



МИНПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»
(ТГПУ им. Л.Н. Толстого)

Кафедра медико-биологических дисциплин и фармакогнозии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)
на тему:
МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ТЕМНОКО-
ЖИХ СТУДЕНТОВ К ТЕПЛОВОМУ И ХОЛОДОВОМУ ВОЗДЕЙСТ-
ВИЮ**

Выполнена:
студенткой 4 курса группы 821561
очной формы обучения
факультета естественных наук
направления подготовки 06.03.01 Биология
направленность (профиль) Биоэкология
Быченковой Дарьей Дмитриевной

Тула, 2020

Работа выполнена на факультете естественных наук

ФГБОУ ВО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого»

Научный руководитель – Коняева Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин и фармакогнозии

(Дата)

(Подпись)

Работа обсуждена на заседании кафедры медико-биологических дисциплин и фармакогнозии (протокол № 9 от 28.04.2020) и допущена к защите

Заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин и фармакогнозии, кандидат биологических наук, доцент Якушина Валентина Сергеевна

(Дата)

(Подпись)

Защита состоится «23» июня 2020 г. в 09.00 часов.

Декан факультета естественных наук

И.В. Шахкельдян

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	6
1.1. Строение кожи и рецепторный аппарат ее холодовой и тепловой чувствительности	6
1.2. Структурная организация микроциркуляторного русла.....	10
1.3. Механизмы регуляции микроциркуляции	12
1.3.1. Нервно-гуморальная регуляция микроциркуляции	12
1.3.2. Локальные факторы регуляции тонуса сосудов	14
1.3.3. Механизмы тепловой и холодовой адаптации в системе микроциркуляции кожи.....	16
1.4. Функциональная температурная проба в методе лазерной доплеровской флоуметрии.....	17
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	21
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	24
3.1. Особенности микроциркуляции крови в коже предплечья у темнокожих студентов после нагревания.....	24
3.2. Особенности микроциркуляции крови в коже концевой фаланги пальца руки у темнокожих студентов после нагревания	32
3.3. Особенности микроциркуляции крови в коже предплечья у темнокожих студентов после охлаждения	38
3.4. Особенности микроциркуляции крови в коже концевой фаланги пальца руки у темнокожих студентов после охлаждения	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
ВЫВОДЫ	53
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	55

ВВЕДЕНИЕ

В современных физиологических исследованиях и медицинской практике проблема изучения микроциркуляции занимает одно из ведущих мест, так как именно микроциркуляторное русло, прежде всего, реагирует на воздействие факторов внешней среды, обеспечивая приспособление местной гемодинамики к потребностям организма. Существует тесная корреляция между отклонениями в центральной гемодинамике и нарушениями микроциркуляции. В связи с этим параметры микроциркуляции широко применяются для оценки общего физического состояния, а также для диагностики и прогнозирования изменений состояния здоровья человека.

Исследования, направленные на повышение эффективности диагностики микроциркуляторных расстройств, по-прежнему являются актуальными. И, несмотря на длительную практику тестирования состояния микроциркуляции крови, до сих пор остаются недостаточно изученными параметры микроциркуляторного русла в разных топографо-анатомических областях темнопигментированной кожи.

Интерес к изучению возможностей применения метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) для изучения особенностей кровотока у темнокожих испытуемых возник в науке относительно недавно и первоначально был ограничен изучением проблемы проникновения лазерного излучения в кожу с высоким содержанием меланина и оценкой достоверности получаемых сведений [22]. Полученные положительные результаты таких исследований дают широкие возможности применению метода ЛДФ не только для исследований микроциркуляторных расстройств у пациентов со светлым типом кожи, но и у темнокожих пациентов. В связи с этим представляет интерес изучение особенностей микроциркуляции в темнопигментированной коже условно здоровых испытуемых. Наиболее информативным тестированием микроциркуляторного кровотока, позволяющим оценить его резервные адаптационные возможности, состояние механизмов регуляции тканевого крово-

тока, а также общего функционального состояния микроциркуляторного русла служит флоуметрия в сочетании с функциональными температурными пробами (тепловой и холодной).

Цель работы – на основе данных лазерной доплеровской флоуметрии выяснить механизмы регуляции микроциркуляции в темнопигментированной коже разных участков верхней конечности в ответ на тепловое и холодное воздействие.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. выявить особенности микроциркуляции в коже предплечья и концевой фаланги 2-го пальца руки после нагревания у темнокожих испытуемых по сравнению с испытуемыми со светлой кожей;
2. выявить особенности микроциркуляции в коже предплечья и концевой фаланги 2-го пальца руки после охлаждения у темнокожих испытуемых по сравнению с испытуемыми со светлой кожей;
3. провести сравнительный анализ механизмов регуляции микроциркуляции в коже предплечья и пальца после нагревания и охлаждения у темнокожих испытуемых.

Объект исследования – кожа человека.

Предмет исследования – микроциркуляция крови разных участков кожи человека при температурном воздействии.

Структура работы представлена введением, тремя главами, заключением, выводами и списком литературы.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Строение кожи и рецепторный аппарат ее холодовой и тепловой чувствительности

Кожа – это общий покров тела, который является сенсорным органом человека, так как в нем содержится большое количество рецепторов. Она обеспечивает взаимодействие человека с окружающей средой. Кожа участвует во многих процессах, поддерживающих гомеостаз: терморегуляция, обменные процессы, дыхание. А также в коже содержится подкожный жир, который является резервным источником энергии [16].

Кожа человека имеет сложное строение (рис. 1). Она включает в себя структурные элементы, которые образуют системы и подсистемы, взаимодействующие между собой (эпидермис, дерма, гиподерма, железы и т. д.) [5].

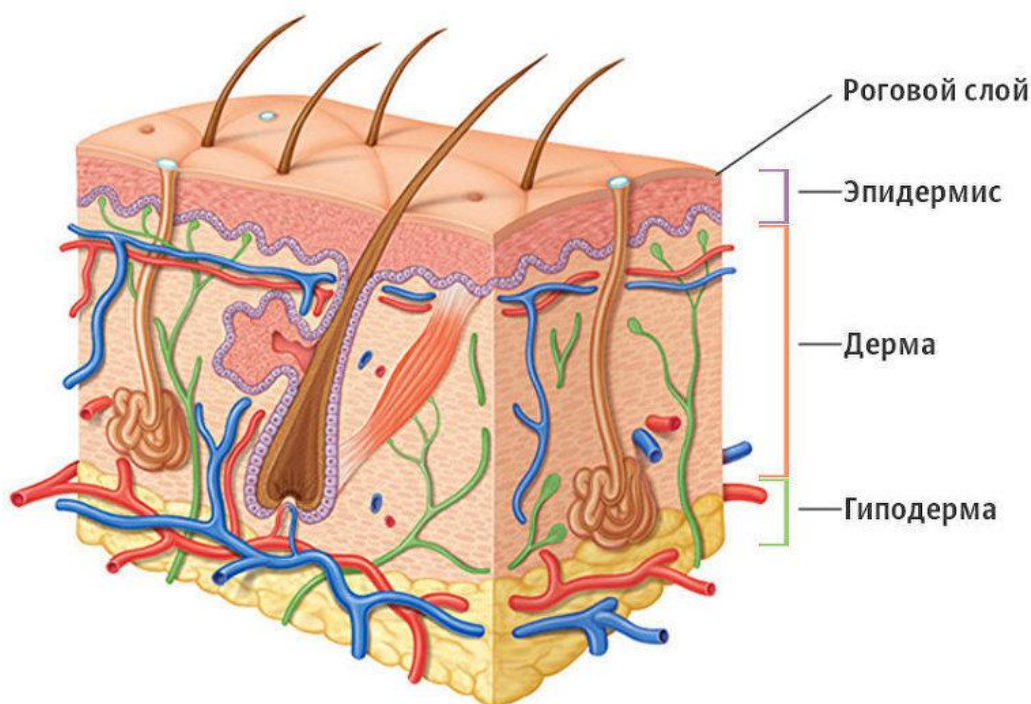


Рис. 1. Строение кожи человека

Кожа человека имеет два слоя: эпидермис и дерму с подкожной основой. Рассмотрим эти слои, начиная с верхнего.

Эпидермис – наружный слой кожи, в процессе эмбриогенеза образованный из эктодермы. Толщина эпидермиса неравномерна. На ладонях и по-

дошвах эпидермис выражен хорошо, а на коже век, лица и половых органов выражен слабее. Состоит эпидермис из многослойного эпителия, можно выделить 5 слоев, различающихся количеством и формой клеток [17]. Слои расположены, начиная с внешнего: роговой, стекловидный, зернистый, шиповатый, зародышевый.

Роговой слой – поверхностный слой эпидермиса. Этот слой более подвержен влиянию окружающей среды. Представлен ороговевшими плоскими клетками, которые превращаются в чешуйки. Чешуйки представлены клетками кератиноцитами, закончившими дифференцировку [16]. Они постепенно заменяются новыми клетками, которые образуются в роговом слое. Полное обновление клеток эпидермиса происходит у человека примерно за 40 суток.

Стекловидный (блестящий) слой состоит из плоских клеток, заполненных элеидином – блестящим веществом, преломляющим свет.

Зернистый слой состоит из 1-4 рядов кератиноцитов. В этих клетках содержится кератогиалин, превращающийся в кератин.

Шиповатый – состоит из 3-8 рядов клеток, с множеством цитоплазматических выростов.

Зародышевый (базальный) слой – самый глубокий слой эпидермиса, находящийся на границе с дермой. Является однослойным и имеет клетки призматической формы. В этом слое появляются новые слои эпидермиса, которые постепенно заменяют клетки рогового слоя. Также в зародышевом слое находится пигмент меланин, количество которого определяет цвет кожи человека и защищает кожу от воздействия УФ лучей [16].

Эпидермис состоит из нескольких типов клеток: кераноциты, миланоциты, клетки Лангерганса и клетки Меркеля [5].

Клетки Меркеля могут находится по одиночке, но чаще объединены в группы (диски Мареля). Тело клеток находится в базальном слое, а отростки связаны с эпителиоцитами базального и шиповатого слоев. Большое скопление клеток Меркеля в кониках пальцев и в волосных луковицах. Имеют нев-

ральное происхождение [2]. Выполняют тактильную и осязательную функции.

Клетки Лангерганса происходят из моноцитов. Располагаются в базальном или шиповатом слоях. Они участвуют в иммунных процессах: захватывают и переносят в лимфатические узлы антигены, проникающие в эпидермис [2].

Меланоциты имеют невральное происхождение [4]. Расположены в базальном слое эпидермиса. Составляют 10-25% клеток базального слоя. В теле и отростках расположены меланосомы, содержащие меланин. Количество меланоцитов у светлокожих и темнокожих людей одинаково, а количество меланина у светлокожих намного меньше. Меланоциты защищают ядерный аппарат кератиноцитов от повреждения УФ лучами.

Кератиноциты – это клетки, которые проходят последовательные стадии дифференцировки [4]. Они составляют не менее 85% клеток эпидермиса. Выполняют функцию механической защиты.

Дерма (собственно кожа) – слой кожи, расположенный под эпидермисом. Она является производной мезодермы. Дерма придает коже прочность и обеспечивает питание эпидермиса. Она представлена соединительной тканью. В дерме выделяют два слоя: сосочковый и сетчатый. Границы слоев четко не выражены.

Сосочковый слой достаточно тонкий. Он лежит под эпидермисом, обеспечивая его питание за счет кровеносных сосудов. Он представлен рыхлой неоформленной соединительной тканью. В данном слое находятся сосочки, в которых расположены кровеносные, лимфатические капилляры и нервные волокна [17]. В сосочковом слое находятся пучки гладкомышечных клеток, которые имеют связь с луковицами волос, за счет этого образуется так называемая «гусиная кожа». За счет сокращения мелких мышечных волокон в коже образуются «пупырышки», за счет чего уменьшается площадь свободного соприкосновения кожи с холодным воздухом, и кожа меньше отдает тепло.

Сетчатый слой образован плотной неоформленной соединительной тканью с множеством волокон – эластических и коллагеновых. Этот слой может иметь грубую или нежную сеть коллагеновых волокон, в зависимости от участка тела. Например, грубая свойственна коже стоп, а нежная коже лица [2]. В сетчатом слое расположены железы и фолликулы волос.

Сетчатый слой плавно переходит в жировую клетчатку (гиподерму) [5]. Гиподерма представлена жировой тканью и выполняет несколько функций [1]: теплорегулирующую; защитную; запасающую, амортизационную. Жировая клетчатка в организме человека распределена неравномерно: более сконцентрирована в области подошв, менее в области век.

Рецепторный аппарат кожи обеспечивает возникновение нервного импульса, выполняет роль начального звена соматической рефлекторной дуги. Существует две специфические афферентные единицы: механорецепторы и терморецепторы; болевые рецепторы, отвечают только за реакцию на высокопороговые сенсорные раздражители любой физической природы (например, температурные или химические). Механорецепторы - воспринимают прикосновение, давление и вибрацию. При анализе раздражений в коре головного мозга возникает субъективное ощущение о предмете, к которому человек прикоснулся. Болевые ощущения возникают при воздействии любого раздражителя большой силы, они сигнализируют об опасности и вызывают оборонительные рефлексы. Наиболее чувствительной является кожа пальцев кисти. Ноцицепторы воспринимают болевые ощущения. Число болевых рецепторов намного больше числа тактильных и температурных.

Терморецепторы можно разделить на холодовые и тепловые. Количество холодовых рецепторов в организме человека больше, чем тепловых. Холодовые рецепторы располагаются ближе к эпидермису, а тепловые - в глубоких слоях дермы и подкожной основе. Оптимум холодовой чувствительности находится в пределах 28 - 38°C, а тепловой чувствительности 35 - 43°C. Большая концентрация терморецепторов находится на подошве, а меньшая на подошвах ног.

В коже располагаются два типа рецепторов, отвечающих за температурную чувствительность – тельца Руффини, реагирующие на тепло, и колбы Краузе, реагирующие на холод. Колбы Краузе не имеют четко оформленной капсулы. Представляют собой рыхлый клубочек миелинизированных и немиелинизированных нервных волокон, окруженный компактной тканью из нескольких тонких соединительнотканых пластинок. Сердцевина телец Руффини заполнена немиелинизированными волокнами. Пространство капсулы отграничено от внутренней колбы мембраной, капсульное пространство заполнено межклеточной жидкостью [18].

При температуре кожи около 35°C (умеренная) могут быть активны и холодовые и тепловые рецепторы. Тепловые рецепторы перестают быть активными при температуре выше 45°C (болевой уровень) или при охлаждении кожи, когда активизируются холодовые рецепторы. Холодовые рецепторы перестают быть активными при согревании, когда активизируются тепловые рецепторы.

Температурой комфорта для организма человека, независимо от условий проживания, является 18-22°C. Люди, живущие в более холодном климате, легче переносят низкие температуры; люди, живущие в жарком климате, легче переносят жару. Таким образом, происходит определенная адаптация температурной чувствительности и совершенствуются механизмы терморегуляции.

1.2. Структурная организация микроциркуляторного русла

Микроциркуляция - это движение крови по сосудам микроциркуляторного русла, а также обмен между плазмой и межклеточной жидкостью; межтканевой жидкостью и лимфой [21]. Микроциркуляторное русло участвует в обеспечении трофической, дыхательной, экскреторной, регуляторной функций сосудистой системы, развитии воспалительных и иммунных реакций.

В состав микроциркуляторного русла входят артериальное, капиллярное, венозное звено и артерио-венозные анастомозы. Артериальное звено включает в себя артериолы и прекапилляры.

Артериолы – микрососуды, состоящие из трех оболочек. Их диаметр 50-100 мкм. В каждой стенке находится один слой клеток. Внутренняя оболочка состоит из плоских эндотелиальных клеток, а их отростки проникают через тонкую внутреннюю эластическую мембрану и образуют контакты с гладкими миоцитами средней оболочки. Миоциты связаны друг с другом щелевыми и плотными соединениями и лежат циркулярно в один слой, реже в два слоя.

Прекапилляры (прекапиллярные артериолы, метартериолы) – микрососуды, отходящие от артериол. Их диаметр 14-16 мкм. В них эластичные элементы полностью отсутствуют. Клетки эндотелия контактируют с миоцитами, располагающимися на большом расстоянии друг от друга и образующими прекапиллярные сфинктеры в участке отхождения прекапилляров. Сфинктеры регулируют кровенаполнение отдельных групп капилляров. В норме часть их открывается только при нагрузке.

Капиллярное звено состоит из капиллярных сетей. Общая протяженность капиллярных сетей в организме превышает 100 тыс. км. Диаметр капилляров 3-12 мкм. Эндотелием образована выстилка капилляров. В расщеплениях его базальной мембраны выявляются перициты (отростчатые клетки) [19]. Перициты имеют многочисленные щелевые соединения с эндотелиоцитами. Роль перицитов до конца не изучена. Большинство исследователей отрицают сократительную функцию, однако, набухая, перициты способны уменьшать просвет капилляра. Снаружи капилляры окружает сеть ретикулярных волокон [2].

Венозное звено состоит из посткапилляров, собирательных и мышечных венул.

Посткапилляры (посткапиллярные венулы) – сосуды образующиеся в результате слияния нескольких капилляров. Их диаметр 12-30 мкм. В органах

иммунной системы имеются посткапилляры с особым высоким эндотелием, служащие местом выхода лимфоцитов из сосудистого русла. На уровне с капиллярами посткапилляры являются наиболее проницаемыми участками сосудистого русла.

Собираательные венулы образуются в результате слияния посткапиллярных венул. Их диаметр 30-50 мкм. Когда они достигают диаметра 50 мкм, в их стенке появляются гладкомышечные клетки.

Мышечные венулы диаметр до 100 мкм. Они характеризуются хорошо развитой средней оболочкой, в которой в один ряд лежат гладкомышечные клетки. Гладкомышечные клетки отличаются отсутствием строгой ориентации и слабым развитием сократительных элементов.

Артериовенозные (артериоловеноулярные) анастомозы – сосуды, связывающие артериолы и венулы. Диаметр составляет 30-500 мкм. Стенка анастомоза имеет много гладкомышечных клеток. Анастомозы сосредоточены в кончиках пальцев, мочках ушей (играют важную роль в терморегуляции).

1.3. Механизмы регуляции микроциркуляции

1.3.1. Нервно-гуморальная регуляция микроциркуляции

Нервная регуляция

Нервная регуляция кровоснабжения кожи обеспечивается широко представленной иннервацией ее сосудов (особенно артериоло-веноулярных анастомозов) симпатическими адренергическими сосудосуживающими волокнами. Повышение их активности обуславливает сужение кожных сосудов, а торможение – приводит к вазодилатации.

Главным фактором в регуляции кожного кровотока является температура тела, снижение которой приводит к рефлекторному сужению как артериальных, так и венозных сосудов кожи, что способствует перемещению крови в глубокие вены и сохранению тепла. При общем охлаждении снижается кровоток как через артериовенозные анастомозы, так и через капилляры кожи. Эта реакция опосредована через гипоталамус, а эффекторными ее пу-

тиями являются адренергические нервные волокна [8]. При общем воздействии на организм высоких температур происходит увеличение кожного кровотока за счет, главным образом, раскрытия артериовенозных анастомозов, кровотоков через которые увеличивается в 3-3.5 раза.

Раскрытие анастомозов является следствием угнетения сосудосуживающей импульсации к кожным сосудам по симпатическим адренергическим волокнам, обуславливающим стимуляцию β -адренорецепторов. Медиаторами активной кожной вазодилатации являются гистамин и дофамин [10].

Гуморальная регуляция

В коже имеется большое количество тучных клеток – источника вазоактивных веществ. Дегрануляция тучных клеток и выделение вазоактивных веществ (гистамина, серотонина и др.) происходит при непосредственном воздействии на кожу ультрафиолетового облучения, механических и других факторов.

В сосудах кожи имеются H и H₂-гистаминовые рецепторы, опосредующие вазодилататорное действие эндогенного и экзогенного гистамина. Расширение сосудов кожи вызывает субстанция P, оказывая при этом как прямое влияние на гладкую мышцу сосудов, так и опосредованное - через гистамин, выделяющийся из тучных клеток [10].

В коже происходит биосинтез простагландинов. Внутрикожное введение простагландинов E₂ и H₂ вызывает расширение кожных сосудов, а простагландина F_{2a} – их сужение.

Миогенная регуляция

Более ста лет назад Бейлис впервые показал, что растяжение кровеносных сосудов вызывает сокращение гладкомышечных клеток в их стенке. Согласно миогенной гипотезе, увеличение внутрисосудистого давления вызывает сокращение сосудов, тогда как снижение давления сопровождается их частичной релаксацией. Этот эффект, известный как эффект Бейлиса, не зависит от целостности эндотелия и проявляется в отсутствие иннервации и вазоактивных веществ крови. Таким образом, он имеет миогенную природу.

Это внутренне присущее гладким мышцам свойство – отвечать сокращением на растяжение – наиболее выражено в артериолах диаметром около 50-100 мкм.

Миогенные реакции играют решающую роль в определении базального тонуса микрососудов и являются важным механизмом ауторегуляции капиллярного гидростатического давления, удерживая его в физиологических границах. Это важно, поскольку микрососудистое давление является одним из определяющих факторов транскапиллярного обмена веществ и жидкости [14].

Избыточное увеличение этого давления может привести к отеку тканей, а снижение – к ухудшению снабжения паренхимных клеток веществами-нутриентами. Тонкие механизмы миогенной реакции на сегодняшний день еще не полностью установлены. Устойчивое повышение внутриклеточной концентрации ионов кальция определяет сокращение гладких мышц и миогенные реакции. И хотя сенсоры для микрососудистого давления еще не идентифицированы, в качестве возможных медиаторов миогенных реакций рассматриваются механочувствительные (активируемые растяжением) неселективные катионные каналы, фосфолипаза C и протеинкиназа C [10].

1.3.2. Локальные факторы регуляции тонуса сосудов

Тонус сосудов – это свойство сосудов предотвращать изменение внутреннего просвета, за счет напряжения гладкой мускулатуры, благодаря чему обеспечивая стабильность кровообращения в сегменте ткани. Рассмотрим локальные факторы регуляции тонуса сосудов.

Миогенная активность

Вазомоция – спонтанное расширение и сужение просвета микрососудов, осуществляемая за счет чувствительности гладких миоцитов к растяжению. Этот процесс является одним из проявлений миогенной активности. Вазомоторные реакции можно разделить на вазоконстрикцию и вазодилатацию. Первая подразумевает сужение сосудов, вторая является противоположно-

стью первой и обеспечивает увеличение диаметра микрососудов. Длительность фаз занимает от нескольких секунд, до нескольких минут. Колебаниями трансмурального давления изменяется растяжение стенок сосудов. Когда давление повышается, растяжение миоцитов увеличивается, в ответ на растяжение происходит их сокращение, тонус сосудов повышается, сосудистое сопротивление увеличивается, фаза вазоконстрикции преобладает. При снижении давления растяжение стенки сосудов ослабевает, гладкие мышцы сосудов расслабляются, преобладает вазодилатация микрососудов [15].

Эндотелиальная регуляция

Эндотелий – это слой уплощённых клеток, выстилающих изнутри все сосуды. Стенки капилляров полностью построены из эндотелиоцитов. Он участвует в регуляции гомеостаза и процесса сосудистого тонуса. Развитие многих сердечно-сосудистых заболеваний вызвано нарушением функции эндотелия.

Эндотелиальная регуляция происходит за счет синтеза эндотелием соединений с сосудорасширяющим (вазодилаторы) и сосудосужающим (вазоконстрикторы) эффектом. Оксид азота (II) – один из вазодилаторных факторов. Он образуется эндотелиоцитами под действием фермента NO-синтетазы [13]. Некоторые химические соединения (АТФ, ацетилхолин и т.д.) стимулируют выработку NO, а он в свою очередь расслабляет гладкомышечные клетки сосудов. Простаглицлин оказывает сосудорасширяющее действие за счет стимуляции специфических рецепторов, локализованных в миоцитах сосудов [6]. При блокировании действия оксида азота и простаглицлина релаксацию сосудов вызывает фактор гиперполяризации. Он воздействует на Ca^{++} -зависимые K^{+} -каналы гладкомышечных клеток сосудов, стимулируя выход из них ионов калия, который вызывает их гиперполяризацию и расслабление [6].

Эндотелины являются наиболее мощными вазоконстрикторами. Одним из самых изученных представителей группы является эндотелин – 1. В малых концентрациях он действует на эндотелиальные рецепторы, вызывая высво-

бождение факторов релаксации, а в более высоких - активирует рецепторы на гладкомышечных клетках, стимулируя стойкую вазоконстрикцию [7]. Тромбоксан A2 преимущественно синтезируется в тромбоцитах, но некоторое его количество образуется в эндотелии. Специфические рецепторы к нему расположены на гладкомышечных клетках сосудистой стенки. Сокращение гладкомышечных клеток при стимуляции тромбоксаном связано со снижением активности аденилатциклазы и повышением содержания внутриклеточного кальция [7].

1.3.3. Механизмы тепловой и холодовой адаптации в системе микроциркуляции кожи

Одной из важнейших функций крови является участие в терморегуляции. При нормальных температурных условиях (от 18 до 20°C) от общего кровотока кровотоки кожи составляет около 5%. При этом, количество крови в кровотоке кожи может значительно изменяться. Она почти равна нулю, при максимальной вазоконстрикции при охлаждении и может составлять 60% от количества крови в кровотоке всего организма при максимальной вазодилатации при нагревании [19].

Тепло тела человека теряется через кожу. Если температура тела выше, чем температура воздуха, то интенсивность тепловой потери может быть увеличена или уменьшена за счет изменения просвета сосудов [10]. Если температура тела близка или выше температуры воздуха, то тепло выводится через железы в виде пота, тем самым охлаждая кожу. Таким образом, кровь, протекающая через участки кожи, охлаждается (рис. 2).

Роль различных участков кожи в регуляции кожного кровотока различна. Сосуды кожи кистей рук, стоп, мочек ушей (акральных участков) содержат много сосудосуживающих волокон, обладающих относительно высоким тонусом в покое. Расширение этих сосудов связано с центральным торможением тонуса сосудосуживающих нервов. Расширение сосудов кожи проксимальных участков конечностей и туловища происходит преимущественно

непрямым путем: оно опосредовано выделением пептида брадикинина при возбуждении холинергических потогонных волокон. Сужение всех кожных сосудов обусловлено повышением тонуса симпатических адренергических волокон.

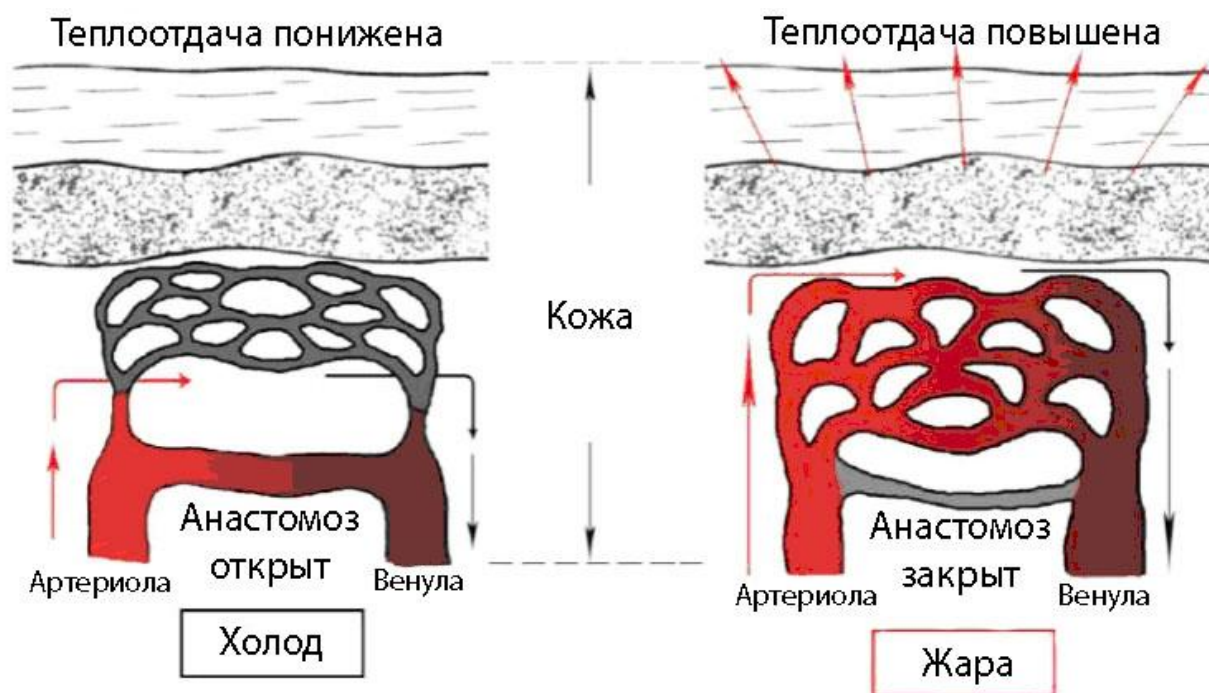


Рис. 2. Механизмы теплоотдачи и локальной терморегуляции в коже при различных температурных воздействиях внешней среды

Роль разных участков поверхности тела в регуляции теплоотдачи различна. При холодных нагрузках температура тела конечностей понижается сильнее, чем на других участках тела. Этим обеспечивается снижение теплоотдачи. В конечностях располагаются венозные сплетения в близости с артериями, поэтому передача тепла из артериальной ткани в венозную снижает его поступление в поверхностные ткани, сохраняя тепло в организме [3, 20].

1.4. Функциональная температурная проба в методе лазерной доплеровской флоуметрии

Метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на протяжении ряда лет широко применяется в качестве наиболее эффективного неинвазивно-

го метода исследования системы микроциркуляции, позволяя оценивать резервные возможности кровотока и его другие динамические характеристики как в клинической практике, так и экспериментальных физиологических исследованиях. В качестве наиболее информативного и хорошо зарекомендовавшего себя в исследованиях механизмов регуляции кровотока в микроциркуляторном русле используется метод функциональных проб, одной из которых является температурная проба [9].

Температурная проба может проводиться в двух вариантах: либо с повышением температуры (тепловая проба), либо с ее понижением (холодовая проба). Тепловая проба позволяет наряду с реактивностью микрососудов оценить резервные возможности микроциркуляторного русла по увеличению кровотока во время тепловой гиперемии [9].

Тепловая проба

Тепловая проба информативна для оценки состояния регуляторных механизмов в микроциркуляторной системе. Реакция на гипертермию обусловлена сочетанием действий рефлекторных и локальных механизмов с участием метаболических и миогенных факторов. Включение контура регуляции происходит в соответствии с терморегуляторными свойствами организма, что определяет расширение сосудов кожи на всех этапах гиперемии. Изучение механизмов этих процессов возможно на основе анализа флуктуаций кровотока в ткани (флаксометрий), которые отражают сложную многокомпонентную регуляцию микроциркуляторного русла [12].

Тепловая проба проводится при нагревании области исследования до 42-45°C, рекомендуемое время записи составляет не менее 10 минут (для качественного анализа низкочастотных колебаний, которые наиболее информативны в оценке активных механизмов регуляции гемоваскулярного гомеостаза). Ступенчатое нагревание до заданной температуры занимает 60-90 секунд [9]. При использовании этого подхода невозможно регулировать профиль роста температуры и высокая скорость нагревания не позволяет изучать динамику переходного процесса и проводить достоверный анализ температур-

ной зависимости низкочастотных колебаний, которые являются наиболее диагностически информативными. Все эти проблемы можно решить, выполняя термическое испытание поэтапно, несколько раз с нагревом до различных температур. Однако, тогда тестирование пробы становится неоправданно долгим. Оптимальным для данной пробы является проведение с использованием блока ЛАКК-ТЕСТ с линейным нагревом со скоростью 2°C в пределах границ $32 - 45^{\circ}\text{C}$. Такой вариант тепловой пробы позволяет в условиях одного эксперимента исследовать реакцию системы микроциркуляции на нагревание в широком температурном диапазоне [11].

Холодовая проба

Холодовая проба – тест, который используется для функциональной оценки микрососудистого русла. Холодовая проба традиционно проводится двумя способами: путем локального охлаждения участка кожи или охлаждением большой поверхности кожи (холодовой прессорной тест).

Локальное холодное тестирование – это создание на ограниченном участке кожи в зоне контакта кожи с охлаждающим предметом локальной гиперемии кожи и тканей в течение определенного времени. При локальной холодной пробе общие симпатические рефлекторные реакции менее выражены, поэтому такое тестирование эффективно для оценки реакции холодной вазодилатации при изучении локальных резервов температурной регуляции микроциркуляции [12].

Прессорный тест заключается в том, что кисть или стопа полностью погружается в холодную воду с температурой от 3°C до 15°C . Время охлаждения зависит от целей эксперимента и может занимать от нескольких минут до более получаса. Охлаждение и массивное раздражение терморецепторов в процессе выполнения холодного прессорного теста вызывает активацию симпатического контура регуляции, что приводит к вазоконстрикции мышечно-содержащих сосудов (артерий, артериол, артериоло-венулярных анастомозов), к сопутствующему повышению артериального давления, небольшому

увеличению содержания катехоламинов в крови, но без изменения частоты сердечных сокращений (24).

Повышенная симпатическая активность из-за раздражения терморецепторов кожи приводит к вазоконстрикции в симметричных частях контралатеральных конечностей, которые используют в качестве объекта для изучения изменения нейрогенного и других видов регуляторных механизмов микросудистого русла в процессе рефлекторной симпатической активации.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для регистрации параметров микроциркуляции кожи в нашем эксперименте был использован четырехканальный вариант лазерного доплеровского флоуметра (НПП «ЛАЗМА», Россия). Прибор позволяет осуществлять одновременную регистрацию перфузии тканей кровью в четырех точках путём измерения доплеровского сдвига частоты, возникающего при прохождении лазерного излучения через кожу, и отражении этого сигнала от эндогенных хромофоров кожи, ведущим из которых является гемоглобин эритроцитов, движущихся по микроциркуляторному руслу. В нашем эксперименте прибор имел длину волны лазерного излучения 0,8 мкм. Показатель микроциркуляции – параметр, регистрируемый прибором, характеризует степень перфузии исследуемого объема ткани кровью и измеряется в условных (перфузионных) единицах (пф.ед).

Параметры микроциркуляции кожи регистрировались нами в двух симметричных областях кожи: на наружной поверхности дистального конца предплечья вблизи лучезапястного сустава (в зоне Захарьина-Геда для сердца) и на ладонной поверхности концевой фаланги второго пальца руки. Эти области широко используются в экспериментах для оценки вкладов различных способов регуляции кровотока. В предплечье находится малое количество артериовенозных анастомозов, что способствует исследованию кровотока в «нутритивных» микрососудах. В концевой фаланге указательного пальца руки расположены скопления большого количества вегетативных, сенсорных нервных волокон и анастомозов, что способствует изучению нейрососудистой функции.

В эксперименте кисть правой конечности подвергалась температурному воздействию путем погружения в ванну с холодной или горячей водой. В левой конечности, не подвергавшейся температурным воздействиям, регистрировались показатели нутритивного кровотока. Полученные показатели использовались в качестве контроля.

Проведено 2 серии экспериментов с охлаждением и нагреванием. В эксперименте с охлаждением в ходе исследования кисть правой конечности погружалась на 5 минут в холодную воду с температурой 10°C . В эксперименте с нагреванием кисть правой конечности погружалась на 5 минут в горячую воду с температурой 45°C . Регистрация параметров кровотока в указанных точках осуществлялась непосредственно после прекращения температурного воздействия. Продолжительность регистрации кровотока после температурного воздействия составляла 10 минут. Между двумя сериями экспериментов соблюдался временной интервал, необходимый для восстановления параметров исходного кровотока.

Эксперимент был проведен в специально оборудованной лаборатории, где соблюдался температурный режим в пределах $18\text{-}22^{\circ}\text{C}$ градусов. В исследовании приняли участие 18 человек – 10 девушек и 8 юношей 18-22-летнего возраста. Из них 4 девушки и 5 юношей являлись темнокожими студентами из Африки, а 6 девушек и 3 юноши – светлокожими студентами из России. Все испытуемые дали добровольное согласие на участие в исследовании на основе полной информированности о ходе эксперимента. Все испытуемые на момент исследования были практически здоровы, не курили, не принимали вазоактивных препаратов и не употребляли алкоголь и кофеиносодержащие напитки, по крайней мере, за 4 часа до исследования. Испытуемые находились в положении сидя неподвижно, в помещении соблюдалась тишина. Важным условием для проведения эксперимента являлось обеспечение стабильности положения зондов и поддержание уровня и равномерности компрессии наконечника зонда на ткани.

Для анализа ЛДФ-грамм в нашей работе была использована программа, реализующая непрерывное вейвлет-преобразование (А.В. Танканаг, Н.К. Чемерис, Институт биофизики клетки РАН, Пущино). Реакцию микроциркулярного русла кожи анализировали на основе результатов цифровой полосовой фильтрации по динамике амплитуд колебаний в указанных ниже частотных диапазонах:

1. Диапазон **E** (0.006-0.02 Гц) – эндотелиальная активность
2. Диапазон **N** (0.02-0.06 Гц) – нейрогенная активность
3. Диапазон **M** (0.06-0.2 Гц) – миогенная активность (вазомоции)
4. Диапазон **R** (0.2-0.6 Гц) – респираторная функция
5. Диапазон **C** (0.6-2 Гц) – частота сердцебиения

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием программы SigmaPlot 13.0 (Systat Software, Inc., 2014). Для сравнения средних использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Особенности микроциркуляции крови в коже предплечья у темнокожих студентов после нагревания

Результаты статистического анализа показателей микроциркуляции крови в коже предплечья темнокожих студентов по сравнению со светлокожими студентами после нагревания приведены в таблице 1.

Таблица 1

Усредненные статистические и спектральные показатели ЛДФ-грамм кровотока в коже предплечья темнокожих и светлокожих студентов в исходном состоянии и после нагревания ($M \pm m$, $n = 9$)

Параметры	светлокожие		темнокожие	
	исходно	после нагревания	исходно	после нагревания
ПМ, пф.ед.	8.49±0.55	10.40±0.94	7.97±0.47	19.72±1.90*
СКО, пф. ед.	0.44±0.04	0.73±0.11*	0.81±0.18	1.18±0.14*
КВ, %	5.10±0.28	6.73±0.56	10.59±2.35	6.17±0.63
A(E), пф. ед.	0.13±0.02	0.18±0.02*	0.25±0.08	0.42±0.09*
A(N), пф. ед.	0.18±0.03	0.28±0.05*	0.29±0.04	0.53±0.11*
A(M), пф. ед.	0.18±0.02	0.31±0.07*	0.25±0.04	0.36±0.05*
A(R), пф. ед.	0.13±0.02	0.20±0.03*	0.14±0.03	0.25±0.02*
A(C), пф. ед.	0.22±0.03	0.37±0.12*	0.39±0.03	0.78±0.12*
Ч(E), Гц	0.02±8.46e-4	0.02±9.09e-4	0.02±1.27e-3	0.02±8.01e-4
Ч(N), Гц	0.04±3.76e-3	0.05±3.54e-3	0.04±0.01	0.03±2.79e-3
Ч(M), Гц	0.08±0.01	0.08±0.01	0.09±0.02	0.08±0.01
Ч(R), Гц	0.29±0.04	0.34±0.05	0.30±0.04	0.39±0.06
Ч(C), Гц	1.00±0.05	1.00±0.03	0.90±0.04	0.94±0.06

Примечание: СКО – среднее квадратическое отклонение, КВ – коэффициент вариации, А – амплитуда колебаний в соответствующем частотном диапазоне, Ч – пиковая частота колебаний в соответствующем частотном диапазоне.

Сравнения показатели ЛДФ-грамм кровотока темнокожих и светлокожих студентов в коже предплечья левой руки, не подвергавшейся тепловому воздействию, можно отметить, что в группе темнокожих испытуемых величина ПМ достоверно не отличается по сравнению с группой светлокожих, но обнаруживается более высокий, в 1,84 раза, показатель СКО, что является отражением более высокой подвижности эритроцитов у темнокожих испытуемых. Амплитудно-частотные характеристики ЛДФ-грамм кровотока кожи предплечья левой конечности темнокожих также исходно обнаруживают достоверно более высокие значения амплитуд колебаний в диапазонах эндотелиальной, нейрогенной и миогенной активности (выше в 1,9; 1,6 и 1,4 раза, соответственно), а также в диапазоне пульсовых колебаний (выше в 1,8 раза).

Сравнения показатели ЛДФ-грамм кровотока темнокожих и светлокожих студентов в коже предплечья правой руки, кисть которой подвергалась тепловому воздействию, можно отметить выраженные изменения кровотока.

Для темнокожих студентов нами отмечается достоверное увеличение базового кровотока в микроциркуляторном русле кожи правого предплечья по сравнению с левым после нагревания. ПМ возрастает в 2,5 раза, т.е. перфузия тканей кровью в коже предплечья у темнокожих испытуемых значительно увеличивается после теплового воздействия на кисть руки. Также имеет тенденцию к росту и ПМ в коже предплечья светлокожих испытуемых. Однако прирост этот не обнаружил в нашем случае достоверных отличий. Таким образом, при тепловом воздействии на кисть правой руки базовый кровоток достоверно изменяется только в коже предплечья правой руки у темнокожих студентов, у светлокожих студентов какие-либо достоверные изменения кровотока отсутствуют.

Известно, что увеличение значения ПМ может быть связано или с ослаблением сосудистого тонуса артериолярного звена, что приводит к увеличению объема циркулирующей в капиллярах крови, или с явлениями застоя

крови в веноулярном звене, что также сопровождается повышением концентрации эритроцитов в исследуемом объеме тканей [12]. Объясняется это тем, что лазерный сигнал, проникающий через кожу, отражается от эритроцитов, движущихся по всем видам сосудов микроциркуляторного русла кожи, независимо от их типа. Однозначно судить о том, за счет каких доминирующих механизмов произошло увеличение объема эритроцитов в коже предплечья темнокожих студентов после нагревания кисти руки мы, таким образом, не можем.

Для оценки особенностей микроциркуляции или ее состояния у конкретного субъекта существенным показателем служит величина СКО, отражающая активность механизмов ее регуляции. Эта величина характеризует временную изменчивость перфузии и отражает среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах: чем больше величина СКО, тем более глубокой становится модуляция кровотока. Рост значения СКО может быть обусловлен как более интенсивным функционированием механизмов активного контроля кровотока (эндотелиальных, нейрогенных и миогенных ритмов), так и проявлением действия пассивных факторов регуляции - пульсовых и респираторных ритмов.

Результаты измерений СКО амплитуды колебаний кровотока от среднего значения ПМ, также показали разницу между темнокожими и светлокожими испытуемыми. Нами обнаружен достоверный рост СКО как у темнокожих (прирост на 45,7%), так и у светлокожих (прирост на 65,9%) испытуемых. Более высокий показатель прироста СКО в коже предплечья у светлокожих указывает на то, что для их кровотока характерна большая величина его колеблемости после нагревания кисти руки.

Значение КВ, отражающего соотношение ПМ и СКО, в коже предплечья светлокожих испытуемых характеризуется увеличением после нагревания на 32%. Напротив, в коже предплечья темнокожих испытуемых КВ после нагревания снижается на 42%.

Анализируя статистические показатели ПМ, СКО и КВ в совокупности, для светлокожих студентов мы отмечаем увеличение КВ и СКО при практически не меняющемся ПМ. На основании таких данных можно сделать вывод, что у светлокожих испытуемых в коже предплечья после нагревания кисти происходит улучшение состояния микроциркуляции в результате активации эндотелиальной секреции, нейрогенного и миогенного механизмов контроля кровотока при практически не изменяющейся величине перфузии. В свою очередь, для темнокожих студентов мы отмечаем увеличение ПМ и СКО со значительным снижением КВ. На основании таких данных можно сделать вывод, что у темнокожих испытуемых в коже предплечья после нагревания кисти происходит улучшение состояния микроциркуляции в результате активации как активных, так и пассивных механизмов контроля кровотока при значительном росте перфузии тканей кровью.

Для выяснения вопроса о том, какие механизмы участвуют в регуляции процессов микроциркуляции крови в коже предплечья темнокожих студентов по сравнению со светлокожими после нагревания, проведен спектральный анализ ЛДФ-грамм. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм кровотока кожи предплечья темнокожих и светлокожих студентов после нагревания представлены, соответственно, на рис. 3 и 4.

В нашем исследовании в коже предплечья как темнокожих студентов, так и светлокожих, после нагревания амплитудно-частотный анализ выявил достоверное увеличение амплитуд колебаний во всех исследуемых частотных диапазонах. Так, у темнокожих испытуемых амплитуды колебаний ритмов активной модуляции кровотока (Е, N и М) возросли по сравнению с контролем в 1.68, 1.83 и 1.44 раза (т.е. доминирующими осцилляциями в артериолах микрососудистого русла кожи предплечья являются осцилляции нейрогенного диапазона), а амплитуды колебаний ритмов пассивной модуляции кровотока (R и C) – в 1.8 и 2 раза, соответственно.

У светлокожих испытуемых амплитуды колебаний в диапазонах Е, N и М также возросли по сравнению с контролем в 1.38, 1.56 и 1.72 раза (т.е. до-

минирующими осцилляциями в артериолах микрососудистого русла кожи предплечья светлокожих можно назвать осцилляции миогенного диапазона), а амплитуды колебаний в диапазонах R и C – в 1.54 и 1.68 раза, соответственно. По сравнению с темнокожими этот прирост более сглажен, прирост по всем диапазонам прирастает практически пропорционально.

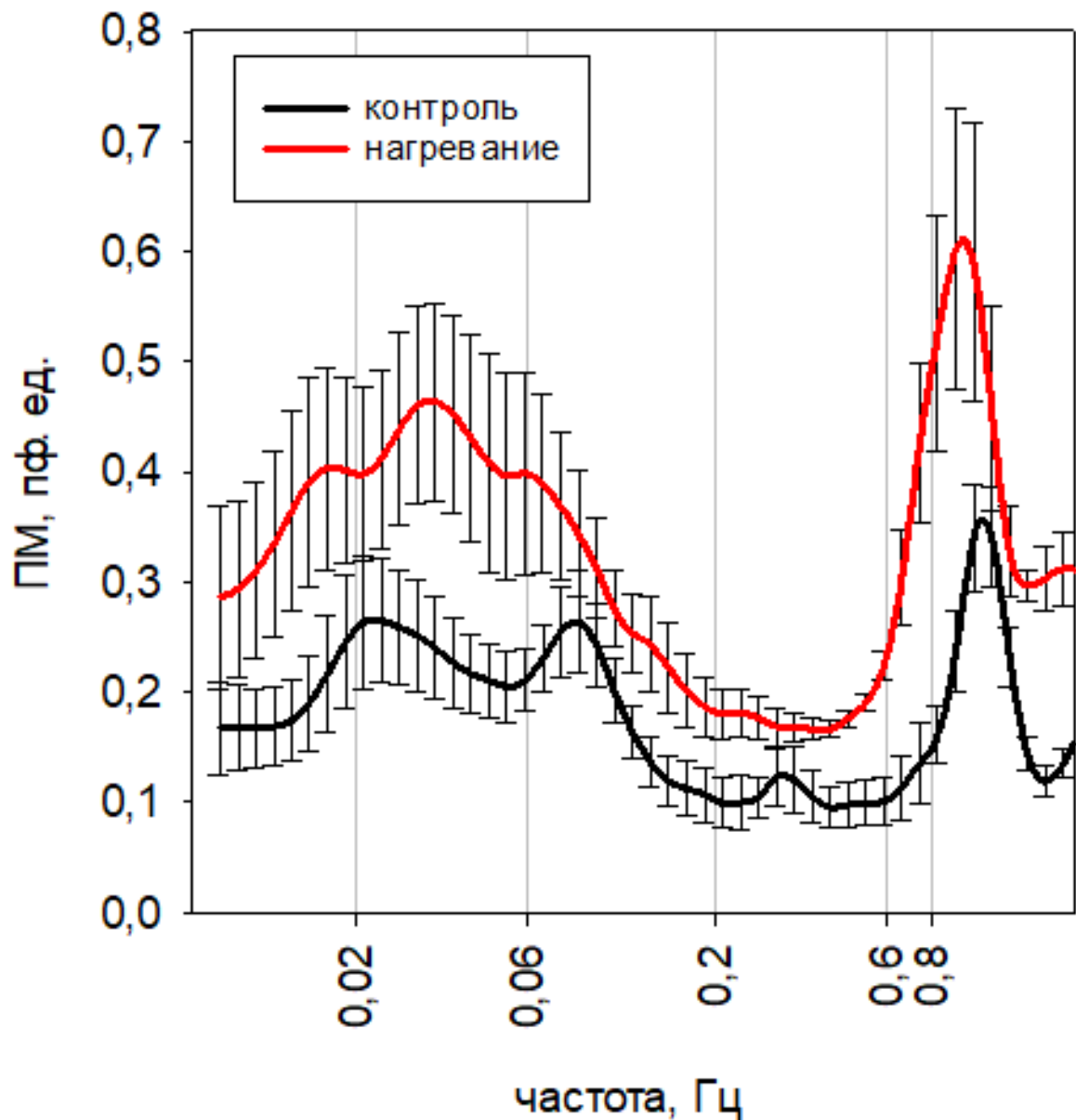


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм темнокожих студентов после нагрева. Исследуемая область – предплечье.

Такая структура изменений ритмов колебаний перфузии крови в предплечье у студентов со светлым и темным цветом кожи указывает на то, что при тотальном нагревании кисти руки активируются как активные, так и пассивные механизмы контроля кровотока в предплечье.

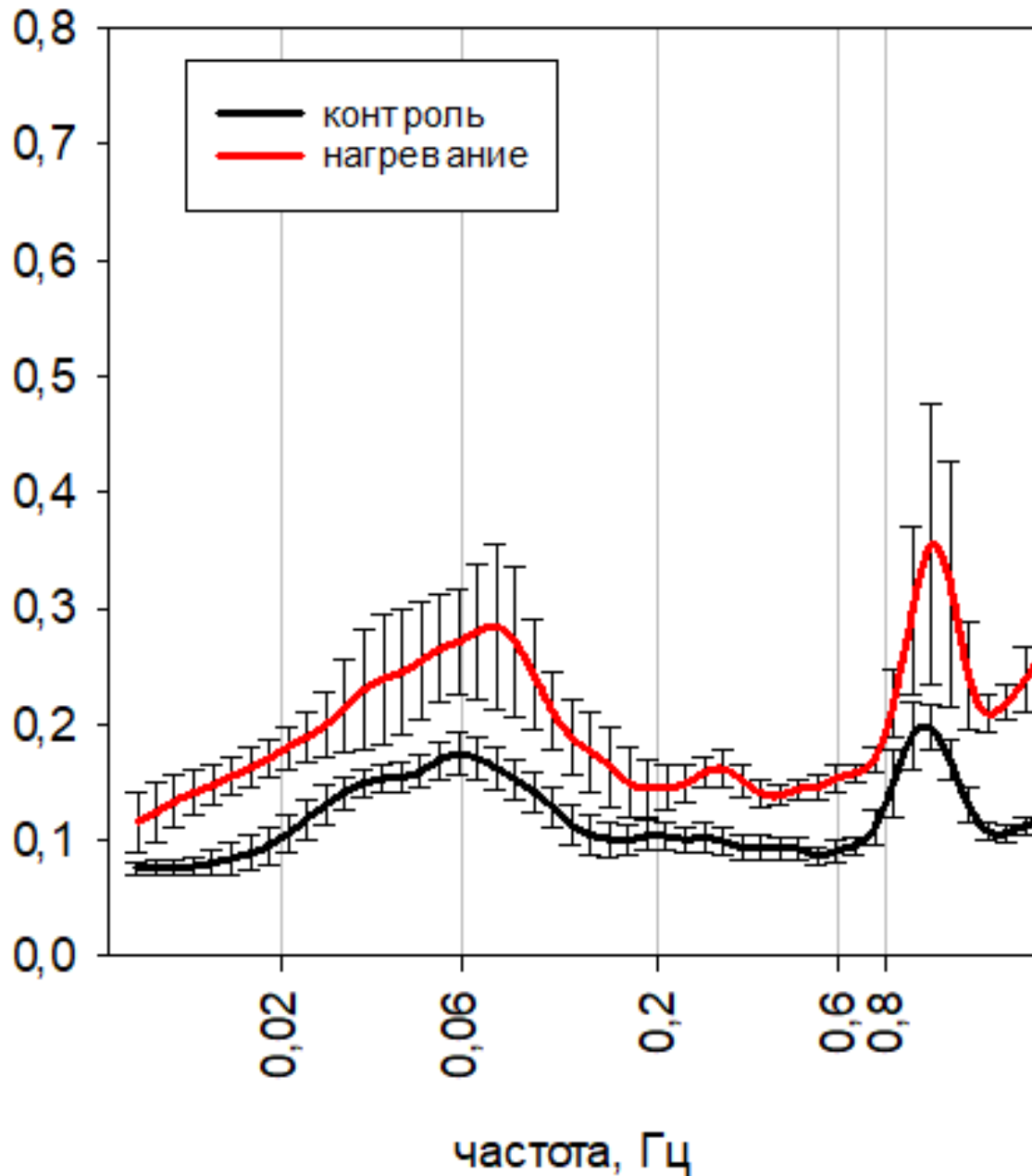


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм светлокотных студентов после нагревания. Исследуемая область – предплечье.

Увеличение амплитуд колебаний в Е, N и М диапазонах указывает на снижение жесткости сосудистой стенки, а, следовательно, на снижение сосудистого тонуса в микроциркуляторном русле кожи предплечья. Среди ритмов активной модуляции кровотока у темнокожих студентов ведущим фактором является нейрогенный, так как на его долю приходится самый большой прирост амплитуды колебаний. Показатель шунтирования (ПШ), рассчитанный для сосудистого русла с преобладанием нейрогенного контура регуляции (по формуле: $\text{ПШ} = A_n/A_m$), составил 1,47. Значение ПШ больше единицы у темнокожих испытуемых указывает на значительное увеличение объема крови, проходящей по артериоло-венулярным анастомозам. Артериоло-венулярные анастомозы находятся под преимущественным влиянием симпатической вазоконстрикторной иннервации, поэтому небольшое снижение симпатической активности приводит к вазодилатации анастомозов. Среди ритмов активной модуляции кровотока у светлокожих студентов ведущим фактором является миогенный, обусловленный вазомоциями. ПШ, рассчитанный для сосудистого русла светлокожих, составил 0.9. Значение ПШ меньше единицы у светлокожих испытуемых указывает на увеличение объема крови, циркулирующей по нутритивным сосудам.

О вазодилатации, происходящей за счет периодических изменений диаметра просвета артериол – вазомоций, свидетельствует рост амплитуды миогенных колебаний в ЛДФ-грамме. Однако, у темнокожих испытуемых прирост амплитуд в М диапазоне менее выражен, чем у светлокожих испытуемых, для которых прирост амплитуд в указанном диапазоне имеет ведущую роль при перестройке микроциркуляции в коже предплечья после нагревания кисти. Тем не менее, можно утверждать, что у темнокожих испытуемых после нагревания кисти отмечается не только увеличение кровотока по анастомозам, но также и увеличение нутритивного кровотока в микроциркуляторном русле кожи предплечья.

Рост амплитуды колебаний в диапазоне эндотелиальной активности указывает на то, что модуляция мышечного тонуса сосудов происходит так-

же под влиянием веществ, секретируемых в кровь эндотелием кровеносных сосудов микроциркуляторного русла кожи предплечья, и вызывающих вазодилатацию. Вазоактивной субстанцией эндотелия, ответственной за сократительную активность гладкомышечных клеток сосудистой стенки, служит оксид азота (II). У темнокожих студентов вклад этой составляющей в общую регуляцию кровотока более выражен: прирост амплитуды эндотелиальных колебаний у них на 30% больше по сравнению со светлокожими студентами.

Возрастание амплитуд активных механизмов контроля отражается и на функционировании пассивных ритмов. Амплитуда пульсовой волны, приносимой в микроциркуляторное русло со стороны артерий, изменяется в зависимости от состояния тонуса резистивных сосудов. При тепловой гиперемии наблюдается снижение сосудистого тонуса, и увеличивается объем притока артериальной крови в микроциркуляторное русло, модулированный пульсовой волной. Так, при локальном нагреве участка кожи предплечья до 42° С наблюдается пятикратное увеличение амплитуды пульсовой волны по сравнению с контролем у здоровых светлокожих испытуемых. В случае нагревания кисти руки в коже предплечья светлокожих нами также наблюдается прирост амплитуды пульсовой волны, но значительно меньший по сравнению с приростом при локальном нагреве.

В эксперименте с нагреванием большого участка кожи у темнокожих испытуемых наблюдается двукратное увеличение амплитуды пульсовой волны, что соизмеримо с увеличением в 2,5 раза показателя микроциркуляции. Такой прирост амплитуды пульсовой волны при повышении перфузии указывает на увеличение притока артериальной крови в микроциркуляторное русло кожи предплечья.

Амплитуды колебаний в диапазонах пульсовой волны и дыхательного ритма формируются по единому пассивному механизму. Этим можно объяснить сходные по величине изменения амплитуд в указанных диапазонах, однако прирост амплитуды дыхательного ритма у темнокожих испытуемых незначительно меньше, чем амплитуды кардиоритма и ПМ. Поскольку респи-

раторные колебания формируются за счет веноулярного звена, то, вероятно, при тепловой вазодилатации у темнокожих испытуемых веноулярное звено подвергается меньшим изменениям, чем артериолярное и капиллярное звенья микроциркуляторного русла кожи предплечья.

3.2. Особенности микроциркуляции крови в коже концевой фаланги пальца руки у темнокожих студентов после нагревания

Результаты статистического анализа данных об особенностях микроциркуляции крови в коже концевой фаланги пальца руки темнокожих студентов по сравнению со светлокожими студентами в исходном состоянии и после нагревания приведены в таблице 2.

Таблица 2

Усредненные статистические и спектральные показатели ЛДФ-грамм кровотока в коже концевой фаланги пальца руки темнокожих и светлокожих студентов в исходном состоянии и после нагревания ($M \pm m$, $n = 9$)

Параметры	светлокожие		темнокожие	
	исходно	после нагревания	исходно	после нагревания
ПМ, пф.ед.	15.18 $\pm$ 1.75	15.51 $\pm$ 1.47	17.06 $\pm$ 2.27	18.16 $\pm$ 1.71
СКО, пф. ед.	0.76 $\pm$ 0.08	0.79 $\pm$ 0.08	1.32 $\pm$ 0.20	1.03 $\pm$ 0.14*
КВ, %	5.11 $\pm$ 0.60	5.10 $\pm$ 0.42	8.40 $\pm$ 1.24	5.92 $\pm$ 0.78
A(E), пф. ед.	0.17 $\pm$ 0.03	0.23 $\pm$ 0.04	0.66 $\pm$ 0.15	0.26 $\pm$ 0.07*
A(N), пф. ед.	0.34 $\pm$ 0.05	0.29 $\pm$ 0.04	0.53 $\pm$ 0.10	0.44 $\pm$ 0.09
A(M), пф. ед.	0.30 $\pm$ 0.04	0.29 $\pm$ 0.04	0.40 $\pm$ 0.07	0.32 $\pm$ 0.06
A(R), пф. ед.	0.15 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.02	0.20 $\pm$ 0.04	0.21 $\pm$ 0.03
A(C), пф. ед.	0.48 $\pm$ 0.08	0.49 $\pm$ 0.07	0.58 $\pm$ 0.14	0.55 $\pm$ 0.12
Ч(E), Гц	0.02 $\pm$ 1.27e-3	0.02 $\pm$ 3.51e-4	0.01 $\pm$ 1.28e-3	0.02 $\pm$ 7.90e-4
Ч(N), Гц	0.05 $\pm$ 2.44e-3	0.04 $\pm$ 4.09e-3	0.03 $\pm$ 3.03e-3	0.04 $\pm$ 3.60e-3
Ч(M), Гц	0.08 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 4.99e-3	0.07 $\pm$ 2.51e-3	0.09 $\pm$ 0.01

Ч(R), Гц	0.29±0.04	0.39±0.06	0.38±0.06	0.33±0.06
Ч(C), Гц	1.09±0.06	1.05±0.05	0.95±0.05	0.95±0.08

Примечание: СКО – среднее квадратическое отклонение, КВ – коэффициент вариации, А – амплитуда колебаний в соответствующем частотном диапазоне, Ч – пиковая частота колебаний в соответствующем частотном диапазоне.

Сравнивая показатели ЛДФ-грамм кровотока темнокожих и светлокожих студентов в коже пальца левой руки, не подвергавшейся тепловому воздействию, можно отметить, что в группе темнокожих испытуемых величина ПМ достоверно не отличается по сравнению с группой светлокожих, но также, как и в предплечье, обнаруживается более высокий, в 1,74 раза, показатель СКО, что является отражением более высокой подвижности эритроцитов в нативном состоянии у темнокожих испытуемых.

Амплитудно-частотные характеристики ЛДФ-грамм кровотока кожи кисти левой конечности темнокожих также исходно обнаруживают достоверно более высокие значения амплитуд колебаний в диапазонах эндотелиальной и нейрогенной активности (выше в 3,2 и 1,6 раза, соответственно).

Сравнения показатели ЛДФ-грамм в период восстановления кровотока в коже кисти правой руки после нагревания, можно отметить выраженные отличия от кровотока в области предплечья как у темнокожих, так и у светлокожих студентов.

В обоих случаях отсутствуют достоверные различия в базовом кровотоке в микроциркуляторном русле кожи правой кисти по сравнению с левой. При этом перфузия тканей кровью в коже кисти у темнокожих испытуемых после теплового воздействия на кисть руки парадоксально не изменяется по сравнению с предплечьем. Отсутствие различий в ПМ для кожи кисти светлокожих испытуемых, в свою очередь, согласуется с отсутствием изменений в базовом кровотоке предплечья.

Величина СКО, характеризующая среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах, достоверно изменяется только в коже пальца у

темнокожих испытуемых. Нами обнаружено снижение показателя СКО на 22%, что свидетельствует о том, что модуляция кровотока после теплового воздействия становится менее глубокой.

Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм кровотока кожи концевых фаланг пальцев руки темнокожих и светлокожих студентов в исходном состоянии и после нагревания представлены на рис. 5 и 6.

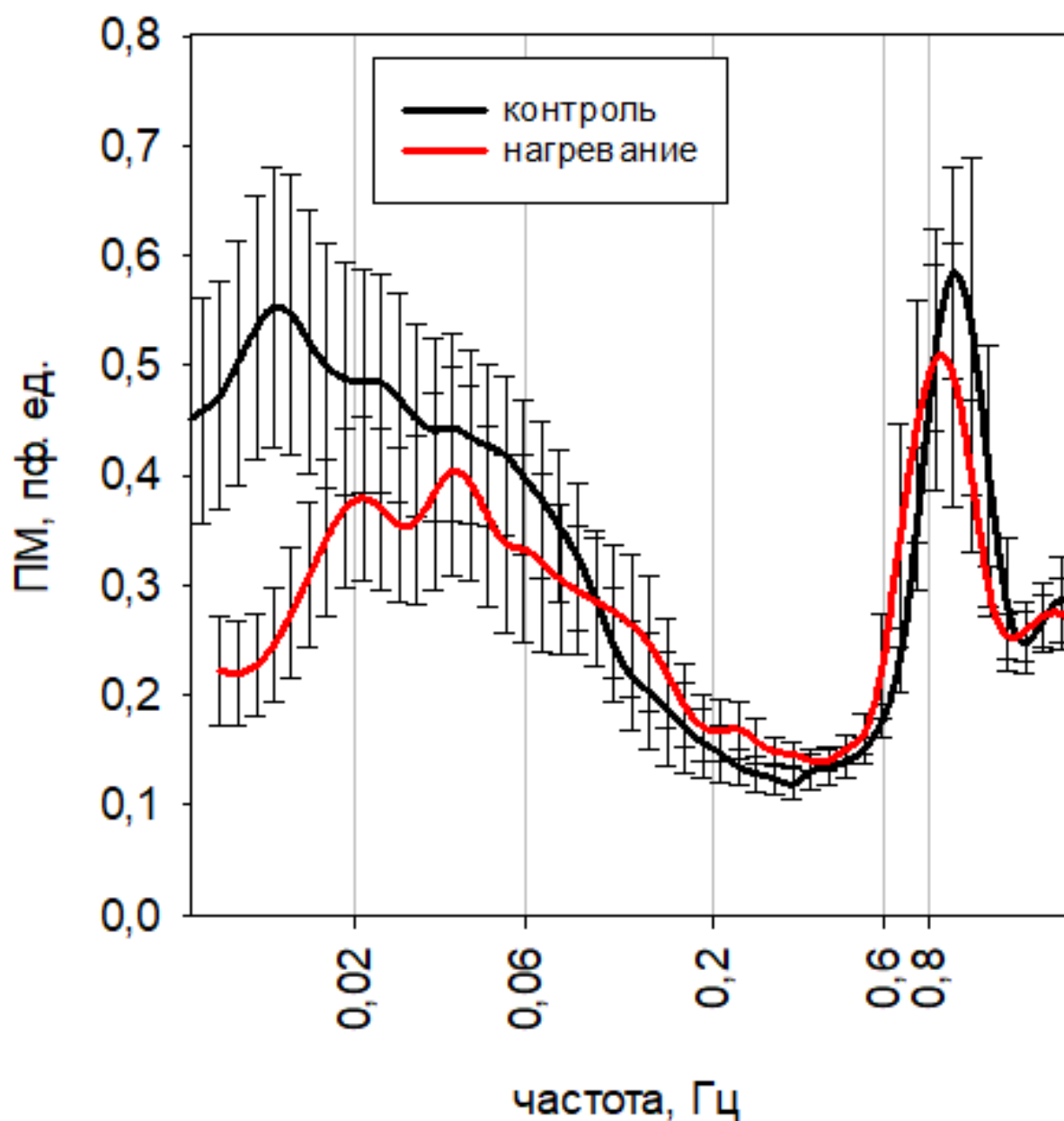


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм темнокожих студентов в исходном состоянии и после нагревания. Исследуемая область — концевая фаланга пальца руки.

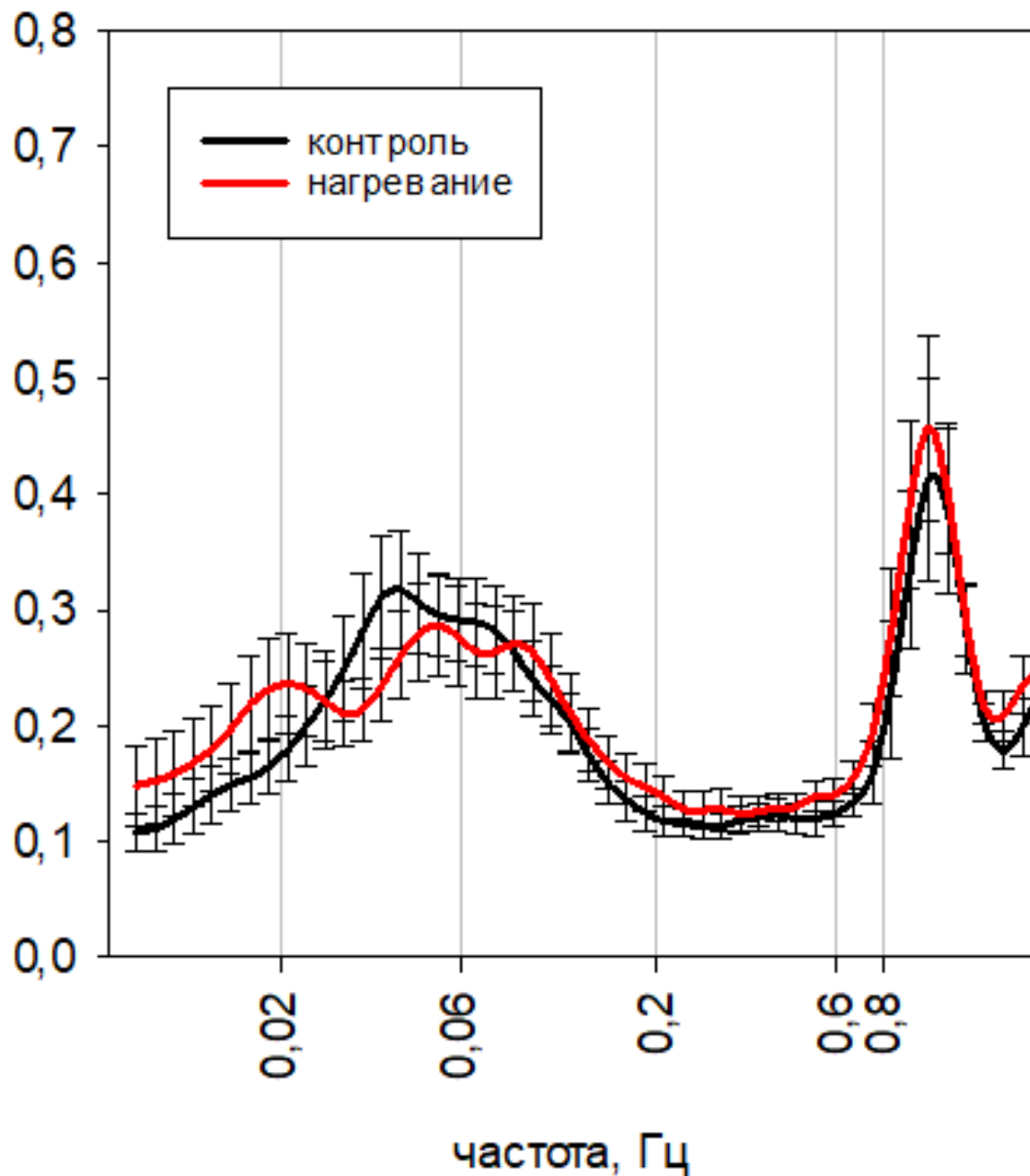


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм светлокотных студентов в исходном состоянии и после нагревания. Исследуемая область – концевая фаланга пальца руки.

В нашем исследовании в коже концевой фаланги пальца руки светлокотных студентов после нагревания амплитудно-частотный анализ не выявил достоверного изменения амплитуд колебаний ни в одном из исследуемых частотных диапазонов (рис. 6). Сходные результаты получены и для группы темнокожих испытуемых. Однако в этой группе испытуемых достоверные

изменения обнаружены в одном из диапазонов активной модуляции кровотока: в диапазоне эндотелиальной активности (Е) амплитуда колебаний снизилась по сравнению с контролем в 2.54 раза (рис. 5).

Отсутствие изменений амплитуд колебаний ритмов у студентов со светлым цветом кожи и снижение амплитуды колебаний только в диапазоне эндотелиальной активности у студентов с темным цветом кожи указывает на то, что при генерализованном нагревании кисти руки активируются уникальные механизмы контроля над кровотоком в коже концевых фаланг пальцев руки.

По нашему мнению, при погружении кисти руки в горячую воду могла происходить вазоконстрикция в коже пальцев.

Для классической тепловой пробы, проводимой со ступенчатым или линейным локальным нагревом от 36 до 42°C в регистрируемых показателях ЛДФ-грамм всегда отмечается рост амплитуд колебаний как в диапазонах активной модуляции кровотока, так и в диапазонах пассивной модуляции как в коже предплечья, так и в коже пальца [12]. В результате происходит вазодилатация и кожный кровоток усиливается, что сопровождается ростом ПМ.

В нашем случае, при генерализованном нагревании кисти руки до температуры, превышающей температуру ядра тела, по-видимому, действует другой механизм терморегуляции, предотвращающий гипертермию. Кровеносные сосуды пальцев могут сужаться, чтобы уменьшить передачу тепла в тело через нагретую руку. Такой механизм вазоконстрикции, происходящей в сосудах животных, оказывающихся в условиях чрезмерного нагревания, широко известен в науке [25, 26]. При повышенной температуре, когда условия для рассеивания тепла становятся неблагоприятными, то есть внешняя температура становится выше температуры ядра тела, и расширение сосудов будет способствовать внутреннему потоку тепла, у ряда животных наблюдается вазоконстрикция. Так, например, кровеносные сосуды ушей кролика расширены, когда животное находилось в тени, но сужены, когда оно находилось под летним солнцем пустыни; кровоток в коже кончика хвоста красного кен-

гуру при воздействии различных температур наиболее высокий в теплый период и значительно снижается в жаркой среде; аналогичные наблюдения были сделаны в отношении хвоста крысы; конечностей овцы и др. Сходные реакции кровотока наблюдаются и в коже пальцев человека в ответ на нагревание до температур, превышающих температуру ядра тела. Показано, что вазоконстрикция венозного русла кожи конечности уменьшает время прохождения крови через конечность и может эффективно уменьшить теплопередачу между кожей и циркулирующей кровью во время ее прохождения через конечность. Теплообмен между кожей и окружающей средой в основном происходит в мелких венах, в которые поступает кровь из артериоло-веноулярных анастомозов. Веноконстрикция является необходимым условием наряду с сужением артериоло-веноулярных анастомозов для замедления поступления тепла из горячей внешней среды в организм [27]. Мишенью этого ответа, по-видимому, являются артериовенозные анастомозы голых стороны кисти и стопы. Эта «вызванная жарой» вазоконстрикция, по-видимому, замедляет поступление тепла из горячей внешней среды [23]. Можно предположить, что в коже темнокожих механизмы вазоконстрикции, обусловленные действием избыточного тепла на кожу пальцев руки будут выражены сильнее по сравнению со светлокожими, что обусловлено климатическими особенностями регионов проживания испытуемых.

Как известно, вазоконстрикция приводит к снижению амплитуд колебаний в исследуемых частотных диапазонах [12]. В ходе регистрации нами параметров кровообращения в период восстановления после нагревания в коже кисти, по-видимому, произошло активное восстановление кровотока, в результате чего показатели амплитуд колебаний приблизились к исходным значениям. Возможно, отмечаемое нами у темнокожих студентов снижение амплитуд колебаний в диапазоне эндотелиальной активности обусловлено тем, что при нагревании вазоконстрикция обеспечивается у них более мощным, чем у светлокожих высвобождением эндотелия сосудосуживающих

факторов. В связи с этим восстановление кровотока у них занимает большее количество времени после прекращения нагревания.

Таким образом, оценивая реакцию кожного кровотока в предплечье и пальце руки на нагревание кисти, можно заключить, что различие в реакции кожного кровотока на нагревание можно объяснить различием сосудистых структур этих двух участков кожи. Сосудистые структуры пальцев отличаются от сосудистой структуры кожи предплечья. В пальце в большом количестве встречаются артериовенозные анастомозы, их количество в коже предплечья незначительно, а по некоторым данным – в коже предплечья они вообще отсутствуют. Именно артериоло-венулярные анастомозы могут быть ответственны за вызванную теплом вазоконстрикцию пальца.

Согласно Занику и Делани [28], артериоло-венулярные анастомозы пальцев в основном контролируются симпатической системой, и их симпатический тонус по-разному изменяется в зависимости от местной или системной температуры. Одна из возможных причин заключается в том, что преходящая вазоконстрикция артериоло-венулярных анастомозов пальца может быть просто результатом конкуренции нетепловых симпатических и тепловых эффектов контроля гладкомышечных клеток.

3.3. Особенности микроциркуляции крови в коже предплечья у темнокожих студентов после охлаждения

Результаты статистического анализа показателей микроциркуляции крови в коже предплечья темнокожих студентов по сравнению со светлокожими студентами после охлаждения приведены в таблице 3.

Таблица 3

Усредненные статистические и спектральные показатели ЛДФ-грамм кровотока в коже предплечья темнокожих и светлокожих студентов в исходном состоянии и после охлаждения ($M \pm m$, $n = 9$)

Параметры	светлокожие	темнокожие
-----------	-------------	------------

	исходно	после охлаждения	исходно	после охлаждения
ПМ, пф.ед.	8.93±0.59	10.38±1.01	8.03±0.46	16.84±1.11*
СКО, пф. ед.	0.47±0.04	0.67±0.09*	0.68±0.11	1.34±0.19*
КВ, %	5.36±0.32	6.97±1.25	8.07±0.86	9.14±1.99
A(E), пф. ед.	0.08±0.01	0.15±0.02*	0.25±0.05	0.51±0.08*
A(N), пф. ед.	0.15±0.02	0.25±0.04*	0.23±0.03	0.35±0.02*
A(M), пф. ед.	0.10±0.02	0.23±0.04*	0.20±0.04	0.33±0.05*
A(R), пф. ед.	0.09±0.01	0.15±0.02*	0.11±0.05	0.23±0.03*
A(C), пф. ед.	0.22±0.04	0.32±0.09*	0.35±0.02	0.75±0.01*
Ч(E), Гц	0.02±1.29e-3	0.02±9.30e-4	0.02±1.28e-3	0.01±1.09e-3
Ч(N), Гц	0.05±3.41e-3	0.04±3.11e-3	0.04±3.74e-3	0.04±4.01e-3
Ч(M), Гц	0.08±0.01	0.08±0.01	0.09±0.01	0.08±3.97e-3
Ч(R), Гц	0.29±0.03	0.35±0.05	0.28±0.03	0.43±0.04
Ч(C), Гц	1.08±0.05	1.19±0.08	0.97±0.07	0.92±0.05

Примечание: СКО – среднее квадратическое отклонение, КВ – коэффициент вариации, А – амплитуда колебаний в соответствующем частотном диапазоне, Ч – пиковая частота колебаний в соответствующем частотном диапазоне.

Сравнения показатели ЛДФ-грамм кровотока темнокожих и светлокожих студентов в коже предплечья левой руки, не подвергавшейся холодовому воздействию, можно отметить, что в группе темнокожих испытуемых величина ПМ достоверно не отличается по сравнению с группой светлокожих, но обнаруживается более высокий, в 1,45 раза, показатель СКО, что является отражением более высокой подвижности эритроцитов у темнокожих испытуемых. Амплитудно-частотные характеристики ЛДФ-грамм кровотока кожи предплечья левой конечности темнокожих также исходно обнаруживают достоверно более высокие значения амплитуд колеба-

ний в диапазонах эндотелиальной, нейрогенной и миогенной активности (выше в 3,1; 1,5 и 2,0 раза, соответственно), а также в диапазоне пульсовых колебаний (выше в 1,6 раза).

Сравнения показатели ЛДФ-грамм кровотока темнокожих и светлокожих студентов в коже предплечья правой руки, кисть которой подвергалась холодовому воздействию, можно отметить выраженные проявления постхолодовой реактивной гиперемии.

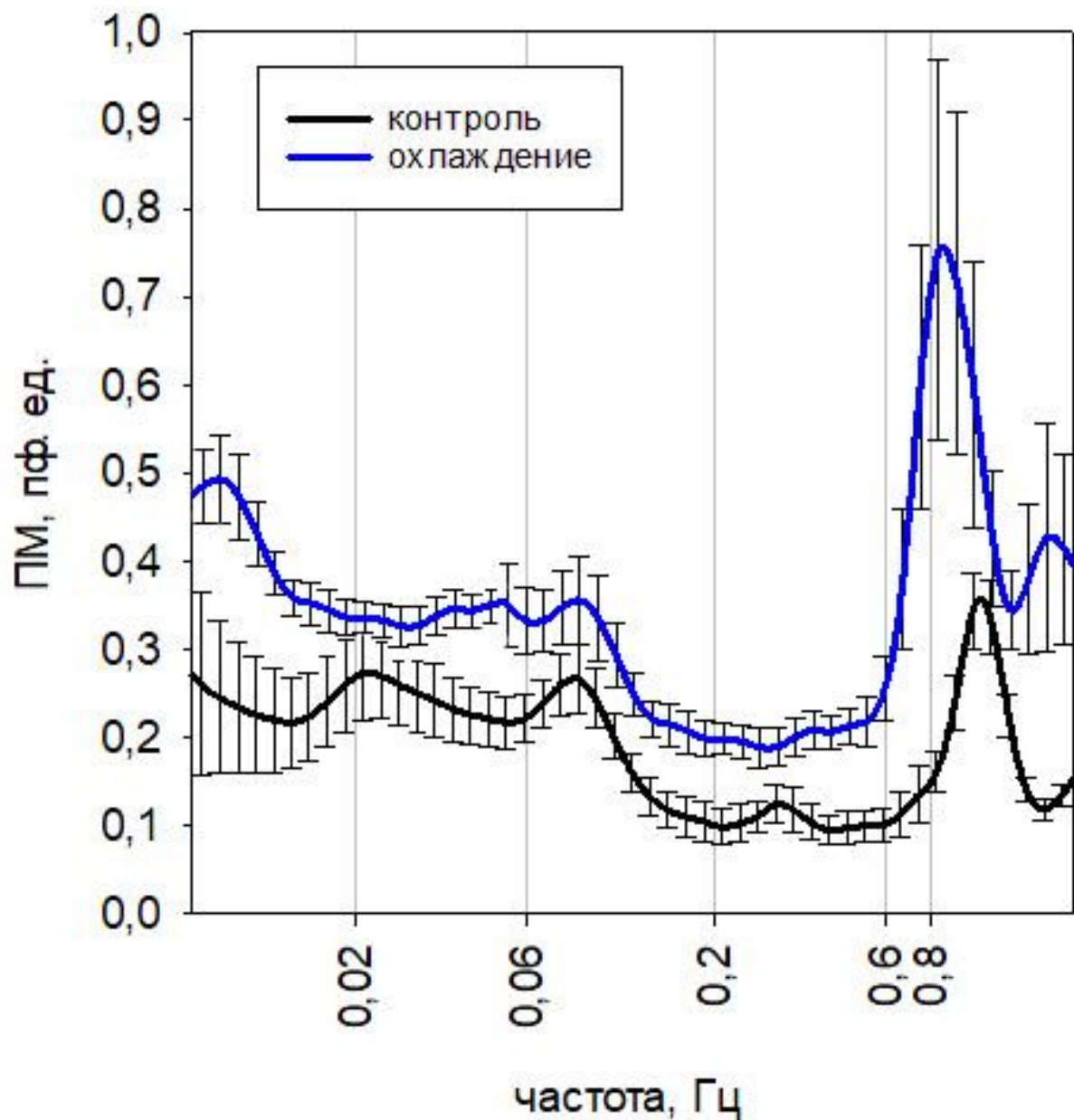


Рис. 7. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм темнокожих студентов после охлаждения. Исследуемая область – предплечье.

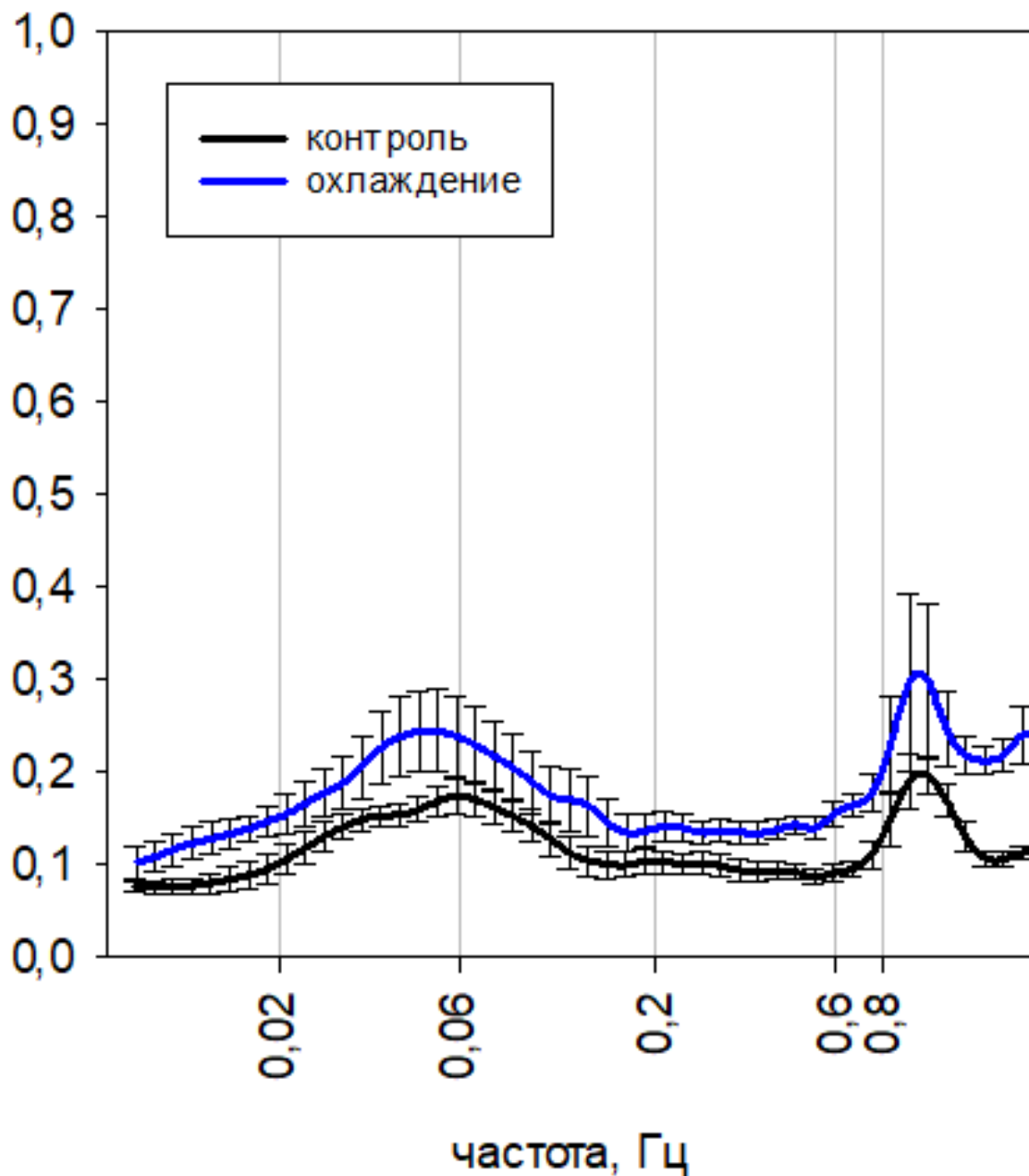


Рис. 8. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм светлокотных студентов после охлаждения. Исследуемая область – предплечье.

У темнокожих студентов постхолодовая гиперемия характеризуется достоверным увеличением базового кровотока в микроциркуляторном русле кожи правого предплечья по сравнению с левым в 2,1 раза. Имеет тенденцию к росту, но не обнаруживает достоверных отличий ПМ в коже предплечья светлокотных испытуемых. Таким образом, базовый кровоток после холодового воздействия на кисть правой руки достоверно изменяется только

в коже предплечья правой руки темнокожих студентов, у светлокожих студентов достоверные изменения базового кровотока отсутствуют.

Результаты измерений СКО амплитуды колебаний кровотока от среднего значения ПМ, также показали разницу между темнокожими и светлокожими испытуемыми. Нами обнаружен достоверный рост СКО как у темнокожих (прирост составил 97%), так и у светлокожих (прирост составил 42,5%) испытуемых. Более высокий показатель прироста СКО в коже предплечья у темнокожих указывает на более глубокую модуляцию их кровотока в ходе постхолодовой гиперемии.

Значение КВ, отражающего соотношение ПМ и СКО, в коже предплечья как темнокожих, так и светлокожих испытуемых достоверно не изменяется.

Анализируя статистические показатели ПМ, СКО и КВ в совокупности, для светлокожих студентов мы отмечаем увеличение СКО при практически не меняющихся ПМ и КВ. На основании таких данных можно сделать вывод, что у светлокожих испытуемых в коже предплечья после охлаждения кисти происходит незначительное усиление микроциркуляции, что обеспечивается, главным образом, активацией активных механизмов контроля кровотока при практически не изменяющейся величине перфузии. В свою очередь, для темнокожих студентов мы отмечаем увеличение ПМ и СКО при практически не меняющемся КВ. На основании таких данных можно сделать вывод, что у темнокожих испытуемых в коже предплечья после охлаждения кисти развивается состояние гиперемии, сопровождающееся активацией активных и пассивных механизмов контроля кровотока, при доминировании пассивных механизмов, что сопровождается значительным ростом перфузии тканей кровью.

Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм кровотока кожи предплечья темнокожих и светлокожих студентов после охлаждения представлены на рис. 7 и 8.

Восстановление кровотока в предплечье после холодового прессорного теста в нашем исследовании, как у темнокожих студентов, так и у светлокожих, сопровождается достоверным увеличением амплитуд колебаний во всех исследуемых частотных диапазонах спектров.

У темнокожих испытуемых амплитуды колебаний ритмов активной модуляции кровотока (Е, N и M) возросли по сравнению с контролем в 2.1, 1.5 и 1.65 раза, соответственно. Таким образом, доминирующим механизмом активного контроля кровотока в предплечье при его восстановлении после охлаждения служит продукция эндотелием вазоактивных веществ, что характеризуется максимальным приростом амплитуд колебаний ритмов эндотелиальной активности. Амплитуды колебаний ритмов пассивной модуляции кровотока (R и C) у темнокожих испытуемых возрастают в 2.1 и 2.2 раза, соответственно. Более чем двукратное увеличение амплитуд колебаний пассивных ритмов указывает на усиление притока крови в артериальную часть и на тенденцию к застойным процессам в веноулярном звене микроциркуляторного русла.

У светлокожих испытуемых амплитуды колебаний в диапазонах Е, N и M также возросли по сравнению с контролем в 1.9, 1.76 и 2.3 раза, соответственно. Таким образом, доминирующим механизмом активного контроля кровотока в предплечье при его восстановлении после охлаждения служат вазомоции, что характеризуется максимальным приростом амплитуд колебаний ритмов миогенной активности. Амплитуды колебаний в диапазонах R и C возрастают в 1.7 и 1.5 раза, соответственно. По сравнению с темнокожими прирост более сглажен, что, возможно, можно объяснить более быстрыми темпами восстановления кровотока светлокожих до исходных значений после холодового воздействия.

Выявленные нами изменения в структуре амплитудно-частотных спектров кровотока в предплечье после холодового прессорного теста кисти руки у студентов со светлым и темным цветом кожи указывают на участие в восстановлении кровотока как активных, так и пассивных механизмов контроля.

Среди активных механизмов контроля преобладающими для темнокожих являются механизмы эндотелиальной активности, а для светлокожих – механизмы миогенной активности.

3.4. Особенности микроциркуляции крови в коже концевой фаланги пальца руки у темнокожих студентов после охлаждения

Результаты статистического анализа данных об особенностях микроциркуляции крови в коже концевой фаланги пальца руки темнокожих студентов по сравнению со светлокожими студентами после охлаждения приведены в таблице 4.

Таблица 4

Усредненные статистические и спектральные показатели ЛДФ-грамм кровотока в коже концевой фаланги пальца руки темнокожих и светлокожих студентов в исходном состоянии и после охлаждения ($M \pm m$, $n = 9$)

Параметры	светлокожие		темнокожие	
	исходно	после охлаждения	исходно	после охлаждения
ПМ, пф.ед.	13.17±1.41	14.37±0.90	8.01±0.30	11.12±0.88*
СКО, пф. ед.	0.84±0.08	0.92±0.07	0.68±0.14	0.64±0.10
КВ, %	7.26±0.95	6.07±0.64	8.33±2.00	5.42±0.68
A(E), пф. ед.	0.22±0.03	0.21±0.02	0.17±0.03	0.17±0.02
A(N), пф. ед.	0.35±0.05	0.30±0.02	0.30±0.07	0.24±0.05
A(M), пф. ед.	0.32±0.05	0.25±0.03	0.31±0.07	0.18±0.04*
A(R), пф. ед.	0.25±0.05	0.15±0.05	0.22±0.06	0.12±0.02*
A(C), пф. ед.	0.50±0.06	0.72±0.08*	0.28±0.04	0.50±0.11*
Ч(E), Гц	0.02±9.15e-4	0.02±8.16e-4	0.02±1.10e-3	0.02±1.04e-3
Ч(N), Гц	0.04±2.79e-3	0.03±2.72e-3	0.04±3.80e-3	0.03±3.98e-3
Ч(M), Гц	0.08±0.01	0.07±3.32e-3	0.08±0.01	0.08±4.13e-3
Ч(R), Гц	0.24±0.04	0.38±0.05	0.36±0.04	0.38±0.05
Ч(C), Гц	1.12±0.05	1.07±0.04	1.00±0.07	0.91±0.05

Примечание: СКО – среднее квадратическое отклонение, КВ – коэффициент вариации, А – амплитуда колебаний в соответствующем частотном диапазоне, Ч – пиковая частота колебаний в соответствующем частотном диапазоне.

Оценивая изменения в показателях ЛДФ-грамм кровотока темнокожих и светлокожих студентов в коже пальца правой руки, подвергавшейся холодовому прессорному тесту, можно отметить, что в группе темнокожих испытуемых величина ПМ в период восстановления характеризуется достоверно более высокими значениями: в 1.4 раза выше по сравнению с контролем. Такие данные свидетельствуют о развивающейся в коже пальца постхолодовой реактивной гиперемии, сопровождающейся увеличением перфузии тканей кровью.

Напротив, в коже пальца светлокожих студентов при восстановлении после охлаждения ПМ не отличается по сравнению с контролем, также как и в предплечье. Однако, в отличие от предплечья, в коже пальца нами не обнаружено достоверных отличий СКО, что, вероятно, свидетельствует о восстановлении кровотока в коже пальца за период эксперимента у светлокожих испытуемых.

Сравнивая статистические показатели ЛДФ-грамм в период восстановления кровотока в коже кисти правой руки после охлаждения, можно отметить, что у темнокожих студентов обнаруживаются признаки постхолодовой реактивной гиперемии, в отличие от светлокожих студентов, кровоток которых, по-видимому, возвращается к исходным значениям быстрее, чем у темнокожих студентов. Для проверки этой гипотезы проведен амплитудно-частотный анализ ЛДФ-грамм.

Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм кровотока кожи концевых фаланг пальцев руки темнокожих и светлокожих студентов после охлаждения представлены на рис. 9 и 10.

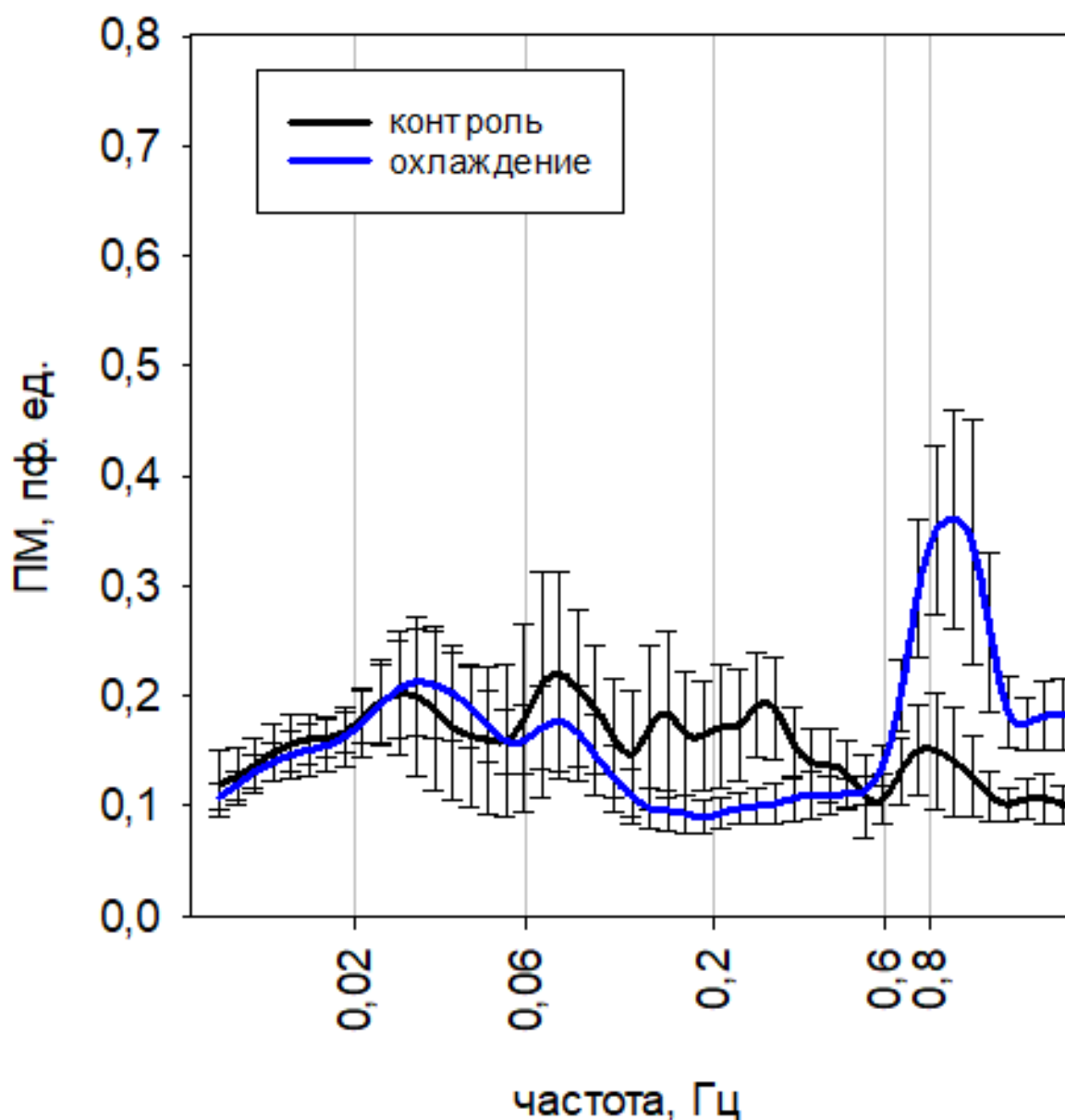


Рис. 9. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм темнокоржих студентов после охлаждения. Исследуемая область – концевая фаланга пальца руки.

Для группы темнокоржих испытуемых достоверные изменения обнаружены в одном из диапазонов активной модуляции кровотока: в диапазоне миогенной активности амплитуда колебаний ниже по сравнению с контролем в 1,74 раза (рис. 9) и в обоих диапазонах пассивной модуляции кровотока (R и C), где амплитуда респираторных колебаний ниже в 1,83 раза, а пульсовых колебаний – выше в 1,79 раза по сравнению с контролем.

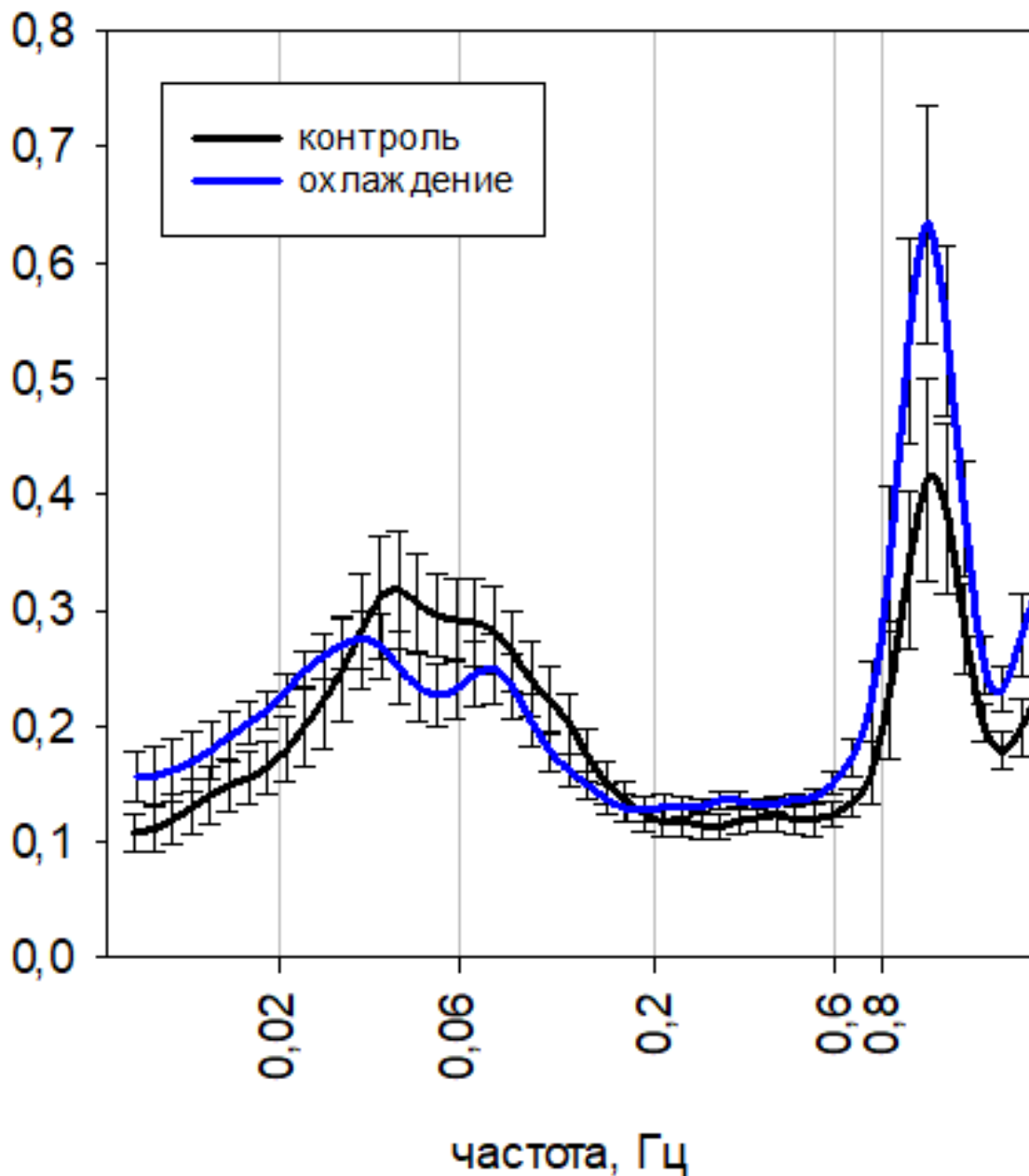


Рис. 10. Амплитудно-частотные характеристики (спектры) ЛДФ-грамм светлоккожих студентов после охлаждения. Исследуемая область – концевая фаланга пальца руки.

Снижение амплитуды миогенных колебаний у темнокожих испытуемых указывает на изменения мышечного тонуса прекапилляров, регулирующих приток крови в нутритивное русло, за счет спонтанной активности их гладкомышечных клеток – вазомоций. После охлаждения, сопровождающегося вазоконстрикцией сосудов микроциркуляторного русла кожи, период постхолодовой реактивной гиперемии протекает с мощной вазодилатацией микрососудов. Более низкая по сравнению с контролем амплитуда миогенно-

го ритма указывает на повышенное мышечное сопротивление и, следовательно, на сниженный нутритивный кровоток. Таким образом, можно сказать, что вазодилатация прекапилляров у темнокожих студентов за период эксперимента не привела к восстановлению кровотока по капиллярному руслу в полном объеме.

Проявлениями вазодилатации, обнаруженными нами у темнокожих испытуемых, являются увеличение амплитуд пульсовых колебаний и снижение амплитуды дыхательной волны. Увеличение амплитуды пульсовой волны при повышении перфузии (ПМ), регистрируемые в одинаковый временной интервал, являются диагностическими признаками увеличения притока артериальной крови в микроциркуляторное русло. На фоне снижения амплитуд миогенных колебаний можно заключить, что притекающая в микроциркуляторное русло артериальная кровь перераспределяется и направляется главным образом по артериоло-венулярным анастомозам.

Одновременное снижение амплитуды дыхательной волны указывает на повышение величины артерио-венозного давления. Таким образом, спектральные показатели дыхательного ритма являются отражением отсутствия застойных явлений в кровеносном русле пальцев темнокожих испытуемых в период восстановления.

В коже концевой фаланги пальца руки светлокожих студентов после охлаждения амплитудно-частотный анализ выявил достоверно более высокие значения амплитуд только в диапазоне пульсовых колебаний (в 1.44 раза по сравнению с контролем) (рис. 10). В отличие от темнокожих испытуемых, у светлокожих нами обнаружены только остаточные проявления увеличенного притока артериальной крови в микроциркуляторное русло, сопровождающие постхолодовую реактивную гиперемия, - увеличение по сравнению с контролем амплитуды кардиоритма.

Таким образом, амплитудно-частотные спектры ЛДФ-грамм концевой фаланги пальца правой руки в период восстановления кровотока после холодного прессорного теста кисти правой руки продемонстрировали, что кро-

воток в коже светлокожих испытуемых восстанавливается практически до исходных значений в пределах времени эксперимента, что выражается в отсутствии различий в амплитудах колебаний по сравнению с контролем во всех частотных диапазонах (за исключением амплитуд колебаний, обусловленных пульсовой волной и демонстрирующих остаточные проявления постхолодовой реактивной гиперемии).

Напротив, кровоток в коже темнокожих испытуемых характеризуется как проявлением реактивной постхолодовой гиперемии (что выражается не только увеличением амплитуд колебаний, вызванных пульсовой волной, но и снижением амплитуд респираторных колебаний), так и проявлением реакции вазоконстрикции, вызванной непосредственно холодовым воздействием (что выражается в снижении амплитуд миогенных колебаний). Таким образом, кровоток в коже темнокожих испытуемых за период эксперимента не успевает восстановиться до исходных значений. По-видимому, холодовой прессорный тест вызывает более глубокие изменения кровотока в коже концевой фаланги пальца темнокожих испытуемых, приводит к длительной постхолодовой реактивной гиперемии и, следовательно, требует большего времени для своего восстановления до исходных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кожный кровоток у человека может существенно меняться в ответ на тепловое и холодное воздействие. В ответ на тепловой стресс развивается терморегуляторная вазодилатация, что позволяет при гипертермии увеличить кожный кровоток до 6-8 л/мин. Такие реакции кровообращения кожи представляют собой жизненно важный аспект нормальной терморегуляции у человека. Вазодилатация и увеличение кровотока кожи (в сочетании с потоотделением) имеют важное значение для рассеивания тепла во время теплового воздействия или физических упражнений. Во время холодного воздействия сужение сосудов в коже уменьшает потерю тепла из организма и защищает от переохлаждения. Таким образом, изменение контроля кожного кровотока имеет важные клинические последствия и может существенно ухудшить способность поддерживать нормальную температуру тела.

Проведенное нами исследование механизмов адаптации микроциркуляции в коже предплечья и концевой фаланги 2-го пальца руки к тепловому и холодному воздействию выявило ряд особенностей реакции кровотока у темнокожих студентов в сравнении со светлокожими.

После теплового воздействия на кисть правой руки у светлокожих студентов из всей совокупности статистических показателей (ПМ, СКО и КВ) нами обнаружено достоверное увеличение только показателя СКО в коже предплечья и не обнаружено изменений в статистических показателях кровотока в коже пальца. При этом у темнокожих студентов обнаружено достоверное увеличение ПМ и СКО со значительным снижением КВ в коже предплечья и снижение показателя СКО в коже пальца.

Амплитудно-частотный анализ выявил достоверное увеличение амплитуд колебаний во всех исследуемых частотных диапазонах в коже предплечья как у светлокожих, так и у темнокожих студентов. Максимальный прирост амплитуд в коже светлокожих студентов отмечается

в диапазоне миогенной активности, а в коже темнокожих – в нейрогенном диапазоне и диапазоне пульсовых колебаний.

В коже пальца как у светлокожих, так и у темнокожих студентов амплитудно-частотный анализ выявил восстановление параметров кровотока после вазоконстрикции, вызванной тепловым воздействием на кисть руки. В коже пальца светлокожих студентов не выявлено достоверных отличий по сравнению с контролем ни в одном из диапазонов, следовательно параметры кровотока светлокожих студентов восстанавливаются до исходных значений в течение времени эксперимента. В то время, как у темнокожих – обнаружено снижение амплитуд колебаний в диапазоне эндотелиальной активности, что, вероятно, обусловлено тем, что при нагревании вазоконстрикция обеспечивается у них более мощным, чем у светлокожих высвобождением эндотелия сосудосуживающих факторов, в результате чего на восстановление кровотока в коже темнокожих требуется больше времени.

Таким образом, после нагревания кисти руки у темнокожих испытуемых в коже предплечья происходит усиление микроциркуляции в результате активации как активных, так и пассивных механизмов контроля кровотока при значительном росте перфузии тканей кровью, а в коже концевой фаланги пальца происходит восстановление показателей кровотока после вазоконстрикции, вызванной нагреванием кисти.

После холодового воздействия на кисть правой руки у светлокожих студентов из всей совокупности статистических показателей обнаружено достоверное увеличение только показателя СКО в коже предплечья и не обнаружено изменений в статистических показателях кровотока в коже пальца. Таким образом, как после нагревания, так и после охлаждения реакция кровотока светлокожих характеризуется только ростом показателя колеблемости кровотока в коже предплечья.

У темнокожих студентов после холодового теста обнаружено достоверное увеличение ПМ и СКО в коже предплечья и увеличение ПМ в коже пальца.

Таким образом, в коже предплечья темнокожих студентов как после нагревания, так и после охлаждения регистрируется увеличение перфузии тканей кровью, а в коже концевой фаланги пальца увеличение перфузии происходит только после охлаждения.

Амплитудно-частотный анализ после холодого прессорного теста выявил достоверное увеличение амплитуд колебаний во всех исследуемых частотных диапазонах в коже предплечья как у светлокожих, так и у темнокожих студентов. Максимальный прирост амплитуд колебаний в коже светлокожих студентов отмечается в диапазоне миогенной активности, а в коже темнокожих студентов – в диапазоне эндотелиальной активности.

В коже пальца как у светлокожих, так и у темнокожих студентов амплитудно-частотный анализ выявил рост амплитуд пульсовых колебаний. Помимо указанных изменений для кровотока в коже концевой фаланги пальца руки темнокожих студентов обнаружено снижение амплитуд колебаний в диапазонах миогенной и респираторной активности. Холодовой прессорный тест, таким образом, вызывает более глубокие изменения кровотока в коже концевой фаланги пальца темнокожих испытуемых, приводит к длительной постхолодовой реактивной гиперемии и требует большего времени для своего восстановления до исходных значений.

ВЫВОДЫ

Результаты, полученные нами в ходе проведенного исследования механизмов адаптации микроциркуляции в коже предплечья и концевой фаланги 2-го пальца руки к тепловому и холодовому воздействию у темнокожих студентов в сравнении со светлокожими, позволяют сделать следующие выводы:

1. наблюдаются более выраженные реакции кровотока в коже предплечья и пальца на нагревание и охлаждение у темнокожих испытуемых, выражающиеся в увеличении перфузии тканей кровью и усилении модуляций кровотока;
2. тепловое воздействие у темнокожих студентов приводит к увеличению ПМ и СКО в коже предплечья и к снижению СКО в коже пальца, у светлокожих - только к увеличению СКО в коже предплечья; холодовое воздействие у темнокожих студентов приводит к росту ПМ и СКО в коже предплечья и к росту ПМ в коже пальца, у светлокожих студентов - только к увеличению СКО в коже предплечья;
3. амплитудно-частотный анализ выявил достоверное увеличение амплитуд колебаний во всех исследуемых частотных диапазонах в коже предплечья светлокожих и темнокожих студентов как после нагревания, так и после охлаждения, что указывает на участие в модуляции кровотока активных и пассивных механизмов регуляции;
4. в коже предплечья светлокожих студентов максимальный прирост амплитуд колебаний наблюдается в диапазоне миогенной активности, как после нагревания, так и после охлаждения; в коже предплечья темнокожих студентов после нагревания максимальный прирост амплитуд колебаний наблюдается в нейрогенном диапазоне и диапазоне пульсовых колебаний, после охлаждения – в диапазоне эндотелиальной активности;

5. в коже концевой фаланги пальца руки у светлокожих и темнокожих студентов обнаружено восстановление показателей кровотока после вазоконстрикции, вызванной нагреванием кисти;
6. для темнокожих студентов нами отмечено более мощное по сравнению со светлокожими высвобождение эндотелием сосудосуживающих факторов при нагревании кисти руки, в результате чего кровоток в коже пальца после нагревания не успевает восстановиться за время эксперимента; у светлокожих студентов отмечено полное восстановление кровотока в коже пальца за время эксперимента;
7. в коже концевой фаланги пальца руки после холодового воздействия у светлокожих и темнокожих студентов обнаружена постхолодовая реактивная гиперемия, сопровождающаяся увеличением амплитуды кардиоритма;
8. обнаружено, что холодовой прессорный тест вызывает более глубокие изменения кровотока в коже концевой фаланги пальца темнокожих испытуемых, что приводит к более длительной по сравнению со светлокожими постхолодовой реактивной гиперемии и требует большего времени для восстановления до исходных значений;
9. различия в реакции кожного кровотока темнокожих испытуемых в предплечье и пальце руки на нагревание и охлаждение с одной стороны можно объяснить разной структурой микроциркуляторного русла участков кожи (большим количеством артериоло-венулярных анастомозов в коже пальцев и их незначительным количеством в коже предплечья), с другой стороны – особенностями адаптаций к температурным условиям стран их проживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, Ю.И. Гистология, цитология и эмбриология: учебник / Афанасьев Ю.И., Юрина Н.А., Котовский Е.Ф. [и др.]. – Издание 5-е, переработанное и дополненное. – Москва: Медицина, 2002. – 744 с.
2. Бойчук, Н.В. Гистология: Учебник для вузов / Н.В. Бойчук, Р.Р. Исламов, С.Л. Кузнецов [и др.]. – Москва : ГЭОТАР-МЕД, 2001.- 672 с.
3. Брин, В.Б. Основы физиологии человека [Текст] / В.Б. Брин, И.А. Варта-
нян, С.Б. Данияров [и др.]; под ред. акад. РАМН Б.И. Ткаченко. - Санкт-
Петербург: МФИН, 1994. – Т.1 – 567 с.
4. Быков, В.Л. Частная гистология человека: краткий обзорный курс. – Изда-
ние 2-е, переработанное и дополненное. – Санкт-Петербург : СОТИС,
1997. – 300 с.
5. Гелашвили, П.А. Кожа человека (анатомия, гистология, гистопатология):
учебное пособие для студентов медицинских вузов / П.А. Гелашвили, А.А.
Супильников, В.А. Плохова – Самара: НОУ ВПО МИ «РЕАВИЗ», 2013. –
168 с.
6. Дзгоева, Ф.У., Кутырина, И.М. Тромбоксан А2 и простаглицлин у больных
хроническим гломерулонефритом и ишемической болезнью сердца в ус-
ловиях нефротоксического действия рентгеноконтрастных средств // Про-
тективное действие антагонистов кальция. - 2000. - т. 6. - С. 42-45.
7. Дремина, Н.Н. Эндотелины в норме и патологии / Н.Н. Дремина, М.Г.
Шурыгин, И.А. Шурыгина // Международный журнал прикладных и фун-
даментальных исследований. – 2016. – № 10-2. – С. 210-21.
8. Клиническая физиология сердца (раздел: Регуляция кровообращения)
[Электронный ресурс] // MedBookAide – путеводитель в мире медицин-
ской литературы / URL:

- <http://medbookaide.ru/books/fold9001/book2039/p4.php#head22> (дата обращения: 28.04.2020).
9. Козлов, В.И. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови. Методическое пособие [Текст] / В.И. Козлов. – М.: РУДН ГНЦ, 2012. – 32 с.
 10. Кровоснабжение органов и тканей. Сопряженные функции сосудов. Микроциркуляция (микрогемодинамика) [Электронный ресурс] // MedUniver – все для изучения медицины студентами, врачами, аспирантами / URL: <https://meduniver.com/Medical/Physiology/398.html> (дата обращения: 11.05.2020).
 11. Коняева Т.Н. и др. Тепловая проба с линейно нарастающей температурой нагрева в исследованиях механизмов регуляции системы микроциркуляции кожи человека [Текст] // Коняева Т.Н., Красников Г.В., Пискунова Г.М., Сидоров В.В., Танканаг А.В., Чемерис Н.К. – Вестник новых медицинских технологий. – 2002. – Т. IX. – № 4. – С. 89-91.
 12. Крупаткин, А.И., Сидоров, В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей [Текст] // А.И.Крупаткин, В.В. Сидоров. – Москва: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. – 256 с.
 13. Манухина, Е.Б., Малышев, И.Ю. Роль оксида азота в развитии и предупреждении дисфункции эндотелия [Электронный ресурс] // Вестник ВГМУ. 2003. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-okside-azota-v-razvitii-i-preduprezhdenii-disfunktsii-endoteliya> (дата обращения: 22.04.2020).
 14. Поленов, С.А. Основы микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2008. – №1. – С. 5-19.

- 15.Регуляция системного и регионарного кровообращения [Электронный ресурс] // do2.vsmu.by URL: <https://do2.vsmu.by/mod/page/view.php?id=32815> (дата обращения: 11.05.2020).
- 16.Сапин, М.Р. Анатомия человека. - Москва: «Медицина», 2001. – Т.2 - 549 с.
- 17.Скрипкин, Ю.К. Кожные и венерические болезни: учебник. // Ю. К. Скрипкин, А. А. Кубанова, В. Г. Акимов. – 2011. – 544 с.
- 18.Справочник по неврологии [Электронный ресурс] // neurodoc.ru - справочник по неврологии / URL: <http://neurodoc.ru/anatomy/mexanoreceptorory.html#i-7> (дата обращения: 26.04.2020).
- 19.Физиология кровообращения: Физиология сосудистой системы [Текст] // Под ред. Б.И. Ткаченко. – Л.: Наука, 1984. – С. 652.
- 20.Физиология человека [Текст] / Под редакцией В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. - Серия: Учебная литература для студентов медицинских вузов. – М.: Медицина, 2007. - 656 с.
- 21.Чернух, Л.М. Микроциркуляция [Текст] / Л.М. Чернух, П.Я. Александров, О.В. Алексеев – М.: Медицина, 1984. – С. 432.
- 22.Abdulhameed Y.A., Lancaster G., McClintock P.V.E. and Stefanovska A. On the suitability of laser-Doppler flowmetry for capturing microvascular blood flow dynamics from darkly pigmented skin // Physiological Measurement, 2019 – 11 с.
- 23.Bergersen T.K., Eriksen M., Walloe L. Effect of local warming on hand and finger artery blood velocities. // Am J Physiol. - 1995. - №269. - P. 325- 330.
- 24.Lafleche A.B., Pannier B.M., Laloux B. et al. Arterial response during cold pressor test in borderline hypertension // Am. J. Physiol. - 1998. - V. 275. - P. 409-415.

25. Nagasaka T., Hirata K., Nunomura T. Contribution of arteriovenous anastomoses to vasoconstriction induced by local heating of the human finger. // Jpn J Physiol. 1987. - № 37(3). - P. 425- 433.
26. Nagasaka, T. Skin vasoconstriction induced by local skin heating. // Jpn J Physiol. 1987. - № 37(5). - P. 761- 772.
27. Newberry, P.D. Effect of ambient temperature on venous reactivity to hydrostatic stress. // J. Appl. Physiol., 1970. - № 30 P. 54-57.
28. Zanick D.C., Delaney J.P. Temperature influences on arterio-venous anastomoses. // PSEBM. – 2003. - №144. - P. 616-620.