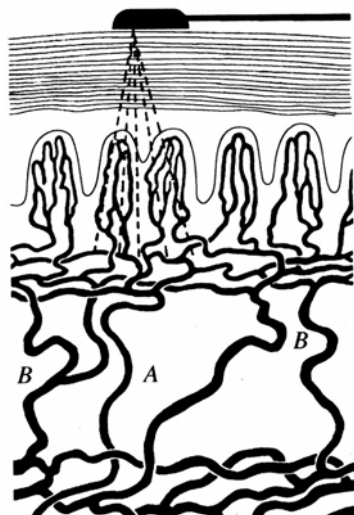
Метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) получил широкое развитие благодаря циклу работ, выполненных в период 1977—1985 гг. несколькими исследовательскими коллективами. Первый коммерческий прибор, реализующий принципы метода ЛДФ, был создан шведской группой исследователей: G.E. Nilsson, T. Tenland, P.A. Oberg .

Название метода «Лазерная доплеровская флоуметрия» отражает содержание этого способа диагностики. Для диагностики применяется зондирование ткани лазерным излучением; обработка отраженного от ткани излучения основана на выделении из зарегистрированного сигнала доплеровского сдвига частоты отраженного сигнала, пропорционального скорости дви-



жения эритроцитов; в ходе проводимых исследований обеспечивается регистрация изменения потока крови в микроциркуляторном русле – флоуметрия [5].

ЛДФ основана на измерении доплеровской компоненты в спектре отраженного лазерного сигнала, рассеянного на движущихся в тканях частицах-мишенях, роль которых в данном случае играют эритроциты. Показатель, регистрируемый прибором и называемый показателем микроциркуляции (ПМ), пропорционален скорости и числу красных кровяных клеток в измеряемом объеме. Таким образом, этот метод дает возможность проводить измерения величины перфузии тканей кровью, т.е. потока эритроцитов в единицу времени через единицу объема ткани (рис. 1).



*Рис. 1. Архитектоника сосудов микроциркуляторного русла кожи человека при полярной ориентации капилляров. А – артериола, В – венула*

В современных ЛДФ аппаратах оптически зондируемый объем ткани не превышает  $1 \text{ мм}^3$ . Как показывают расчеты, в коже в области пальцев кисти в этом объеме ткани одновременно присутствует порядка  $3,5 \times 10^4$  эритроцитов, движущихся по 200 микрососудам: примерно 20 артериол, 110 капилляров, 40 посткапиллярных венул и 30 венул (табл.1).

Специфика работы лазерного анализатора кровотока заключается в том, что в пределах «видимости» прибора одновременно находится большое

количество движущихся клеток крови, а среда, в которой распространяется зондирующий сигнал, имеет значительное поглощение [10].

Обычно в качестве зондирующего сигнала используется излучение гелий-неонового лазера, работающего на длине волны 0.63 мкм. Подведение излучения к исследуемому участку осуществляется с помощью световодов, открытые концы которых служат приемной и передающей антенной. В этих условиях принимаемый сигнал (в нашем случае от кожи) формируется в результате рассеяния лазерного излучения на ансамбле из 35000 эритроцитов, движущихся по 200 микрососудам, заключенным в объеме 1 мм<sup>3</sup> (табл. 1). В гемодинамическом отношении этот объем представляет собой некую коллективную совокупность путей кровотока, характеризующуюся определенной пространственной организацией. Таким образом, оцениваются коллективные процессы, синхронно происходящие в весьма малом объеме ткани.

*Таблица 1.*

Распределение эритроцитов в сосудах микроциркуляторного русла кожи пальца кисти человека и его влияния на формирование ЛДФ-сигнала

Параметры	Артериолы	Капилляры	Венулы	
			посткапиллярные	собирательные
Число микрососудов в 1 мм <sup>3</sup>	20	110	40	30
Количество эритроцитов	$0.3 \times 10^4$	$0.5 \times 10^4$	$0.9 \times 10^4$	$1.3 \times 10^4$
Линейная скорость эритроцитов (мм/сек)	3.8	0.6–0.8	0.8	2.3
Вклад в ЛДФ-сигнал (%)	15	20	15	50

Как указано выше, ПМ – интегральная характеристика, являющаяся функцией от концентрации эритроцитов в измеряемом объеме ткани и их усредненной скорости. ПМ измеряется в вольтах или относительных, перфузионных единицах (пф.ед.). Детальное рассмотрение ПМ показывает, что входящий в его состав показатель объемной концентрации эритроцитов в ткани

определяется двумя факторами: капиллярным гематокритом и количеством функционирующих капилляров. Вклад отдельных компонент в общий ПМ в настоящее время является предметом специальных исследований. Очевидно, что они чрезвычайно изменчивы в зависимости от общего состояния кровотока в организме, локальной перфузии тканей кровью и реологических условий капиллярной гемодинамики [5].

Число функционирующих капилляров определяет геометрию потока, которая, в свою очередь, зависит от общей гемодинамики и локальных органных особенностей кровотока, работы прекапиллярных сфинктеров и артерио-венозных анастомозов, величины венозного сопротивления, а также явлений стаза в капиллярном русле. Гематокрит в большей степени определяется реологическими параметрами крови: собственно концентрацией эритроцитов в различных звеньях микроциркуляторного русла, напряжением сдвига в потоке, деформируемостью эритроцитов, появлением в капиллярах ригидных белых клеток крови. Очевидно, что равенство величин ПМ может наблюдаться при принципиально различных состояниях: в случае высокого капиллярного гематокрита и низкой скорости эритроцитов, что имеет место при застойных явлениях, а также в случае высокой скорости эритроцитов и низкого гематокрита. Это обстоятельство может существенно затруднять интерпретацию результатов. Следует принять во внимание структурные факторы организации капиллярного кровотока в тканях, а также разные типы капиллярного кровотока, выявленные с помощью биомикроскопии. Кровоток в соседних капиллярах, даже в пределах одной структурно-функциональной единицы, отличается крайней неоднородностью. Показатель капиллярного гематокрита также колеблется в широких пределах.

При проведении измерения в коже с полярной ориентацией капилляров в зону видимости радара попадают не только капилляры, но и другие сосуды микроциркуляторного русла (рис. 2), вносящие вклад в величину ПМ. Для данного типа архитектоники сосудов истинные капилляры определяют лишь около 6% величины сигнала микроциркуляции. В значительной степени сиг-

нал определяется более крупными сосудами и, прежде всего, венами. В органах с другой сосудистой архитектурой распределение вклада различных структурных звеньев микроциркуляторного русла значительно меняется. В этой связи, в работах по ЛДФ ведущими специалистами основной акцент делается не на капиллярном кровотоке, а на перфузии тканей кровью, которая в большей степени соответствует состоянию микроциркуляции [10].

ПМ характеризуется очень высокой вариабельностью: в соседних участках одного органа он может варьировать в пределах до  $\pm 15\%$ , что обусловлено локальными особенностями геометрии потока и капиллярного гематокрита, а также пространственной протяженностью структурно-функциональных единиц микроциркуляторного русла. Как указывалось выше, измерение производится в весьма малом объеме ткани, что недостаточно для преодоления локальной гетерогенности местного тканевого кровотока. Однако высокая лабильность объемной характеристики кровотока рассматривается не как недостаток метода, а как важнейшая основа высокой адаптивной способности микрогемодинамики.

Временная изменчивость ПМ, как показывают многочисленные исследования, несет гораздо большую информацию о состоянии системы микроциркуляции, нежели его характеристика в объемных единицах [5].

### 1.2.2. Колебания в системе микроциркуляции

ЛДФ не позволяет непосредственно регистрировать волны давления в микрососудах. Для исследования этим методом доступны волны скорости, волны концентрации и различные ритмические процессы, связанные с изменением эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) эритроцитов. Очевидно, что первопричиной всех этих колебаний являются волны давления. Градиент давления создается в кровеносной системе и поддерживается тонусом сосудов. Скорость поступательного движения эритроцитов является одним из

важнейших факторов, управляющих транскапиллярным обменом, в процессе которого происходит изменение ЭПР и эластичности эритроцита, а также модуляция упругости стенки капилляра. Последние параметры связаны с характеристиками ритмических процессов гемодинамики в системе микроциркуляции [4].

Прямые методы измерения давления в капиллярах показали, что в них наблюдаются волны давления, обусловленные сердечной деятельностью, а также нерегулярные возмущения с частотой 3-4 колебания в минуту и еще более медленные колебания. Ультрамедленные колебания выражаются в увеличении давления на 5-8 минут и дальнейшем возвращении к исходному состоянию. Эти волновые процессы имеют место и в лазерной доплерограмме, т.е. характерны для коллективных процессов в капиллярной гемодинамике.

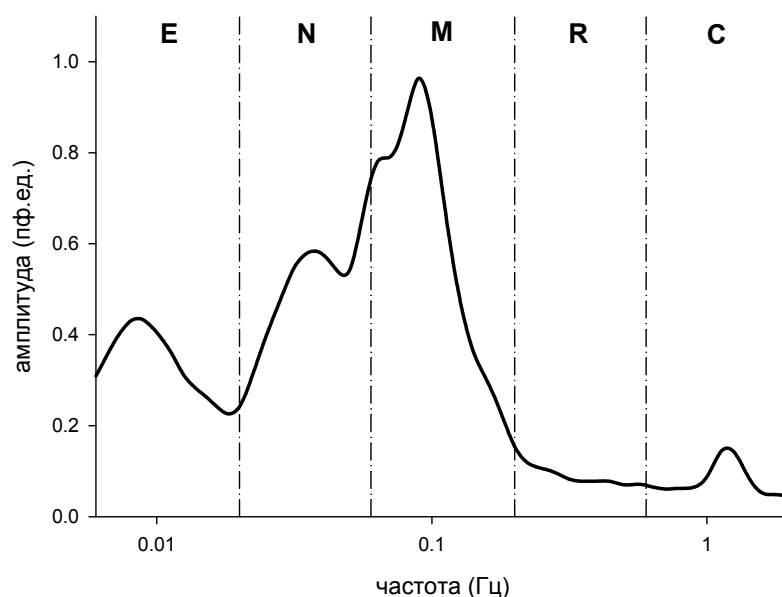
В системе кровообращения микрососуды являются связующим звеном между артериальным и венозным отделами. Поэтому в капиллярах можно ожидать наличия как артериальных, так и венозных ритмов флуктуаций потока эритроцитов. Кроме того, в капиллярах идут обменные процессы, характеризующиеся собственными ритмами флуксуаций.

В настоящее время для задач диагностики ритмы кровотока в системе микроциркуляции разделяют на ритмы пассивной модуляции и ритмы активной модуляции кровотока. К пассивной модуляции относят сердечный и дыхательный ритмы, к активной модуляции - ритмы миогенного и нейрогенного происхождения, а также другие более медленные ритмы [7].

Ниже описаны выделяемые с помощью вейвлет-анализа ритмические компоненты 10-минутной ЛДФ-граммы в соответствии с современной трактовкой их генезиса (рис. 2)

**Частотный интервал 0.4 - 1.6 Гц (С).** Периодические осцилляции с частотой около 1 Гц в коже синхронизированы с сердечным ритмом и представляют собой колебания, отражающие изменения диаметра артериальных сосудов, индуцированные пульсацией потока, обусловленной сердечным циклом. Эти колебания также коррелируют с волнами давления первого по-

рядка. Физиологическое происхождение этого частотного пика показано путем синхронной регистрации ЭКГ и параметров функционирования микроциркуляторного русла.



*Рис. 2. Пример амплитудно-частотного спектра ЛДФ-граммы, полученного на основе вейвлет-преобразования. Указаны анализируемые частотные диапазоны.*

**Частотный диапазон 0.16 - 0.4 Гц (R).** Периодические колебания с частотой около 0.3 Гц синхронизированы с дыханием. Активность респираторной функции слабо представлена в ЛДФ-сигнале. Респираторно-зависимые колебания коррелируют с волнами кровяного давления второго порядка в артериальных ветвях циркуляторной системы кожи. Эти ритмические колебания волн давления могут быть объяснены связью между дыхательной и сосудистой системами, опосредованной автономной нервной системой. Происхождение этого пика становится очевидным при синхронной регистрации движений грудной клетки и вызванных респираторной активностью процессов в микроциркуляторном русле.

**Частотный интервал 0.06 - 0.16 Гц (M).** Предполагается, что источником колебаний с частотой около 0.1 Гц, называемых также  $\alpha$ -волнами, является спонтанная активность гладкомышечных клеток в резистивных сосудах.

дах и прекапиллярных сфинктерах, называемая также вазомоциями, связанная с регуляцией кровяного давления. Миогенный контроль, как возможный механизм колебательных изменений диаметра артериол, был подтвержден, и исследователи пришли к выводу, что вазомоции в терминалах артериол – выражение пейсмекерных механизмов в гладкомышечных клетках.

**Частотный интервал 0.02 - 0.06 Гц (N).** Периодические колебания с пиком амплитуды около 0.04 Гц называют  $\beta$ -волнами. Предполагают, что эти колебания имеют отношения к вазомоциям артериол. Эти осцилляции, выявляемые ЛДФ, находятся под нейрогенным контролем, поскольку этот пик полностью исчезает после денервации, а также после местной анестезии и ганглиоблокады, после симпатэктомии. Нейрогенная активность налагается на миогенную в регуляции кровяного давления посредством изменения диаметра сосуда.

**Частотный интервал 0.0095 - 0.02 Гц (E).** Возможные физиологические процессы, обуславливающие колебания кровотока в данном частотном диапазоне, в настоящее время обсуждаются. Пик амплитуды в этом диапазоне прежде наблюдали в сигналах кровотока и вариации ЧСС с использованием Фурье-анализа. Основной причиной того, что этот пик не всегда обнаруживается, является то, что анализируются короткие сигналы (до нескольких минут) и применяется Фурье-преобразование или авторегрессионные методы, не дающие хорошего разрешения в низкочастотной области. Экспериментальные данные, полученные на изолированных кровеносных сосудах, показали, что период колебаний кровотока в мышцах составляет 1 минуту, а в коже и печени - 0.5 минут. Вазомоции с частотой около 0.01 Гц в этом исследовании соответствуют минутным ритмам, которые отражают метаболические процессы в перфузируемой крови. На источнике этих ритмов была основана демонстрация минутных ритмических осцилляции в изолированных метаболических системах, которое ведет к представлению, что осцилляции в клеточном катаболизме влияют на основные процессы этих ритмов в гладкомышечных клетках. В настоящее время пик в этом диапазоне связы-



вают с воздействием вазоактивных веществ, метаболизме влияют на основные процессы этих ритмов в гладкомышечных клетках. В настоящее время пик в этом диапазоне связывают с воздействием вазоактивных веществ, синтезируемых эндотелиальными клетками (эндотелины, оксид азота (II) и т.д.) на миоциты микрососудов [9].

Любое копирование и  
тиражирование запрещено



## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Материалы и методы

Исследование влияния модулированного шума проведено на группе из 27 нормотензивных, некурящих, нормального телосложения студентов обоего пола 18-25-летнего возраста (21 девушка и 6 юношей). В исследовании влияния музыки приняли участие 20 студенток-девушек 18-23-лет. Все испытуемые не имели выявленных патологий кожи, сердечно-сосудистой и дыхательной систем и давали добровольное согласие на участие в эксперименте на основе полной информированности о методе и ходе проведения процедуры.

Исследование проводили в тихом помещении при температуре 20-24 °С после предварительной адаптации к условиям помещения. Во время проведения эксперимента испытуемые находились в положении сидя. В ходе эксперимента осуществляли синхронную регистрацию сердечного ритма и уровня перфузии микроциркуляторного кровотока кожи.

Вариабельность ритма сердца (ВРС) регистрировали на основе электрокардиографии (ЭКГ) во II стандартном отведении (полиграф Валента, ООО «Компания Нео», Россия). Частота дискретизации ЭКГ – 300 Гц. Регистрацию параметров микроциркуляторного кровотока осуществляли методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) в коже руки с помощью двухканального флоуметра ЛАКК-02 (ЛАЗМА, Россия) с идентичными каналами (длина волны 0.63 мкм, мощность излучения 0.5 мВт). Зонды флоуметра располагали на ладонной поверхности ногтевой фаланги II пальца и на наружной поверхности предплечья вблизи лучезапястного сустава левой руки. Указанные области кожи были нами выбраны как зоны с различной выраженностью иннервации симпатическими волокнами вегетативной нервной системы [7,10]. Регистрируемый параметр – показатель микроциркуляции (ПМ) – характеризует степень перфузии ткани кровью и измеряется в условных (перфузионных) единицах (п.е.). Частота дискретизации ЛДФ-граммы

составляла 16 Гц.

В качестве стимуляции использовали акустический амплитудно-модулированный и немодулированный стационарный «белый» шум. Прослушивание шума испытуемыми осуществлялось через наушники закрытого типа. Максимальная пиковая интенсивность шума составляла порядка 20 дБ. Для амплитудной модуляции шума использовали синусоидальные колебания с частотами 0.04 и 0.1 Гц. Глубина модуляции порядка 90%. Условием экспериментов с модулированным шумом являлся произвольный контроль ритма модуляции испытуемыми посредством фиксации моментов наибольшей интенсивности шума (по субъективным ощущениям) нажатием кнопки компьютерной мыши правой рукой.

В исследовании влияния музыки различных стилей были использованы фрагменты следующих музыкальных произведений: классическая музыка – «Аве Мария» (И.С. Бах), стиль дабстеп – композиция «Future Proof» (Calve-tron), стиль хард-рок – композиция «Nemesis» (Arch Enemy). Также был использован фрагмент композиции на основе звуков природы «Бормотание ручейка».

**Протокол эксперимента с влиянием модулированного шума.** Для каждого участника синхронно регистрировали ВСР и кровотоки кожи на протяжении 4 последовательных 5-ти минутных интервалов: 1 – при естественном звуковом окружении, 2 – в условиях воздействия немодулированного шума, 3 – в условиях воздействия модулированного шума с частотой 0.04 Гц, 4 – в условиях воздействия модулированного шума с частотой 0.1 Гц. Между записями испытуемым предоставляли 2-3 минутные паузы. Указанные частоты амплитудной модуляции шума были выбраны нами, как соответствующие частотам известных физиологических ритмов сердечно-сосудистой системы. Колебания с частотой порядка 0.1 Гц, хорошо выраженные в сигналах вариабельности сердечного ритма, кровяного давления, динамики периферического кровотока, обусловлены барорефлекторными механизмами регуляции кровотока [6, 12] и спонтанной сократительной активностью гладкомышеч-

ных клеток стенок сосудов. Колебания с частотой порядка 0.04 Гц соответствуют колебаниям микроциркуляторного кровотока, имеющим нейрогенную природу [7, 22].

**Протокол эксперимента с влиянием музыки различных стилей.** Эксперименты проведены двумя сериями на двух группах испытуемых по 10 человек в каждой. Прослушивание музыкальных композиций и шума испытуемыми осуществлялось через наушники закрытого типа. Громкость звука испытуемые регулировали самостоятельно. В первой серии экспериментов для каждого участника регистрировали ВСР и кровотоки кожи на протяжении 4 последовательных 5-ти минутных интервалов: 1 – при прослушивании «тишины» – естественном звуковом окружении помещения лаборатории, 2 – при прослушивании белого шума, 3 – при прослушивании классической музыки, 4 – при прослушивании музыки в стиле дабстеп. Во второй серии экспериментов для каждого участника регистрировали ВСР и кровотоки кожи на протяжении 3 последовательных 5-ти минутных интервалов: 1 – при прослушивании белого шума, 2 – при прослушивании звуков природы, 3 – при прослушивании музыки в стиле хард-рок.

Анализ физиологических сигналов выполняли на основе амплитудно-частотных спектров, полученных посредством непрерывного адаптивного вейвлет-преобразования [25, 9]. Для ВСР также была использована стандартная методика спектрального анализа на основе Фурье-преобразования [14] реализованная в программе Kubios HRV v.2.0 (BSAMIG, University of Kuopio, Finland). Рассчитывали относительные (в %) значения мощности спектральных компонентов VLF (сверхнизкочастотные колебания – 0.015-0.04 Гц), LF (низкочастотные колебания – 0.04-0.15 Гц), HF (высокочастотные колебания – 0.15-0.4 Гц) и отношение спектральной мощности диапазонов низкочастотных и высокочастотных колебаний (LF/HF).

Статистический анализ результатов исследования выполняли в программе SigmaPlot 11.0 (Systat Software, Inc., 2008). В связи с тем, что распределение значений некоторых выборок данных не являлось нормальным (кри-

терий Шапиро-Уилка), для анализа достоверности различий использовали непараметрический однофакторный дисперсионный анализ для повторных измерений (критерий Фридмана), с последующим множественным попарным сравнением по критерию Тьюки. Статистически значимыми считались различия при  $p < 0.05$ .

Любое копирование и  
тиражирование запрещено

## 2.2. Результаты и их обсуждение

### 2.2.1. Влияние модулированного акустического белого шума на вариабельность ритма сердца и колебания кровотока кожи человека

Дифференцированный анализ различий обусловленных полом испытуемых, в наших условиях не выявил достоверных различий по исследуемым параметрам. В этой связи, далее представлены результаты, полученные на объединенной группе испытуемых.

Результаты воздействия акустической стимуляции на параметры ВСР и кровотока кожи пальца и предплечья представлены в табл. 2. В наших условиях акустическая стимуляция не оказывала достоверного влияния на усредненную величину ЧСС и частоту дыхания ни в одном из используемых режимов. Также, нам не удалось выявить достоверных различий для распределения относительной спектральной мощности в частотных диапазонах VLF, LF, HF спектра ВСР и для показателя LF/HF (табл. 2). Можно отметить, что средние значения указанных параметров проявляют тенденцию к увеличению относительной спектральной мощности в диапазонах VLF и LF при одновременном снижении мощности колебаний диапазона HF при воздействии шума. Однако из-за высокой индивидуальной вариабельности параметров, указанные изменения не достоверны. Достоверного изменения уровня базального кровотока кожи в условиях акустической стимуляции не выявлено (табл. 2).

Воздействие немодулированного шума в условиях наших экспериментов не оказывало значимых влияний на спектральные характеристики сигналов ВСР, ПГ и кожного кровотока (табл. 2). В этой связи, далее, для сравнительного анализа эффектов модулированного шума, представлены спектры сигналов, полученные в условиях немодулированного шума (рис. 3, 4).

При воздействии шума с частотой модуляции 0.04 Гц (рис. 3А), выявить значимых изменений спектральных характеристик ВСР не удалось.

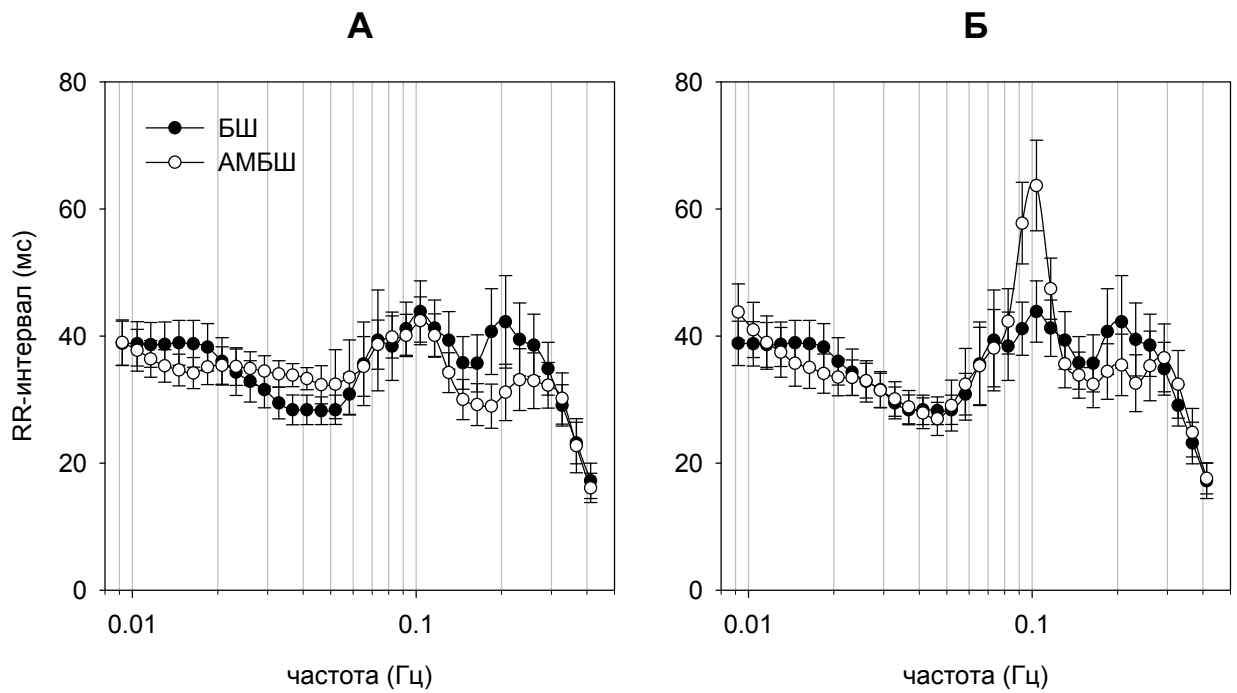
Однако, в условиях влияния шума с частотой модуляции 0.1 Гц (рис. 4Б) наблюдалось значительное (в 1.5 раза) увеличение амплитуды колебаний сердечного ритма на частоте модуляции (табл. 2).

Таблица 2

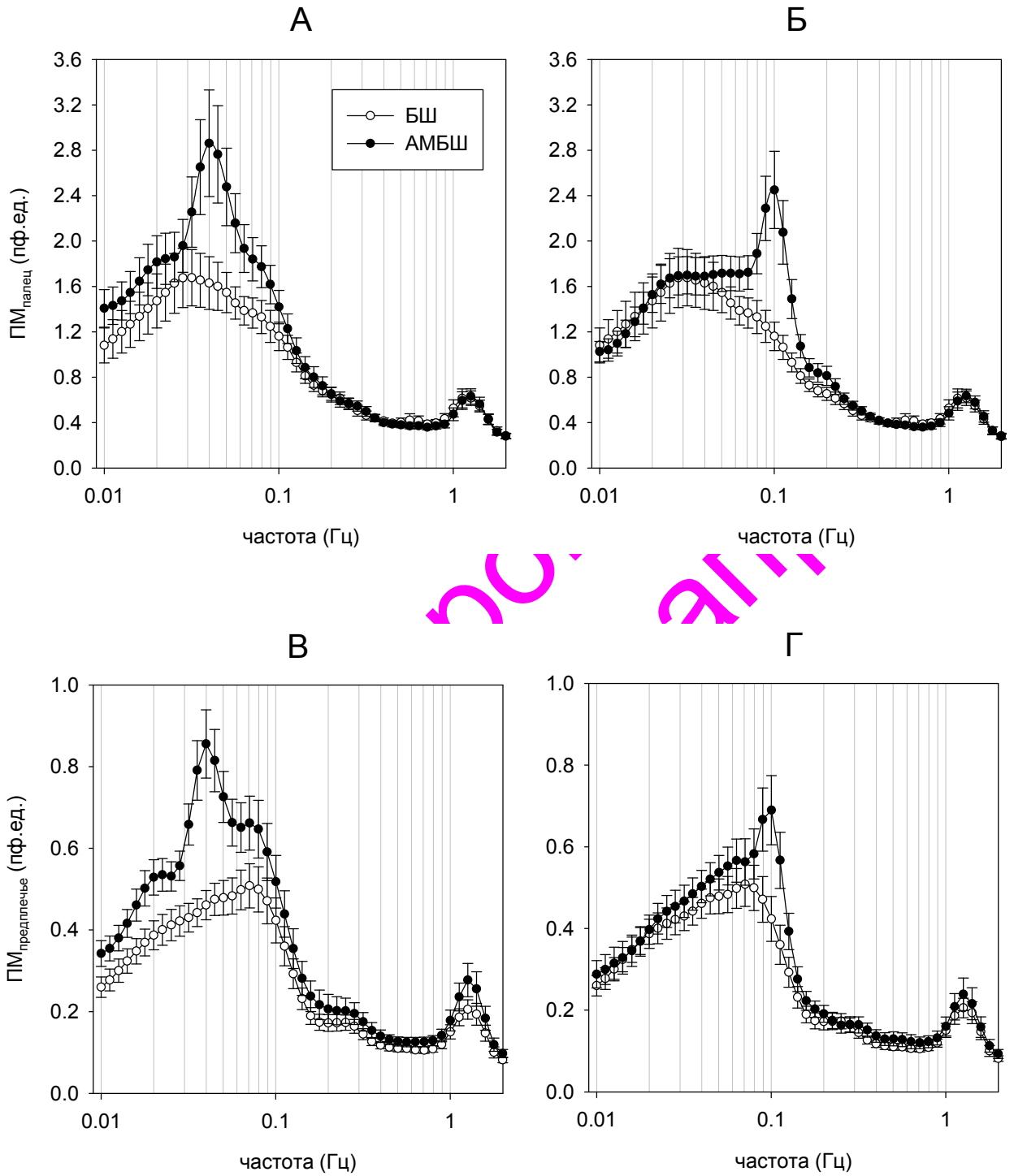
Показатели variability сердечного ритма, частоты дыхания и кровотока кожи в нативных условиях и при воздействии звуковой стимуляции ( $M \pm m$ ,  $n = 27$ )

Параметры	исходно	БШ	АМБШ 0.04 Гц	АМБШ 0.1 Гц
ЧСС, уд/мин	79.85±1.94	79.31±1.82	80.22±1.93	80.44±1.80
VLF, %	21.38±2.77	28.07±3.04	28.77±2.58	25.55±3.29
LF, %	33.75±3.44	35.54±2.81	38.28±2.74	40.60±3.15
HF, %	44.86±4.42	36.39±3.94	32.95±3.08	33.85±3.53
LF/HF	1.29±0.25	1.74±0.40	1.70±0.31	1.75±0.27
BCP(0.04 Гц), мс	0.030±0.002	0.028±0.002	0.034±0.002	–
BCP(0.1 Гц), мс	0.044±0.006	0.044±0.005	–	0.064±0.008
ЧДД, Гц	0.24±0.02	0.26±0.02	0.25±0.02	0.25±0.02
ПМ <sub>палец</sub> , пф.ед.	18.66±1.47	19.92±1.41	18.08±1.29	18.83±1.15
АПМ <sub>палец</sub> (0.04 Гц), пф.ед.	1.66±0.23	1.63±0.24	2.86±0.47	–
АПМ <sub>палец</sub> (0.1 Гц), пф.ед.	1.29±0.16	1.16±0.13	–	2.45±0.34
ПМ <sub>предплечье</sub> , пф.ед.	3.11±0.26	3.29±0.27	3.37±0.30	3.83±0.38
АПМ <sub>предплечье</sub> (0.04 Гц), пф.ед.	0.38±0.05	0.46±0.03	0.86±0.08	–
АПМ <sub>предплечье</sub> (0.1 Гц), пф.ед.	0.36±0.05	0.42±0.04	–	0.69±0.08

Примечание: БШ – белый шум, АМБШ – амплитудно-модулированный белый шум, ЧДД – частота дыхательных движений, ПМ – показатель микроциркуляции, АПМ – амплитуда колебаний ПМ на указанной частоте. Затенены достоверные различия по сравнению с нативным состоянием и воздействием немодулированного шума ( $p < 0.05$ ).



*Рис. 3. Усредненные амплитудно-частотные спектры ВСР ( $M \pm m$ ,  $n = 27$ ) в условиях воздействия немодулированного и модулированного белого шума с частотой 0.04 Гц (А) и 0.1 Гц (Б). Шкала частоты представлена в логарифмическом масштабе.*



**Рис. 4.** Усредненные амплитудно-частотные спектры ЛДФ-грамм кожи пальца и предплечья ( $M \pm m$ ,  $n = 27$ ) в условиях воздействия немодулированного и модулированного белого шума с частотой 0.04 Гц (А, В) и 0.1 Гц (Б, Г).

Шкала частоты представлена в логарифмическом масштабе.



На рис. 4. представлены усредненные спектры ЛДФ-грамм кровотока кожи пальца (рис. 4А, Б) и предплечья (рис. 4В, Г) в условиях воздействия модулированного шума с частотами 0.04 и 0.1 Гц. Влияние модуляции в обоих случаях характеризуется появлением выраженных спектральных пиков на частотах, соответствующих частотам модуляции шума. Для кровотока кожи пальца наибольший эффект развивался при частоте модуляции 0.1 Гц, при этом увеличение амплитуды спектра на соответствующей частоте составила 2.1 раза. Для модулированного с частотой 0.04 Гц шума амплитуда спектра колебаний кровотока на соответствующей частоте увеличилась в 1.8 раза. Для кровотока кожи предплечья наибольший эффект вызвала стимуляция с частотой 0.04 Гц (при этом наблюдалось увеличение амплитуды спектра в 1.9 раза). Для модуляции с частотой 0.1 Гц амплитуда колебаний в спектре ЛДФ-грамм увеличилась в 1.6 раза (табл. 2).

Достоверные изменения частоты сердцебиения и дыхания, спектральных характеристик ВСР, динамики артериального давления крови были продемонстрированы в ряде работ с использованием различных вариантов звуковой стимуляции [8,20]. Изменения параметров сердечно-сосудистой системы авторами трактуются как неспецифические проявления комплекса вегетативных стресс-реакций на звуковую стимуляцию. Выяснено что значимым фактором звукового воздействия на человека прежде всего является интенсивность (громкость) сигнала или шума [21]. В случае использования в качестве стимула музыкальных фрагментов, значимыми также оказываются также тембр звука, тональность и темп музыки [23].

В плане изучения реакции периферического кровотока на звуковую стимуляцию, большинство известных нам работ посвящено исследованию влияния высокоинтенсивных шумов и музыки [24] на кровотоки кожи пальцев. Показано, что реакция преимущественно обусловлена активацией симпатического отдела автономной нервной системы и, в большинстве случаев, проявляется как вазоконстрикция. Данные о реакции кровотока кожи, в условиях модулированного низкинтенсивного шума, в доступной нам литературе от-

сутствуют. В этой связи, для оценки роли эффектов симпатической нервной системы, исследование микроциркуляторного кровотока кожи нами проводилось в двух зонах с различной выраженностью плотности симпатической иннервации: в коже пальца с высокой плотностью симпатической иннервации и в коже предплечья с низкой плотностью симпатической иннервации. В данной работе мы использовали низкоинтенсивный эмоционально нейтральный акустический шум с пиковой интенсивностью, не превышающей 20 дБ. Отсутствие достоверных изменений ЧСС, спектральных параметров ВСР, параметров дыхания и базального уровня кровотока кожи (табл. 2) в условиях воздействия немодулированного шума свидетельствует о том, что используемая звуковая стимуляция не являлась значимым стресс-фактором. В этой связи, полученные нами достоверные результаты при использовании амплитудно-модулированного шума можно рассматривать как частотно-зависимые эффекты влияния стимуляции.

В отношении ритма сердца, можно предположить, что появление выраженного отклика в спектре ВСР при воздействии шумового сигнала с модуляцией 0.1 Гц имеет резонансную природу. Из литературных источников известно, что различного рода периодические воздействия, например, управляемое дыхание [18], периодическое открывание и закрывание глаз [24], музыкальные фрагменты [17] с выраженной ритмикой в области 0.1 Гц, вызывают существенные сдвиги характеристик сердечно-сосудистой системы [23]. Показано, что стимуляция с частотой 0.1 Гц вызывает резонансную активацию вагусных влияний на сердце [21]. В этой связи можно предположить, что модуляция шума с частотой 0.1 Гц обусловлена парасимпатической активностью. Принимая резонансную гипотезу, отсутствие эффектов при стимуляции с частотой 0.04 Гц объясняется, тем, что на данной частоте отсутствуют спонтанные колебания сердечного ритма и, соответственно, отсутствует возможность резонансного взаимодействия.

В отличие от сердечного ритма, микроциркуляторный кровоток кожи оказывается чувствительными к стимуляции на обеих частотах. Как известно,

колебания кровотока кожи имеют более сложный, чем ВСР частотный состав. В сигналах ЛДФ хорошо выражены колебания с частотой около 0.1 Гц, которые обусловлены спонтанной сократительной активностью гладкомышечных клеток сосудистой стенки [22]. Также хорошо выражены и колебания с частотой около 0.04 Гц, имеющие нейрогенную (преимущественно симпатическую) природу [7, 22]. Таким образом, в случае кожного кровотока, имеются более широкие возможности для взаимодействия колебаний. Эффекты стимуляции с частотой 0.04 Гц, по-видимому, могут иметь специфический характер и быть вызваны резонансным взаимодействием со спонтанными колебаниями, обусловленными активностью симпатического отдела вегетативной нервной системы. Однако, в этой связи непонятно, почему относительная величина эффекта на этой частоте практически одинакова для кровотока в зонах с различной плотностью симпатической иннервации? Кроме того, эффекты стимуляции с частотой 0.1 Гц в кровотоке кожи руки не могут быть связаны с парасимпатическим отделом ВНС, так как прямая парасимпатическая иннервация в микрососудах кожи конечностей отсутствует [7, 19].

В случае 0.1 Гц-стимуляции можно предположить резонансное взаимодействие с колебаниями миогенной природы. Как известно, помимо собственной сократительной активности гладкомышечных клеток микрососудов, на частоте 0.1 Гц также распространяются колебания, имеющие барорефлекторную природу (волны Майера). Барорефлекс, в свою очередь, имеет тесные связи с колебаниями ЧСС и, таким образом, может служить посредником передачи модуляций сердечного ритма на уровень микроциркуляции [25]. Подтверждением этому является различие относительной величины эффекта стимуляции для кожи пальца и предплечья. При акустической стимуляции с частотой 0.1 Гц, увеличение амплитуды колебаний на соответствующей частоте в коже пальца выше по сравнению с предплечьем (2.1 и 1.6 раза соответственно). Это может быть обусловлено наличием большего (по сравнению с

кожей предплечья) числа анастомозов для кровотока кожи пальца и, как следствие, большей зависимостью от центрального кровотока.

Необходимо отметить что, особенностью наших экспериментов с воздействием модулированного шума являлся произвольный контроль ритма модуляции испытуемыми, заключающийся в периодическом (с частотой соответствующей частоте модуляции шума) нажатии кнопки компьютерной мыши указательным пальцем правой руки (регистрация кровотока кожи при этом, осуществлялась с поверхности левой руки). В этой связи, очевидно, что в наших условиях аудио сигнал сам по себе не оказывает влияния на ВСР и кровоток в микроциркуляторном русле. Указанные условия позволяют говорить о наличии двух факторов, которые могут опосредовать показанные нами для ВСР и колебаний кровотока кожи эффекты акустической стимуляции. 1. Ментальная активность – произвольное внимание как «центральная команда» приводящая к параллельной активации моторных и симпатических нейронов. 2. Мышечная активность, которая посредством механо- и хеморефлексов также вызывает симпатическую активацию и, таким образом, может модулировать симпатическую нервную активность [18, 24]. Эти факторы, по-нашему мнению, являются потенциальными механизмами акцепции и трансформации ритма звуковой стимуляции на уровень регуляции кровотока.

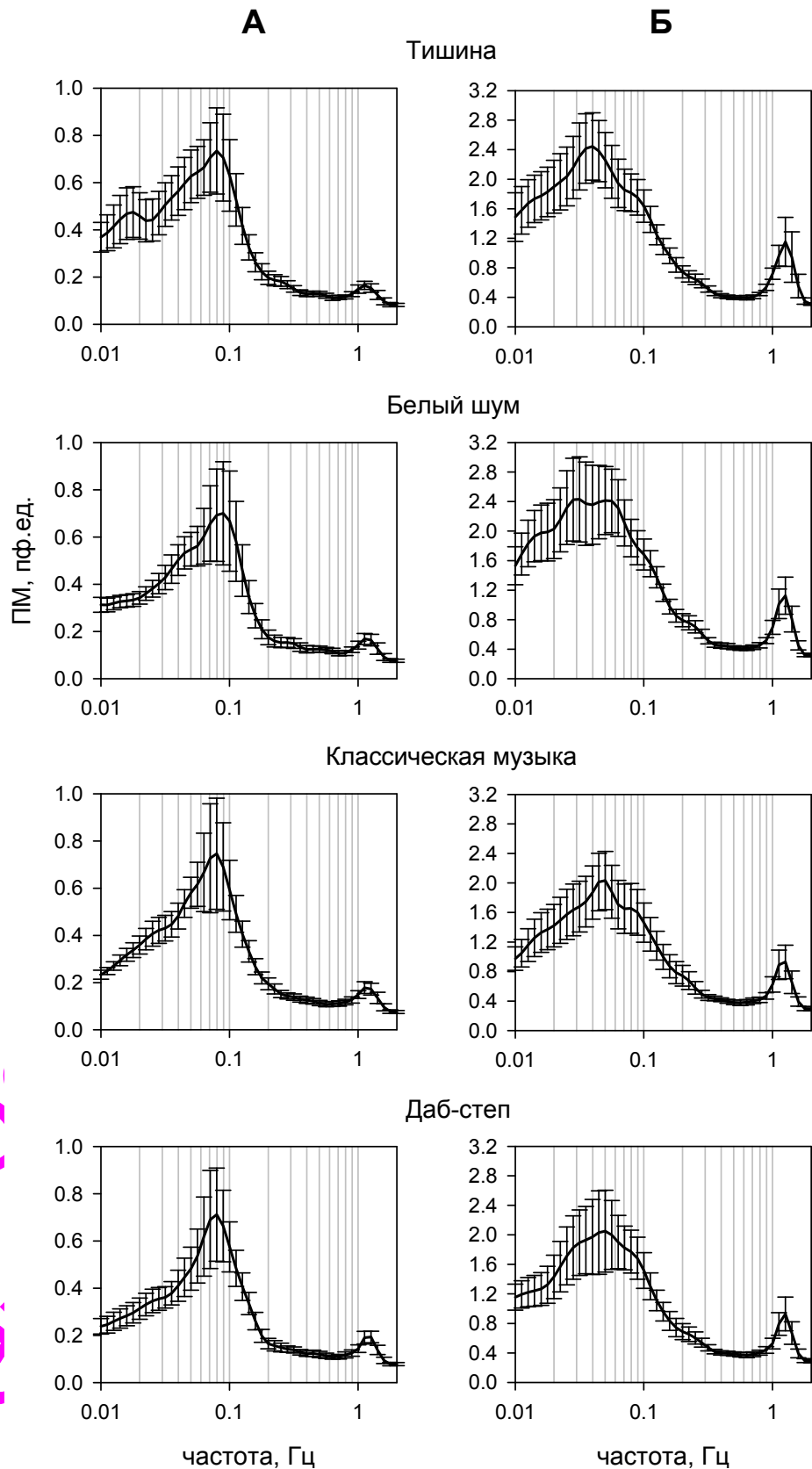
Таким образом, акустическое воздействие низкоинтенсивного, эмоционально нейтрального модулированного белого шума оказывает значимое влияние на ритмическую структуру колебаний сердечного ритма и микроциркуляторного кровотока кожи. Модулированный шум с частотой 0.04 и 0.1 Гц приводит к появлению в спектрах ВСР и микроциркуляторного кровотока кожи выраженных колебаний с частотой, тождественной частоте модуляции шума. Эффекты воздействия носят частотно-зависимый характер и предположительно обусловлены механизмами резонансного взаимодействия вызванных колебаний активности вегетативной нервной системы и спонтанных внутрисистемных колебаний ритма сердца и микроциркуляторного кровотока кожи.

### 2.2.2. Влияние музыки различных стилей на вариабельность ритма сердца и колебания кровотока кожи человека

Результаты влияния музыкальных композиций различных стилей представлено на ритмическую структуру периферического кровотока кожи предплечья и пальца представлены на рисунках 5, 6 и таблицах 3-6 ниже. В первой серии экспериментов был проведен сравнительный анализ влияния классической музыки, музыки в стиле дабстеп, белого шума и условной тишины. В качестве классики нами была выбрана «Аве Мария» И.С. Баха, гармоничная, характеризующаяся плавным медленным темпом с доминирующей частотой порядка 0.1 Гц. Музыка в стиле дабстеп, напротив, характеризуется темпом порядка 140 ударов в минуту, доминирующим низкочастотным басом и разреженным ломанным ритмом на заднем плане.

Для кровотока предплечья показано достоверное снижение базового уровня кровотока в случае прослушивания белого шума. Выявлено достоверное снижение амплитуды эндотелий-зависимых колебаний в случае шума, классики и дабстепа по сравнению с условной тишиной (38, 29 и 29% соответственно) и снижение амплитуды колебаний нейрогенного диапазона при прослушивании шума и дабстепа (23 и 37% соответственно). Кроме того, выявлено значимое увеличение основной частоты нейрогенных колебаний (порядка 40%) при прослушивании классической музыки (рис. 5, табл. 3).

Для кровотока пальца достоверные изменения амплитуды колебаний в основном характерны при прослушивании музыкальных композиций. Так эндотелий-зависимые колебания по сравнению с белым шумом снижены на 24 и 19% для классики и дабстепа соответственно.



**Рис. 5.** Усредненные амплитудно-частотные спектры ЛДФ-грамм кожи предплечья (А) и пальца (Б) при прослушивании тишины, белого шума, классической музыки и музыки в стиле даб-степ ( $M \pm m$ ,  $n = 10$ ). Шкала частоты представлена в логарифмическом масштабе.

Люб  
Тира

Цена

Таблица 3

Характеристики микроциркуляторного кровотока кожи предплечья при различном акустическом воздействии ( $Me$  (25%-75%),  $n=10$ )

Показатель	Тишина	Белый шум	Классическая музыка	Дабстеп
ПМ, пф.ед.	4.33 (3.72-5.25)	3.85 (3.47-5.79)	4.24 (3.43-6.18)	4.24 (3.56-6.12)
КВ <sub>ПМ</sub> , %	11.18 (7.16-14.04)	10.99 (9.81-11.35)	10.37 (8.57-12.47)	10.06 (7.12-13.56)
A(E), пф.ед.	0.21 (0.10-0.32)	0.13 (0.11-0.22)	0.15 (0.14-0.18)	0.15 (0.10-0.20)
A(N), пф.ед.	0.30 (0.16-0.46)	0.23 (0.16-0.35)	0.26 (0.22-0.31)	0.19 (0.18-0.32)
A(M), пф.ед.	0.30 (0.23-0.38)	0.26 (0.22-0.37)	0.29 (0.23-0.35)	0.30 (0.20-0.40)
A(R), пф.ед.	0.09 (0.07-0.12)	0.07 (0.06-0.09)	0.08 (0.06-0.09)	0.07 (0.06-0.09)
A(C), пф.ед.	0.09 (0.06-0.13)	0.08 (0.05-0.13)	0.09 (0.07-0.14)	0.09 (0.07-0.12)
Ч(E), Гц	0.015 (0.014-0.016)	0.016 (0.014-0.016)	0.015 (0.013-0.016)	0.014 (0.011-0.016)
Ч(N), Гц	0.032 (0.032-0.040)	0.034 (0.028-0.040)	0.045 (0.028-0.050)	0.032 (0.028-0.050)
Ч(M), Гц	0.085 (0.071-0.089)	0.085 (0.063-0.089)	0.085 (0.071-0.089)	0.080 (0.071-0.100)
Ч(R), Гц	0.252 (0.224-0.283)	0.282 (0.252-0.317)	0.282 (0.252-0.317)	0.299 (0.282-0.317)
Ч(C), Гц	1.122 (1.002-1.126)	1.124 (1.003-1.126)	1.125 (1.122-1.126)	1.124 (1.122-1.261)

Примечание: А – амплитуда колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона, Ч – частота колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона. Выявленные достоверные отличия по сравнению с параметрами в условиях тишины ( $p < 0.05$ ) отмечены затенением.



Таблица 4

Характеристики микроциркуляторного кровотока кожи пальца при различном акустическом воздействии ( $Me$  (25%-75%),,  $n=10$ )

Показатель	Тишина	Белый шум	Классическая музыка	Дабстеп
ПМ, пф.ед.	19.16 (15.80-19.80)	20.78 (17.19-21.80)	19.37 (17.01-22.35)	19.87 (13.48-23.64)
КВ <sub>ПМ</sub> , %	9.22 (6.41-12.29)	9.40 (7.39-13.58)	8.85 (4.61-11.90)	7.13 (6.18-14.45)
A(E), пф.ед.	0.72 (0.52-1.03)	0.68 (0.49-1.10)	0.52 (0.25-0.95)	0.55 (0.41-0.84)
A(N), пф.ед.	1.04 (0.67-1.66)	0.99 (0.72-1.90)	0.65 (0.62-1.44)	0.71 (0.50-1.44)
A(M), пф.ед.	0.86 (0.59-1.31)	1.02 (0.67-1.21)	0.68 (0.49-0.95)	0.88 (0.60-1.17)
A(R), пф.ед.	0.29 (0.24-0.48)	0.31 (0.26-0.49)	0.27 (0.24-0.35)	0.29 (0.24-0.39)
A(C), пф.ед.	0.54 (0.36-0.57)	0.48 (0.41-0.73)	0.37 (0.27-0.63)	0.33 (0.25-0.63)
Ч(E), Гц	0.017 (0.014-0.020)	0.015 (0.013-0.016)	0.014 (0.013-0.018)	0.013 (0.011-0.014)
Ч(N), Гц	0.040 (0.035-0.045)	0.032 (0.025-0.045)	0.040 (0.032-0.045)	0.035 (0.031-0.041)
Ч(M), Гц	0.085 (0.079-0.089)	0.089 (0.063-0.100)	0.089 (0.079-0.100)	0.080 (0.077-0.089)
Ч(R), Гц	0.282 (0.251-0.282)	0.252 (0.224-0.282)	0.267 (0.224-0.282)	0.252 (0.244-0.282)
Ч(C), Гц	1.124 (1.122-1.259)	1.124 (1.122-1.261)	1.124 (1.122-1.261)	1.124 (1.122-1.260)

Примечание: А – амплитуда колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона, Ч – частота колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона. Выявленные достоверные отличия по сравнению с параметрами в условиях тишины ( $p < 0.05$ ) отмечены затенением.



Также существенно снижается амплитуда пульсовых колебаний: 23 и 31% для классики и дабстепа соответственно (рис. 5, табл. 4).

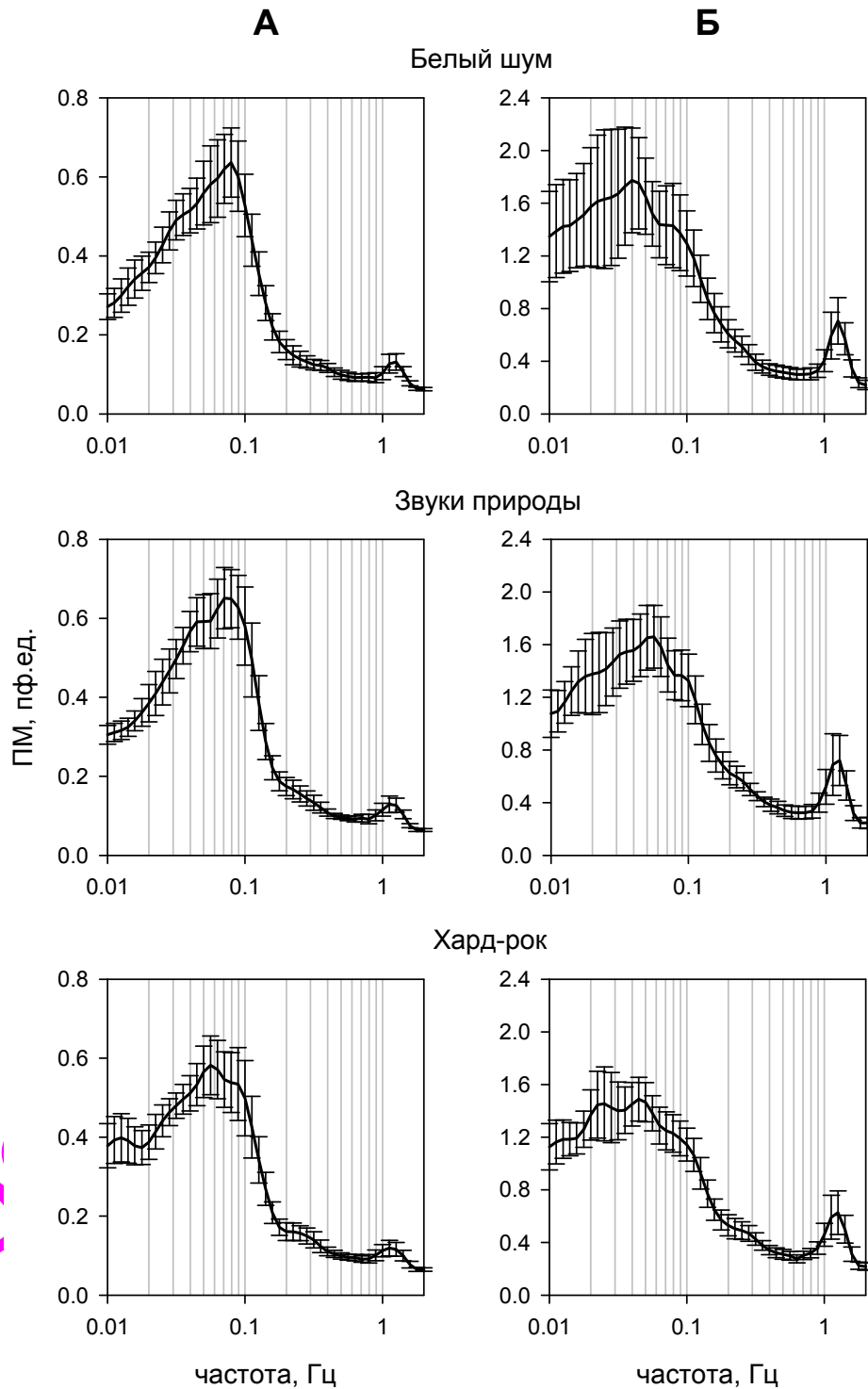
Для variability ритма сердца достоверные отличия получены для интегрального показателя – индекса напряжения (ИН), характеризующего степень напряженности регуляторных систем организма. Увеличение ИН, по сравнению шумом, отмечено и для классики и для дабстепа (23 и 18% соответственно).

Во второй серии экспериментов нами проведено сравнение эффектов белого шума, шума бегущей воды (звуки природы) и музыкальной композиции в стиле хард-рок. Хард-рок – жанр рок-музыки, характеризующийся выделенной ролью ритм-секции, главным образом бас-гитары и ударных инструментов с высоким темпом порядка 120 ударов в минуту.

В условиях прослушивания хард-рока, для кровотока предплечья, по сравнению с шумом, выявлено достоверное увеличение частоты колебаний миогенного диапазона (порядка 17%) и снижение частоты респираторно-зависимых колебаний (порядка 14%) (рис. 6, табл. 5).

Для кровотока пальца нами выявлено достоверное снижение базового уровня кровотока на 27% при прослушивании хард-рока по сравнению с шумом. Также, в этом случае, наблюдается достоверное увеличение амплитуды колебаний миогенного диапазона на 22% и снижение амплитуды пульсовых колебаний на 19% (рис. 6, табл. 6). Прослушивание звуков природы в наших условиях вызывало достоверное снижение амплитуды эндотелий-зависимых колебаний на 20% и увеличение колебаний миогенного и респираторного диапазонов (17 и 35% соответственно).

Индекс напряжения (табл. 7) при прослушивании композиции в стиле хард-рок, по сравнению шумом, достоверно увеличивается на 29%.



**Рис. 6.** Усредненные амплитудно-частотные спектры ЛДФ-грамм кожи предплечья (А) и пальца (Б) при прослушивании белого шума, звуков природы и музыки в стиле хард-рок ( $M \pm m$ ,  $n = 10$ ). Шкала частоты представлена в логарифмическом масштабе.

Таблица 5

Характеристики микроциркуляторного кровотока кожи предплечья при различном акустическом воздействии ( $Me$  (25%-75%),  $n=10$ )

Показатель	Белый шум	Звуки природы	Хард-рок
ПМ, пф.ед.	3.52 (2.51-4.54)	3.79 (2.74-4.63)	3.65 (2.65-4.69)
КВ <sub>ПМ</sub> , %	13.45 (12.25-13.92)	13.71 (10.48-14.90)	13.31 (10.94-14.02)
A(E), пф.ед.	0.17 (0.15-0.22)	0.19 (0.16-0.21)	0.20 (0.18-0.26)
A(N), пф.ед.	0.27 (0.22-0.36)	0.29 (0.20-0.34)	0.28 (0.23-0.32)
A(M), пф.ед.	0.33 (0.28-0.47)	0.37 (0.23-0.48)	0.28 (0.21-0.42)
A(R), пф.ед.	0.07 (0.05-0.09)	0.07 (0.06-0.13)	0.07 (0.06-0.12)
A(C), пф.ед.	0.06 (0.05-0.10)	0.07 (0.05-0.09)	0.06 (0.05-0.09)
Ч(E), Гц	0.015 (0.013-0.016)	0.013 (0.011-0.014)	0.013 (0.013-0.016)
Ч(N), Гц	0.035 (0.032-0.040)	0.034 (0.028-0.036)	0.034 (0.025-0.036)
Ч(M), Гц	0.076 (0.063-0.089)	0.071 (0.071-0.089)	0.089 (0.063-0.089)
Ч(R), Гц	0.299 (0.224-0.355)	0.267 (0.224-0.317)	0.252 (0.224-0.282)
Ч(C), Гц	1.192 (1.122-1.259)	1.191 (1.002-1.261)	1.124 (1.002-1.413)

Примечание: А – амплитуда колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона, Ч – частота колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона. Выявленные достоверные отличия по сравнению с параметрами в условиях тишины ( $p < 0.05$ ) отмечены затенением.

Таблица 6

Характеристики микроциркуляторного кровотока кожи пальца при различном акустическом воздействии ( $Me$  (25%-75%),  $n=10$ )

Показатель	Белый шум	Звуки природы	Хард-рок
ПМ, пф.ед.	15.54 (6.43-18.79)	16.00 (6.53-19.61)	11.85 (5.46-19.64)
КВ <sub>ПМ</sub> , %	11.50 (7.95-19.23)	9.98 (7.28-21.32)	10.80 (6.75-18.35)
A(E), пф.ед.	0.66 (0.30-1.01)	0.53 (0.47-0.77)	0.66 (0.47-0.78)
A(N), пф.ед.	0.75 (0.55-1.53)	0.79 (0.67-0.89)	0.79 (0.61-0.98)
A(M), пф.ед.	0.67 (0.40-1.06)	0.78 (0.38-1.03)	0.82 (0.40-0.90)
A(R), пф.ед.	0.23 (0.19-0.32)	0.31 (0.25-0.43)	0.21 (0.20-0.30)
A(C), пф.ед.	0.32 (0.16-0.50)	0.34 (0.20-0.47)	0.26 (0.25-0.42)
Ч(E), Гц	0.012 (0.011-0.013)	0.013 (0.011-0.016)	0.015 (0.011-0.018)
Ч(N), Гц	0.040 (0.028-0.045)	0.038 (0.032-0.050)	0.038 (0.025-0.045)
Ч(M), Гц	0.089 (0.080-0.112)	0.089 (0.089-0.100)	0.085 (0.071-0.100)
Ч(R), Гц	0.252 (0.224-0.316)	0.252 (0.225-0.317)	0.282 (0.251-0.282)
Ч(C), Гц	1.192 (1.122-1.261)	1.125 (1.122-1.259)	1.123 (1.003-1.261)

Примечание: A – амплитуда колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона, Ч – частота колебаний кровотока для соответствующего частотного диапазона. Выявленные достоверные отличия по сравнению с параметрами в условиях тишины ( $p < 0.05$ ) отмечены затенением.

Таблица 7

Характеристики variability сердечного ритма при различном акустическом воздействии ( $Me$  (25%-75%),  $n=10$ )

Акустическое воздействие	Показатель ВСР	
	RR, с	Индекс напряжения, усл.ед.
Серия 1		
Тишина	0.830 (0.760-0.870)	39 (28-62)
Белый шум	0.815 (0.760-0.850)	40 (36-93)
Классическая музыка	0.825 (0.770-0.860)	49 (33-69)
Дабстеп	0.815 (0.770-0.840)	47 (22-77)
Серия 2		
Белый шум	0.805 (0.740-0.890)	51 (22-62)
Звуки природы	0.800 (0.730-0.870)	47 (19-73)
Хард-рок	0.765 (0.730-0.820)	66 (31-77)

Примечание: Выявленные достоверные отличия по сравнению с параметрами в условиях тишины ( $p < 0.05$ ) отмечены затенением.

В последнее время наблюдается высокий интерес к сердечно-сосудистым, дыхательным, и нейрофизиологическим эффектам вызываемым музыкой. Вегетативные реакции, обусловленные влиянием музыки, имеют индивидуальный характер и зависят от индивидуальных предпочтений, настроения или эмоций. Тем не менее, многочисленные исследования показывают сходные сердечно-сосудистые и респираторные ответы на музыку с разными стилями (регги, техно, классическая) у большинстве субъектов [12, 13]. В значительной степени эти эффекты были связаны с темпом музыки и с увеличением частоты дыхания и не зависели от индивидуальных предпочтений. Также, механизмы проявления подобных реакций могут быть связаны со спонтанными ритмами в сердечно-сосудистой системе с частотой 6 циклов/мин (0.1 Гц), также известными как волны артериального давления

(волны Мейера). Конкретные музыкальные фразы (в ритме 6 циклов/мин) могут синхронизироваться с сердечно-сосудистыми ритмами и, таким образом, модулировать кровоток. В этом случае реакции проявляются независимо от дыхательной модуляции, что позволяет предположить возможность прямого захвата таких ритмов. Быстрые ответы, наблюдаемые по отношению к музыке, свидетельствуют о причастности кортико-висцеральных, а не гуморальных механизмов, по крайней мере, в краткосрочной перспективе [12, 13]. Таким образом, предполагается, что психологические и соматические воздействия музыки могут быть опосредованы модуляцией спонтанных сердечно-сосудистых ритмов формируемых на уровне центральной нервной системы.

Любое копирование  
тиражирование запрещено

## ВЫВОДЫ

1. Воздействие низкоинтенсивного эмоционально нейтрального модулированного белого шума оказывает значимое влияние на ритмическую структуру колебаний сердечного ритма и микроциркуляторного кровотока кожи человека.
2. Модулированный шум с частотой 0.04 и 0.1 Гц приводит к появлению в спектрах ВСР и микроциркуляторного кровотока кожи выраженных колебаний с частотой, тождественной частоте модуляции шума.
3. Эффекты воздействия модулированного белого шума носят частотно-зависимый характер и могут быть обусловлены механизмами резонансного взаимодействия вызванных колебаний активности вегетативной нервной системы и спонтанных внутрисистемных колебаний ритма сердца и микроциркуляторного кровотока кожи.
4. Стиль музыкального произведения оказывает значимое влияние на волновую структуру ритма сердца и микроциркуляторного кровотока кожи человека.
5. Влияние музыки на периферический кровоток может быть обусловлено ее ритмическими характеристиками и оказываемым эмоциональным воздействием.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздействие музыки на человека [Электронный ресурс] // LiveInternet.ru:[сайт] / URL: <http://www.liveinternet.ru/users/light2811/post137454172/> (дата обращения: 2014)
2. Воздействие музыки на человека в зависимости от стилей и направлений (раздел Здоровье) [электронный ресурс] // Constructorus.ru-интернет ресурс, для тех кто хочет создать успех: [сайт] / URL: <http://constructorus.ru/zdorovie/vliyanie-muzyki-na-cheloveka.html/> (дата обращения: 2014)
3. Козлов, В.И., Мельман, Е.П., Нейко, Е.М., Шутка, Б.В. Гистофизиология капилляров [Текст] / В.И. Козлов, Е.П. Мельман, Е.М. Нейко, Б.В. Шутка. – С-Пб.: Наука, 1994. – С.232.
4. Регуляция регионального кровообращения (раздел Физиология) [Электронный ресурс] // XServer.ru - бесплатная, виртуальная, электронная Интернет библиотека онлайн: [сайт] / URL: <http://www.xserver.ru/medic/031/01/> (дата обращения: 23.04.2014).
5. Козлов, В.И. Лазерный анализатор кровотока ЛАКК-01 / В.И. Козлов, В.В. Сидоров // Материалы II Всероссийского симпозиума: Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике. – М.: 1998. – С. 5-8.
6. Гриднев В.И. и др. Влияние внешних периодических стимулов на вариабельность сердечного ритма у здоровых лиц и пациентов с ишемической болезнью сердца // Физиология человека, 2006, т. 32, №5, с. 74-83.
7. Крупаткин А.И. Влияние симпатической иннервации на тонус микрососудов и колебания кровотока кожи // Физиология человека. 2006. Т. 32. № 5. С. 95-104.

8. Медведев М.А. и др. Изменения variability сердечного ритма под влиянием аудиовизуальной стимуляции // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 2001, № 3, с. 325-327.
9. Танканаг А.В., Чемерис Н.К. Адаптивный вейвлет-анализ колебаний периферического кровотока кожи человека // Биофизика, 2009, т. 54, № 3, с. 537-544.
10. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей / Под. ред. А. И. Крупаткина, В. В. Сидорова. – М.: Медицина. – 2005. – 256 с.
11. Alvarsson J.J. et al. Stress Recovery during Exposure to Nature Sound and Environmental Noise // Int J Environ Res Public Health, 2010, v. 7, p. 1036-1046.
12. Bernardi L. et al. Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: the importance of silence // Heart, 2006, v. 92, p. 445-452.
13. Bernardi L. et al. Dynamic interactions between musical, cardiovascular, and cerebral rhythms in humans // Circulation, 2009, v. 30, p. 3171-3180.
14. Camm AJ, Malik M, Bigger JT, Breithardt G, Cerutti S, Cohen RJ, Coumel P, Fallen EL, Kennedy HL, Kleiger RE, Lombardi F, Malliani A, Moss AJ, Rottman JN, Schmidt G, Schwartz PJ and Singer D (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // Circulation, 1996, v. 93, p. 1043-65.
15. Iwanaga M. et al. Heart rate variability with repetitive exposure to music // Biological Psychology, 2005, v. 70, p. 61-66.
16. Kim J.A. et al. Heart rate variability and obesity indices: emphasis on the response to noise and standing // J Am Board Fam Pract, 2005, v. 18, p. 97-103.

17. Lee G.-H. et al. Evoked response of heart rate variability using short-duration white noise // *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 2010, v. 155, p. 94-97.
18. Leuenberger U.A., Mostoufi-Moab S., Herr M., Gray K., Kunselman A., Sinoway L.I. Control of skin sympathetic nerve activity during intermittent static handgrip exercise // *Circulation*. 2003;108:2329-2335.
19. Nakahara H. et al. Emotion-related changes in heart rate and its variability during performance and perception of music // *Ann NY Acad Sci*, 2009, v. 1169, p. 359-362.
20. Sakamoto H. et al. Psycho-circulatory responses caused by listening to music, and exposure to fluctuating noise or steady noise // *Journal of Sound and vibration*, 2002, v. 250(1), p. 23-29.
21. Stauss H.M. et. al. Frequency response characteristics of sympathetically mediated vasomotor waves in humans // *Am J Physiol*, 1998, v. 274, p. H1277-H1283.
22. Stefanovska, A. Wavelet Analysis of Oscillations in Peripheral Blood Circulation Measured by Doppler Technique / A. Stefanovska, M. Bracic, H.D. Kvernmo // *IEEE Transactions on biomedical engineering*. – 1999. – Vol. 46. – P. 1230-1239.
23. Vaschillo E. et al. Characteristics of Resonance in Heart Rate Variability Stimulated by Biofeedback // *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 2006, v. 31, №2, p. 129-142.
24. Vissing S.F., Scherrer U., Victor R.G. Stimulation of skin sympathetic nerve discharge by central command. Differential control of sympathetic outflow to skin and skeletal muscle during static exercise // *Circ Res*. 1991;69:228-238
25. Tankanag AV and Chemeris NK (2009). A method of adaptive wavelet filtering of the peripheral blood flow oscillations under stationary and non-stationary conditions. *Phys Med Biol* **57**, 5935–5948.