

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
( Н И У « Б е л Г У » )

**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**Кафедра экологии, физиологии и биологической эволюции**

**ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ  
МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ**

**Выпускная квалификационная работа бакалавра**

**очной формы обучения 4 курса группы 07001214,**

**направление подготовки 06.03.01 Биология**

**Шараповой Виты Викторовны**

Научный руководитель

кандидат биологических наук

Зубарева Е. В.

БЕЛГОРОД 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
<b>Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>6</b>
1.1. Общая характеристика структуры микроциркуляторного русла .....	6
1.1.2 Регуляция микроциркуляторного русла.....	11
1.1.3. Механизм регуляции тонуса сосудов .....	15
1.2. Вариабельность сердечного ритма.....	17
1.2.1 Физиологические особенности вариабельности сердечного ритма.....	17
1.3.1. Механизм регуляции сердечного ритма.....	19
1.3.2. Особенности вариабельности сердечного ритма в юношеском возрасте .....	21
1.3.3. Нервная система и вариабельность сердечного ритма .....	23
<b>Глава 2.МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ...Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.1. Измерение основных соматометрических показателей <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.2 Метод оценки вариабельности сердечного ритма..... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.3. Оценка показателей микроциркуляторного русла кожи .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4 Методы статистической обработки данных..... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
<b>Глава 3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ .....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1 Анализ соматометрических показателей и их характеристика.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

3.2 Анализ реактивности микрососудов кожи у девушек с разным тонусом вегетативной нервной системы .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ВЫВОДЫ .....	25
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	26

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

BCP – вариабельность сердечного ритма

ЛДФ – лазерная доплеровская флоуметрия

M – среднее арифметическое значение

m – стандартная ошибка среднего

MT – миогенный тонус

MЦ – микроциркуляция

MЦP – микроциркуляторное русло

HT – нейрогенный тонус

ПМ – показатель микроциркуляции

ПШ – показатель шунтирования

TP – общая мощность спектра

ЭКГ – электрокардиограмма

$(Aэ/3σ)100\%$  – нормированная амплитуда эндотелиального ритма

$(Aн/3σ)100\%$  – нормированная амплитуда нейрогенного ритма

$(Am/3σ)100\%$  – нормированная амплитуда миогенного ритма

$(Ad/3σ)100\%$  – нормированная амплитуда дыхательного ритма

$(Ac/3σ)100\%$  – нормированная амплитуда кардиального ритма

Kv – коэффициент вариации

LF – низкочастотный диапазон

HF – высокочастотный диапазон

$σ$  – среднее колебание перфузии относительно значения потока крови M

## ВВЕДЕНИЕ

В микрососудистом русле происходит трансапиллярный обмен, обеспечивающий необходимый тканевый гомеостаз (Поленов, 2008). Нормальное функционирование органов и организма в целом определено условием отдельных связей и регулируемыми механизмами перфузии ткани кровью (Тихонова, Танканаг, Чемерис, 2009). Микрососуды постоянно находятся под контролем как центральных, так и гуморальных факторов регуляции кровотока, однако они имеют индивидуальную специфику и до конца не изучены (Кирилина, 2010).

Благодаря современным техническим успехам, стало возможным применение современных методов исследования микроциркуляции для решения практических задач. В качестве одного из основных методов изучения микроциркуляции применяется лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), которая позволяет осуществить интегральную инвазионную оценку состояния микрососудов в органах и тканях. (Цехмистренко, Станишевская, 2006). При исследовании микроциркуляторной системы методом ЛДФ для определения адаптационных резервов и оценочных механизмов регуляции тканевого кровотока использовали функциональные пробы, среди которых широкое распространение получила окклюзионная проба (Тихонова, Косякова, Чемерис, 2005).

Целью работы явилось изучение индивидуальных адаптивных возможностей системы микроциркуляции у девушек с разным тонусом вегетативной нервной системы при применении окклюзионной пробы.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) изучить особенности функционирования микроциркуляторного русла кожи до окклюзии и после постокклюзионной реакции у лиц с разными типами variability сердечного ритма и типами высшей нервной деятельности;

2) оценить особенности функционирования микрососудистого русла в зависимости от тонуса вегетативной нервной системы при использовании датчиков красного и инфракрасного областей спектров.

## Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Общая характеристика структуры микроциркуляторного русла

Микроциркуляция (МЦ) (от греч.*mikros* – малый и лат.*circulacio* – круговорот) упорядоченное движение крови и лимфы по микрососудам и капиллярам, перемещение через стенки капилляров кислорода и углекислого газа, питательных веществ, продуктов метаболизма, ионов и биологически активных веществ, а также движение жидкости между сосудами. Термин «микроциркуляция» был предложен в 1954 году на национальном конгрессе морфологов, физиологов, биохимиков и клиницистов в Гальвестоне (США). Значительный вклад в развитие учения о микроциркуляции сделал наш современник О.М.Чернух. В частности, он ввел в науку такое понятие как функциональный элемент микроциркуляции органа. Функциональный элемент микроциркуляции органа – это взаимосвязанный комплекс кровеносных и лимфатических сосудов, специфических клеток органа, волокон соединительной ткани, а также нервных окончаний и физиологических веществ, которые регулируют жизнедеятельность данного участка (Сиротин, Жмеренецкий, 2008).

В современном понимании микроциркуляция включает в себя:

1. Движение крови в капиллярах и в окружающих микрососудах с диаметром в 10-12 раз превышающих размер эритроцитов (микрогемоциркуляция).
2. Движение лимфы в начальных отделах лимфатического русла.
3. Движение жидкости в интерстициальном пространстве (Козлов, Гурова, 2000).

Существует морфологическое понятие микроциркуляторное русло (МЦР). Оно состоит из трех звеньев:

- 1) Первое звено имеет название гемомикроциркуляторного русла. Обеспечивает циркуляцию крови и включает 6 компонентов: артериолы,

прекапилляры, капилляры, посткапиллярные венулы, венулы и артериоло-венулярные анастомозы. Каждый компонент МЦ обладает специфической особенностью по функции и структуре.

Артериола – самая маленькая из мышечных артерий диаметром менее 100 мкм. Для сосудов данного типа характерно наличие выраженной мышечной оболочки, т.е. более одного мышечного слоя.

Прекапилляры – тонкие микрососуды диаметром около 15 мкм, отходящие от артериол и переходящие в гемокапилляры (по которым кровь транспортируется из артериального звена в венозное).

Капилляр – является самым тонким сосудом, его диаметр составляет 5-10 мкм, образован одним слоем эндотелиальных клеток. Толщина стенки капилляра не превышает 1 мкм.

Посткапиллярные венулы – сосуды диаметром 12-30 мкм, образующиеся в результате слияния нескольких капилляров. В органах иммунной системы имеются посткапиллярные венулы с эндотелием, который служит местом выхода лимфоцитов из сосудистого русла.

Венулы – отводящие сосуды в системе. Они формируются от слияния нескольких посткапилляров. Большинство венул сопровождают соответствующую артериолу и диаметр их превышает просвет артериол в 2-3 раза. Гибкость стенок венул создает условия для депонирования крови в венулярном сегменте. Поэтому венулы относят к сосудам емкостного типа. Важным компонентом МЦР являются артериоло-венулярные шунты или артерио-венозные анастомозы, которые осуществляют регуляцию капиллярного кровотока, обеспечивают эффективное распределение кровотока между органами и внутри них, поддерживают уровень системного и регионального давления крови (Куприянов, Караганов, Козлов, 1975).

2) Второе звено – это транспорт веществ в интерстициальных пространствах тканей. Четкого представления об их организации еще не сложилось. Описаны такие пути транспорта тканевой жидкости:



перикапиллярные, паравазальные и другие. Интерстициальные пространства заполнены гелем, коллагеновыми волокнами, которые направляют перемещение тканевой жидкости, макрофагальными и иммунокомпонентными клетками. В интерстиции создается определенное гидростатическое и онкотическое давление.

3) Третье звено – лимфатические капилляры. Они являются начальным звеном лимфатической системы. Образуют обширную сеть во всех органах и тканях, кроме головного и спинного мозга, мозговых оболочек и др. Диаметр лимфатических капилляров варьирует от 10 до 200 мкм. Их стенки тоньше стенок капилляров и, как правило, не имеют базальной мембраны. Межэндотелиальные щели – основной путь проникновения тканевой жидкости в просвет лимфатических капилляров. Эти щели могут расширяться. Лимфатические капилляры начинаются пальцеобразными выростами либо петлеобразными. На некотором расстоянии от начала капилляра в его просвете появляются клапаны, которые определяют направление тока лимфы.

Структура МЦР схематично представлена на рис. 1.

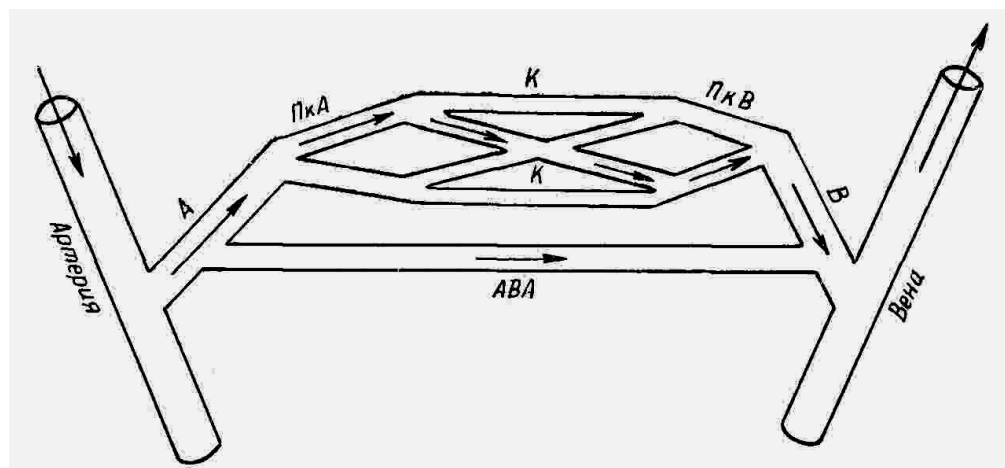


Рис. 1. Структурные компоненты МЦР: А – артериола, ПкА – прекапиллярная артериола; К – капилляр; ПкВ – посткапиллярная венола; В – венола; АВА – артериоло-веноулярный анастомоз (Сиротин, Жмеренецкий, 2008).

С функциональной точки зрения, артериолы являются основным регулятором общего сосудистого сопротивления и местного кровотока. Метартериолы (прекапиллярные сфинкеры, терминальные артериолы) определяют число перфузируемых (открытых) капилляров и общую площадь капиллярной поверхности, которая участвует в обмене веществ. Вены не только истощают капиллярное русло, но и выполняют емкостную функцию. Они являются важным местом для обмена макромолекул и жидкости. Изменение соотношения прекапиллярного и посткапиллярного кровотока сопротивления артериолы и вены способны контролировать среднее капиллярное гидростатическое давление и транскапиллярный обмен (Поленов, 2008).

Описывая кровоток в МЦР, можно отметить, что в артериолах выявляется быстрый ламинарный ток крови с концентрацией форменных элементов в осевом слое, а плазмы – в пристеночном. Проходя через капилляры, форменные элементы, в первую очередь эритроциты, искажаются, они отделены друг от друга плазменными слоями. При выходе из капилляра эритроциты «выпадают» из него. В посткапиллярных венах скорость кровотока низкая, форменные элементы распространены в потоке крови. В более крупных венах кровоток вновь становится ламинарным (Сиротин, Жмеренецкий, 2008).

Основная функция системы МЦ поддержание перфузии тканей на уровне, необходимом для осуществления тканевого метаболизма. Тем не менее остальные процессы, происходящие на периферии, рассматриваются как вторичные, в целом зависящие от структурного и функционального состояния сосудистых элементов МЦР. Структура МЦР в различных органах имеет свои особенности и зависит от функционального предназначения органа. Однако в целом оно подчинено единым закономерностям.

Кожа, за исключением верхнего слоя – эпидермиса, густо насыщена лимфатическими и кровеносными микрососудами, капиллярами, что обеспечивает её основные функции – барьерную и терморегуляторную.

Практически все проблемы кожи появляются из-за нарушения микроциркуляции или сопровождаются ими. Микроциркуляция переменна в различных участках кожного покрова, находится в прямой зависимости от: глубины залегания микрососудов, структурной особенности микроциркуляторного русла этой области; плотности функционирующих капилляров. Тип микроциркуляции в коже отражает вегетативный статус индивидуума и тесно коррелирует со сдвигами в центральной гемодинамике (кровообращении). Параметры микроциркуляции кожи могут использоваться как диагностические и прогностические критерии в совокупной оценке общего физиологического состояния организма (Аитова, Хайновская, Дунтау, 2004).

По результатам лазерной доплеровской флоуметрии выделяют три типа микроциркуляции в коже. *Гипоемический*, когда увеличен нейрогенный компонент, т.е. повышается активность симпатических адренергических влияний, следствием чего является спазм артериол и уменьшение кожного кровотока. *Мезоемический*, который характеризуется оптимально сбалансированным взаимодействием («рабочим равновесием» эндотелийзависимого, эндотелийнезависимого и нейрогенного компонентов). *Гиперемический*, когда уменьшена активность эндотелийнезависимого компонента, слабо выражена к потребностям кожи приспособительная веноло-артериолярная реакция, приводящая к затруднению венозного оттока (Козлов и др., 2012).

Микроциркуляторное русло одна из важнейших систем, в которых заболевание проявляется на ранних этапах. Нарушение МЦ могут быть не только вторичными, но и первичными причинами многих заболеваний (Serné, 2007).

Изменения микроциркуляции кожи предшествуют проявлению патологического процесса. Например, при воспалении сальных желез возникает повышенное кровенаполнение капилляров, которое приводит к стойкой эритеме, гипоксии и застойным явлениям в коже. Варикозная болезнь всегда

начинается с изменений в микроциркуляторном русле: замедляется приток и отток крови в капиллярах, затем добавляются явления гипоксии. Серьёзное ухудшение микроциркуляции наблюдается после пластических операций, когда значительно меняется гемодинамика кожи. Это может привести к развитию стойкой эритемы, отёку, некротическим явлениям (Орасмяэ, Глаголева, 2011).

### 1.1.2 Регуляция микроциркуляторного русла

Регуляция микроциркуляторного русла является одним из трудных аспектов физиологии сосудистого русла. Влияние регуляторных факторов на функции капилляров может быть выполнена двумя путями – непосредственно бессинаптическим путем и косвенно через мышечно-содержащие сосуды (Крупаткин, Сидоров, 2005).

Схема типичной микроциркуляторной единицы представлена на рис. 2.

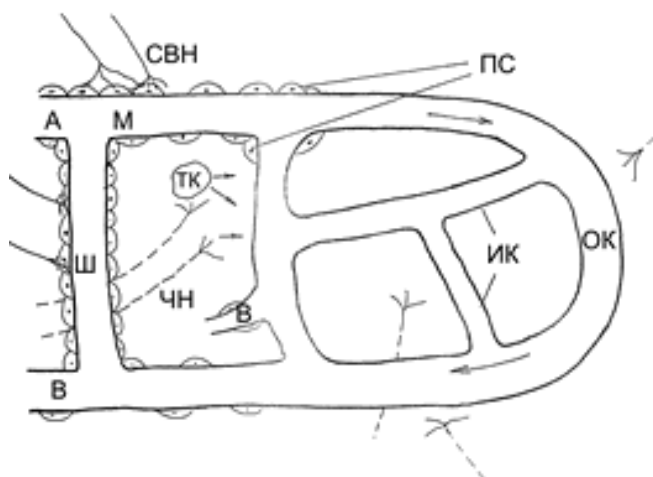


Рис. 2. Кожная микроциркуляторная единица типового состава: А – артериола, В – веноула, М – метартериола, Ш – артериоло-веноулярный шунт, ПС – прекапиллярный сфинктер, ОК – основной канал, ИК – истинные капилляры, ТК – тучные клетки, СВН – симпатические вазомоторные нервные окончания, ЧН – чувствительные нервные окончания (Зайчик, Чурилову, 2001).

Соотношение разных видов регуляции тонуса микрососудов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные направления регуляции тонуса микрососудов в физиологических условиях

Сосуд	Нервная регуляция	Эндотелий-зависимая вазодилатация	Миогенная регуляция
Мелкая артерия	+++	++ (NO)	+/-
Артериола	++	+ (NO, EDHF)	+
Метартериола	+	+ (EDHF, NO ?)	++
Прекапиллярный сфинктер	-	+ (EDHF, NO ?)	+++
Истинные капилляр	-	-	-
Безмышечная венаула	-	-	-
Мелкая вена	+	+/-	+/-
Артериоло-венулярный анастомоз	+++	+/-(?)	-

Примечание: нервная регуляция обозначает синаптическую и нейро-гладкомышечную регуляцию, которая прогрессивно убывает с исчезновением миоцитов. Эндотелий-зависимая вазодилатация и миогенная регуляция осуществляется за счет воздействия факторов гормональной и местной регуляции на рецепторы эндотелиоцитов и миоцитов. Количество "+" обозначает степень выраженности регуляции. NO - зависимая вазодилатация наиболее выражена на уровне мелких артерий и более крупных сосудов (Крупаткин, Сидоров, 2005).

Как подчеркивает Г.И. Мчедлишвили (1994), из всех сосудов микроциркуляторного русла только артериолы обладают механизмами активного сокращения. Капилляры не иннервируются и лишены гладкомышечных элементов, также большинство метартериол не снабжено нервами. В венаулах иннервация и сократительные элементы представлены относительно скудно: в собирательных венаулах имеются лишь рассеянные гладкие миоциты. Поэтому важную роль в определении давления и кровотока в микроциркуляторном русле играет состояние внутриорганных артериол.

В микроциркуляции существует две противоположные контролирующие системы: нервные механизмы, которые способны ограничить кровоснабжение тканей и местные механизмы, которые поддерживают кровоток на уровне,

необходимом для оптимальной функции каждого органа и организма в целом (Поленов, 2008).

МЦР находится постоянно под многоуровневым контролем, который работает через систему обратных связей. Миогенные, нейрогенные и эндотелиальные колебания являются активными факторами в регуляции кровотока, а дыхательные и пульсовые колебания – пассивными. В ходе самоорганизации кровотока миогенные и нейрогенные механизмы контроля, эндотелиальная деятельность, дыхательные и пульсовые ритмы формируют отрицательные и положительные обратные связи (Поленов, 2008).

Миогенные колебания синусоидальные. Во многих литературных источниках говорится о том, что было доказано целесообразность вазомоторных колебаний тем, что при синусоидальном изменении мышечного тонуса сопротивление сосуда току жидкости меньше, чем сопротивление сосуда, имеющего постоянный диаметр (Meyer et al., 2003). В физиологическом соединении управления микрокровоотока, именно, миогенный тонус является последним звеном контроля микрокровоотока перед капиллярным руслом. Важным диагностическим параметром миогенных колебаний кожного кровотока является частота. Для миогенных колебаний, которые определяются гладкими мышечными волокнами прекапилляров, частоты колебания находятся в диапазоне 4-7 колеб./мин (Meyer et al., 2003). Данный диапазон колебаний соответствует коже на задней поверхности пальцев руки и ноги, а также коже на предплечье. Диагностическое значение миогенных колебаний является оценка состояния мышечного тонуса прекапилляров, регулирующего приток крови в нутритивное русло (Крупаткин, Сидоров, 2005).

Нейрогенные колебания связаны с симпатическими терморегуляторными влияниями на гладкие мышцы артериол и артериолярных участков артериоло-венулярных анастомозов. Нейрогенная симпатическая активность накладывается на миогенные вазомоции резистивных микрососудов и подчиняет их. Характерные колебания 1,2-3 колеб./мин. В регуляции

микрокровотока кожи нейрогенная терморегуляторная активность зависит от окружающей температуры и психического состояния человека (Крупаткин, Сидоров, 2005). У здоровых людей нейрогенная активность проявляется в виде асимметричных фрагментов снижения перфузии в результате проявления симпатической активности. В физиологическом соединении нейрогенного и миогенного контроля микрокровотока в микроциркуляторном русле на задней поверхности пальца руки при повышенном миогенном тоне прекапилляров и при повышении амплитуд колебания кровотока в нейрогенном диапазоне происходит увеличение шунтирующего кровотока через артериоло-венулярные анастомозы. Диагностическое значение нейрогенных колебаний – возможность оценить периферическое сопротивление артериол, способность усиления кровотока по артериоло-венулярному анастомозу при повышении миогенного тону (Крупаткин, Сидоров, 2005).

Эндотелиальные колебания более медленные по сравнению с частотой миогенных и нейрогенных колебаний, обусловлены выбросом вазодилатора NO (Stefanovska, Bracic, 1999). Многие ученые в своих исследованиях выявили, что среди двух вазодилаторов, выделяемых эндотелием – оксида азота и простагландинов, именно оксид азота ответственен за сокращение миоцитов с частотой 0,01 Гц. Оксид азота играет важную роль в регуляции давления и распределения потока крови. Диагностическое значение эндотелиальных колебаний является оценка эндотелиальной дисфункции (Kvandel, Stefanovska, Veber, 2003).

Пульсовая волна, приносящаяся в микроциркуляторное русло со стороны артерий, имеет амплитуду, которая изменяется в зависимости от состояния тону сосудов. Величина амплитуды пульсовой волны связана с амплитудами миогенных и нейрогенных механизмов, от которых зависит диаметр просветов артериол и артериоло-венулярных шунтов. Диагностическое значение пульсовой волны – это способность увеличения амплитуды пульсовой волны при повышении перфузии, регистрация в одинаковый временной интервал,

означает увеличение притока в МЦР артериальной крови (Ослякова, Терехин, Тихомирова, 2010).

Местом локализации дыхательных волн в МЦР являются венулы. У здоровых людей дыхательные волны регистрируют на нижних конечностях, потому что здесь отмечается более высокое артериальное сопротивление. Диагностическое значение дыхательной волны – связь с венулярным звеном. Ухудшение оттока крови из МЦР может привести к увеличению объема крови в венулярном звене. Это приводит к росту амплитуды дыхательной волны. Иногда активация дыхательных ритмов связана с колебаниями стенок венул (Сорокин, 2010).

### 1.1.3. Механизм регуляции тонуса сосудов

Выделяют три важных группы факторов, которые оказывают влияние на тонус сосудов: локальные (местные), гормональные и нейрогенные (рис. 3).

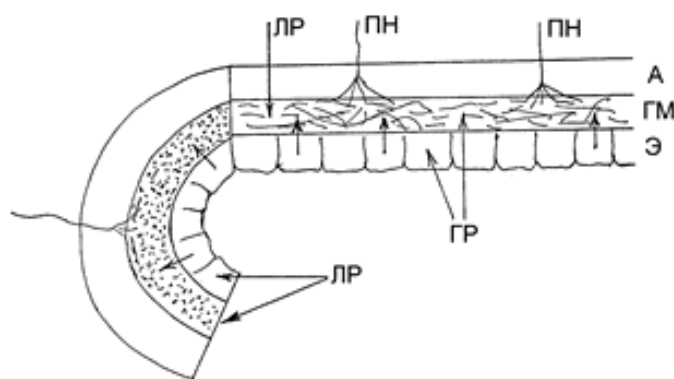


Рис. 3. Факторы регуляции сосудистого тонуса: ГР – факторы гуморальной регуляции, влияющие на миоциты и эндотелий, ЛР – факторы локальной регуляции, влияющие на миоциты и эндотелий, ПН – периваскулярные нервные волокна, А – адвентициальная наружная оболочка сосудистой стенки, ГМ – гладкомышечные клетки средней оболочки, Э – эндотелиальные клетки внутренней оболочки, секретирующие эндотелиальные факторы (Крупаткин, Сидоров, 2005).



По мнению многих авторов, для данных клинических исследований необходимо учитывать четвертый фактор, который также оказывает влияние на тонус – реактивность самих гладкомышечных клеток (Крупаткин, 2006).

В гормональной системе регуляция выполняется за счет физиологических активных компонентов, циркулирующих в крови. Гормональные факторы воздействуют на тонус артериол незначительно и поучают клиническое значение при регионарных формах заболевания. Они, в первую очередь, влияют на параметры системной гемодинамики. Главную роль в гормональной системы регуляции играют ангиотезины, катехоламины, вазопрессин или антидиуретический гормон (АДГ). Факторы местной и гормональной регуляции могут оказывать влияние как миогенным, так и эндотелийзависимым путем.

Нейрогенное влияние в МЦР представлены ограниченно и обращены, в первую очередь, артериолам. Они исходят от симпатических вазоконстрикторов, терминали которых выделяют норадреналин, работающие через  $\beta_1$ -рецепторы, и симпатических вазодилататоров, выделяющих адреналин, действующий через  $\beta_2$ -рецепторы гладкомышечных клеток (Козлов, 2006).

Местные факторы связаны с релаксацией и проявляется расслаблением гладкомышечных клеток. Комбинация гистометаболических, гистомеханических и кислородозависимых механизмов поддерживает местный микроциркуляторный кровоток (Зайчик, Чурилов, 2001). Кислородозависимый механизм основан на способности гладкомышечных клеток расслабляться при усиленной физической деятельности без метаболических вазодилататоров. Гистомеханический механизм связан с активной миогенной реакцией в ответ на растяжение гладкомышечных клеток при изменении трансмурального давления (Родионов, Тарасова, Кошелев, 2001). Гистометаболический механизм основан на местных факторах метаболической природы, которая оказывает влияние на гладкомышечные клетки и эндотелиоциты.

С возрастом у практически здоровых людей происходят изменения периферической гемоциркуляции, которые проявляются депрессией миогенного и эндотелиального компонентов контроля микрососудистого кровотока, снижение резерва микрокровотока (Васильев, Стрельцова, 2012).

## **1.2. Вариабельность сердечного ритма**

### **1.2.1 Физиологические особенности вариабельности сердечного ритма**

Под вариабельностью сердечного ритма (ВСР) понимают изменчивость продолжительности интервалов R-R последовательных циклов сердечных сокращений за определенный период времени (Яблчанский, Мартыненко, 2010).

Ритм сердца определяется свойством автоматизма, т.е. способностью клеток проводящей системы сердца, спонтанно активироваться и вызывать сокращение миокарда. В норме на сердечный ритм основное модулирующее действие оказывает вегетативная нервная система. Парасимпатический отдел вегетативной нервной системы угнетает деятельность сердечного ритма, а симпатический отдел – стимулирует.

Вегетативная иннервация различных отделов тела асимметрична и неоднородна. В миокарде желудочков влияние симпатического отдела больше, чем парасимпатического. В узловой ткани преобладают эффекты парасимпатического отдела, реализуемые через блуждающий нерв. Различают влияние правого и левого ветвей блуждающего нерва на сердце. Волокна левого блуждающего нерва стремятся к атриовентрикулярному узлу, в результате он влияет на атриовентрикулярное проведение. Волокна правого блуждающего нерва – возбуждают синусовый узел, который оказывает воздействие на частоту сердечных сокращений (ЧСС) (Шишко, 2009).

Деятельность вегетативной нервной системы находится под влиянием центральной нервной системы и ряда гуморальных влияний. В продолговатом мозге расположен сердечно-сосудистый центр, объединяющий парасимпатический, симпатический и сосудодвигательный центры. Регуляция этих центров выполняется подкорковыми узлами и корой головного мозга (Воронин, Бирюкова, 2006).

Импульсы, исходя из сердечно-аортального, синокаротидного и других сплетений оказывают влияние на ритмическую деятельность сердца. Кроме того, среди факторов, влияющих на сердечно-сосудистый центр, можно отметить гуморальные изменения крови (изменение парциального давления углекислого газа и кислорода, изменение кислотно-основного состояния) и геморецепторный рефлекс (Bernardi et al., 1990).

Общая схема влияния различных факторов на ритмическую деятельность сердца (рис.4).

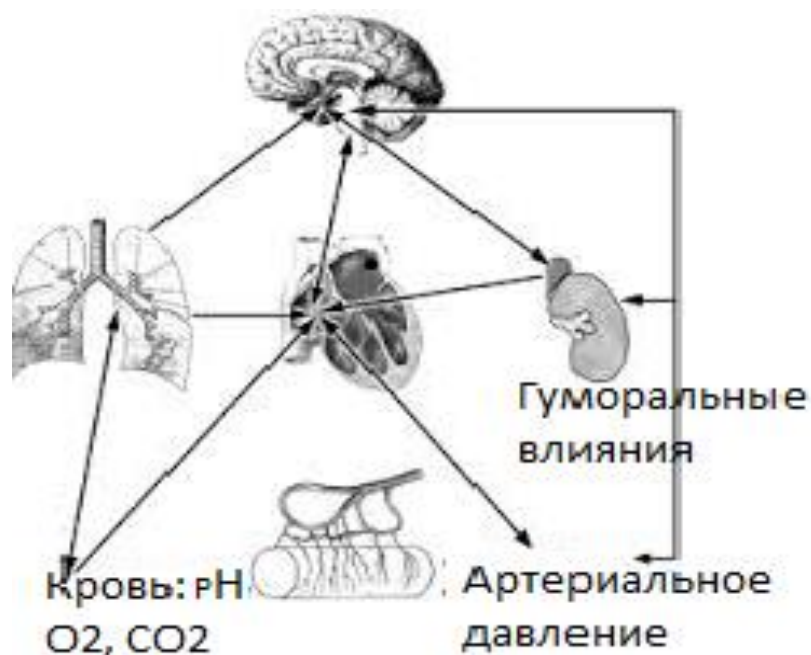


Рис.4. Механизмы экстракардиального регулирования сердечного ритма (Яблчанский, Мартыненко, 2010).

Ритм сердца отражает влияние факторов внешней и внутренней среды на организм. Попытка выделить и количественно определить влияние на ритм сердца центрального, вегетативного, гуморального и рефлекторного звеньев и на основе этого дать оценку адаптационных резервов организма, являются целью исследования variability ритма сердца (Рябыкина, Соболев, 2000).

### **1.3.1. Механизм регуляции сердечного ритма**

Изменчивость продолжительности интервалов R-R последовательных циклов сердечных сокращений за определенные периоды времени – признана более информативным неинвазивным методом количественной оценки вегетативной регуляции сердечного ритма.

Автономный контроль сердца моделируется деятельностью гипоталамического отдела мозга. Однако в целом организме ритмогенез сердца осуществляется иерархической системой структур и механизмов, расположенных как в сердце, так и в центральной нервной системе (Покровский, 2006).

Внутрисердечный генератор является жизнеобеспечивающим фактором, который поддерживает насосную функцию сердца тогда, когда центральная нервная система находится в условиях глубокого торможения. Центральный генератор создает условия для адаптивных реакций сердца в естественных условиях. Возможность сердца воспроизводить центральный ритм основывается на специфичности электрофизиологических процессов во внутрисердечном пейсмекере. Интеграция двух иерархических уровней ритмогенеза обеспечивает надежность и функциональное совершенство системы генерации ритма сердца в интегрированном организме. Синоатриальный узел в организме выполняет функцию скрытого водителя ритма, сердечный ритм воспроизводит сигналы, поступающие в него из центральной нервной системы по блуждающим нервам. Степень подавления

деятельности синоатриального узла вышестоящим в иерархической системе генератором ритма проявляется площадью инициации возбуждения в узле: чем больше площадь, тем более важная роль мозгового уровня системы (Покровский, 2007).

Баевский Р.М. (2001) предложил двухконтурную модель регуляции сердечного ритма: автономную и центральную, усовершенствовав ее впоследствии (рис. 5).



Рис. 5. Схема двухконтурной модели регуляции сердечного ритма (Баевский, 2001).

В то же время влияние автономного уровня отождествлено с дыхательной аритмией, а центрального – с недыхательной аритмией. Прямая связь между центральным и автономным уровнями организации происходит через нервные и гуморальные факторы регуляции, а обратная связь – через импульсацию от различных зон рецепторов органов и тканей.

Деятельность парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы – результат многоуровневой и многоконтурной реакции системы регуляции кровообращения, изменяющей в определенный

период времени свои параметры для достижения оптимального адаптивного ответа организма.

Индекс массы тела (ИМТ) может оказывать влияние на вариабельность сердечного ритма. В источниках научной литературы при исследовании влияния ИМТ на вариабельность сердечного ритма в условиях стресса и покоя видно, что частота сердечных сокращений зависит от уровня ИМТ. Чем ниже уровень ИМТ, тем выше частота сердечных сокращений и наоборот. Однако в некоторых источниках научной литературы имеются противоречивые данные о влиянии ИМТ на значение показателей сердечно-сосудистой системы в момент стрессогенного воздействия. Ряд авторов указывает на то что, увеличенный ИМТ коррелирует с более выраженной реакцией на стресс (связан с умственной нагрузкой) (Tabara et al., 2008). Другие же авторы показывают, что при повышении ИМТ происходит снижение реактивности на стресс (Дмитриев, Карпенко, Дмитриев, 2012).

### **1.3.2. Особенности вариабельности сердечного ритма в юношеском возрасте**

Изменчивость вариабельности сердечного ритма характеризуется половыми и возрастными особенностями. В юношеском возрасте сильно выражены симпатические и слабо парасимпатические влияния. При умеренных нагрузках баланс вегетативной нервной системы смещается в сторону активизации парасимпатического контроля, а при увеличенных – в сторону их ослабления (Бойцов, Белозерцева, Кучмин, 2000).

С возрастом ВСР снижается, причем у женщин эти изменения более выражены, но у физически активных молодых девушек ВСР выше. Девушки 20 лет отличаются большим преобладанием влияния парасимпатического отдела вегетативной нервной системы в регуляции сердечного ритма, мужчины того же возраста – усилением симпатического отдела. Половые различия

регистрируются по величинам очень низкочастотных и ультранизкочастотных компонентов спектра, свидетельствуя о большей активности в их группе метаболического и гуморального контура регуляции ритма сердца. Стабильность сердечного ритма в юношеском возрасте обеспечивается либо автономными влияниями, либо центральными влияниями (Наумова, Земцова, 2009).

В соответствии преобладанием того или иного тонуса выделяют три типа вегетативной нервной системы: нормотоники, ваготоники и симпатотоники. Еще в 1910 г. Эппингер и Гесс создали учение о симпатикотонии и ваготонии. Они разделяли всех людей на ваготоников, симпатотоников и нормотоников. У ваготоников преобладает парасимпатический отдел нервной системы. Влияние парасимпатической нервной системы направлено на накопление и сохранение энергетических ресурсов организма (оказывает тормозящее влияние на сердце, регулирует нормальную деятельность пищеварительного тракта и др.) участвует в регуляции функции выделения, т.е. сокращения мочевого пузыря, перистальтике кишечника. Парасимпатическая нервная система регуляции является высокочастотной системой. Колебания ее деятельности образуют изменения сердечного ритма с частотой (0,15-0,4, Гц), формируя быстрые волны (HF). Для симпатотоников характерно преобладание симпатического отдела нервной системы. В целом деятельность симпатической нервной системы направлена на энергетическое обеспечение организма. Ее влияния приводят к перераспределению кровотока, активизации обменных процессов, выделению сахара из печени в кровь и т.п. Это необходимо для поддержания нормальных жизненных условий в ситуациях, требующих значительных энергозатрат в связи с мышечной активностью, при понижении температуры окружающей среды, при эмоциональных реакциях (Ноздрачев, 2002). Симпатическая нервная система является медленной системой регуляции соответственно, формирует медленные волны колебания (LF) с частотой 0,04-

0,15 Гц. Нормотоникам характерно равновесие симпатического и парасимпатического отделов.

Возраст является основным показателем снижения уровня показателей variability сердечного ритма. Так например, влияние возраста на отношение LF/HF (индекс вегетативного баланса) не однозначно. Во многих исследованиях не было выявлено связи данного показателя с возрастом (Agelink et al., 2001). Однако, другие авторы отмечают уменьшение показателя LF/HF с возрастом (Kuo et al., 1999).

Женщины обладают высокой частотой сердечных сокращений, чем лица мужского пола. С увеличением возраста половые различия ослабевают. Лица женского пола имеют, например, более низкое значение LF и высокое значение HF, чем мужчины (Карпенко, 2011).

### **1.3.3. Нервная система и variability сердечного ритма**

Изменения в периферической и центральной нервной системе могут влиять на ВСР, снижение которой наблюдается при депрессии (Carney et al., 2001) и повреждении головного мозга (Lowensohn et al., 1977). При воздействии неблагоприятных факторов (острый стресс, хроническое воздействие) частота сердечных сокращений может как увеличиваться, так и не изменяться (Lampert et al., 2002).

В ряде исследований было выявлено, что для молодых лиц с низкой функциональной подвижностью нервных процессов во время стресса характерны более высокие значения уровня функционирования сердечно-сосудистой системы и напряженности всех регуляторных механизмов, для лиц с высокой – менее выраженное напряжение регуляторных механизмов регуляции сердечного ритма и более экономная деятельность сердечно-сосудистой системы. В результате этого в условиях стресса, как правило, наблюдается снижение парасимпатического воздействия на сердечный ритм с



активацией гуморально-метаболических и симпатических влияний, что в конечном итоге может привести к срыву и перенапряжению (Макаренко, Лизогуб, 2011).

Нарушения в вегетативной нервной системе может привести к психопатогенным расстройствам. В своих исследованиях Данбаев С.У. показал, что у молодых людей отмечается гипертонус парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы.

## ВЫВОДЫ

1. В процессе филогенеза происходит формирование и развитие кровеносной системы.
2. Кровеносная система это система органов, которая обеспечивает циркуляцию крови в организме человека и животных. Среди беспозвоночных первые зачатки кровеносной системы появляется у немертин. Осьминоги и кальмары обладают высокоразвитой замкнутой системой. У насекомых появляются дополнительные насосы, которые важны для поддержания циркуляции в крыльях, антеннах и ногах.
3. В эволюции позвоночных наблюдается появление сердца, расположенного на грудной стороне тела. Впервые появляется настоящее сердце у круглоротых, состоящее из предсердия и желудочка.
4. Сердце у человека образуется из мезенхимы в виде парной закладки. Развитие кровеносной системы происходит параллельно с развитием организма.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева А.П. Учение о здоровье и проблемы адаптации. Ставрополь: Изд-во СГУ. 2000. 204 с.
2. Аитова Е.Н., Хайновская Ю.А., Дунтау Е.И. Лечебные грязи в косметическом кабинете // Экспериментальная и клиническая дерматокосметология. 2004. № 5. С.41-45.
3. Анализатор лазерный микроциркуляции крови компьютеризированный ЛАКК-02. Инструкция. М.: НПП «Лазма». 2005. 32 с.
4. Анютин Р.Г., Ивкина С.В., Апраксин М.А. Нормотивные значения параметров микроциркуляции крови в слизистой оболочке полости носа и ротоглотки по данным лазерной доплеровской флуометрии // Физиология человека. 2008. Т. 27, №3. С 23-27.
5. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001. № 3. С. 108.
6. Баевский Р.М. Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развития в космической медицине // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 37, №3. С.42-57.
7. Бойцов С.А., Белозерцева И.В., Кучмин А.Н. Возрастные особенности изменения показателей вариабельности сердечного ритма у практически здоровых лиц // Вестник аритмологии. 2000. №26. С. 57–60.
8. Воронин И.М., Бирюкова Е.В. Вариабельность сердечного ритма у здоровых людей во время ночного сна // Физиология человека. 2006. Т.32, №3. С. 258-263.
9. Васильев А.П., Стрельцова Н.Н. Возрастные особенности микрогемодициркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция 2012. Т. 11, № 4. С 23-26.

10. Васильева Л.В., Матвеев В.Ю., Онегова Н.В. Анализ травматизма и профессиональной заболеваемости работников Нижегородской области // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 6. С. 34-42.
11. Гурова О.А., Станишевская Т.И. Реактивность системы микроциркуляции у девушек при тепловой пробе // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2006. Т.5, №1. С.58-63.
12. Данбаев С.У. Особенности вегетативной нервной системы у лиц с суицидальным поведением // *Фундаментальные исследования*. 2008. №10. С. 37-39.
13. Дмитриев Д.А., Карпенко Ю.Д., Димитриев А.Д. Исследование показателей функционального состояния вегетативной нервной системы в разных психоэмоциональных условиях в зависимости от индекса массы тела // *Фундаментальные исследования*. 2012. №11. С. 1329-1333.
14. Зайчик А.Ш., Чурилов Л.П. Основы патохимии (Учебник для студентов медицинских вузов) – СПб.: ЭЛБИ-СПб., 2001.
15. Карпенко Ю.Д. Особенности функционального состояния сердечно-сосудистой системы у студентов в разных психоэмоциональных условиях в зависимости от их антропометрических показателей // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 9. С 335-338.
16. Кирилина Т.В. Исследование физиологических механизмов формирования колебаний кровотока в микроциркуляторном русле кожи человека: автореф. дис. канд. биол. наук (03.03.01). Ярославль, 2010. 18 с.
17. Козлов В.И. Система микроциркуляции крови: клинко-морфологические аспекты изучения // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2006. Т. 5, № 17. С. 84-101.
18. Козлов В.И. Гурова О.А. Динамика микроциркуляторных реакций при тепловой пробе // *Материалы третьего всеросс. симп. «Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике»*. Москва, 2000. С. 77-78.

19. Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А., Литвин Ф.Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови // Методическое пособие для врачей. Москва, 2012. С. 5-30.
20. Куприянов В.В., Караганов Я.Л., Козлов В.И. Микроциркуляторное русло. М.: Медицина, 1975. 45 с.
21. Крупаткин А.И. Влияние симпатической иннервации на тонус микрососудов и колебания кровотока кожи // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 5. С. 95-104.
22. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови // Под ред. Крупаткин А.И., В.В. Сидоров. М: Медицина, 2005. 123 с.
23. Литвин Ф.Б. Морфофункциональная перестройка системы микроциркуляции у детей, подростков и юношей, проживающих в местах с разными радиозэкологическими условиями: дис. докт. биол. наук (03.00.13, 14.00.02). Москва, 2006. 320 с.
24. Макаренко Н.В., Лизогуб В.С. Профессиональный психофизиологический отбор и Высшая нервная деятельность // Материалы III съезда физиологов СНГ. Ялта, 2011. С. 96.
25. Михайлов П.В., Осетров И.А., Афанасьев В.В., Муравьев А.А., Ахапкина А.А. Возрастные особенности изменений микроциркуляторных характеристик в ответ на дозированную физическую нагрузку // Фундаментальные исследования. 2012. Т. 3, № 2. С. 119-123.
26. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения // Иваново: Иван. гос. мед. академия., 2002. 290 с.
27. Наумова В.В., Земцова Е.С. Особенности медленных колебаний гемодинамики у мужчин и женщин // Физиология человека. 2009. Т. 35, №5. С. 47-53.
28. Начала физиологии / Под ред. Ноздрачев А.Д. М: Медицина, 2002. 1088 с.

29. Ослякова А.О., Терехин С.С., Тихомирова И.А. Оценка состояния микроциркуляции у лиц с разным уровнем тренированности // Материалы IX съезда физиологов. Ярославль, 2010. С. 33.
30. Орасмяэ Т.Т., Глаголева Е.Н. Улучшение микроциркуляции кожи как часть эстетической корреляции внешних проявлений старения // «Экспериментальная и клиническая дерматология». Санкт-Петербург. 2011. №3. С. 52-53.
31. Покровский В.М. Иерархическая организация формирования ритма сердца в целом организме // Клинич. физиология кровообращения. 2006. № 1. С. 22-27.
32. Покровский В.М. Формирование ритма сердца в организме человека и животных. Краснодар: Кубань-книга, 2007. 144 с.
33. Поленов С.А. Основы микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2008. Т. 7, № 1(25). С. 5-19.
34. Родионов И.М., Тарасова О.С., Кошелев В.Б. Адаптация резистивных сосудов к уровню трансмурального давления // Рос. физиолог. журн. им. И.М. Сеченова. 2001. Т. 87, №11. С. 1477-1487.
35. .Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. М.: Оверлей, 2000. 200 с.
36. Сиротин Б.З., Жмеренецкий К.В. Микроциркуляция при сердечно-сосудистых заболеваниях: монография. Хабаровск: Изд-во ДВГМУ, 2008. 156 с.
37. Сорокин О.В., Хаданов А.И., Коротков К.Г., Куликов В.Ю. Фотоэлектронная (ГРВ) эмиссия как отражение микроциркуляторных флуктуаций // Медицина и образование: сетевое научное издание Новосибирского государственного медицинского университета. 2010. № 1. С. 58.
38. Струтынский А.В. Электрокардиограмма. Анализ и интерпретация // 14-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2012. 224 с.

39. Тихонова И.В., Косякова Н.И., Чемерис Н.К. Оценка возрастных изменений регуляции периферического кровотока у человека // Рос.физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2005. Т. 9, № 11. С. 1305-1311.

40. Тихонова И.В., Танканаг А.В., Чемерис Н.К. Динамика амплитуд колебаний периферического кровотока в процессе развития постокклюзионной реактивной гиперемии у условно-здоровых добровольцев // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2009. № 8. С. 31-35.

41. Ханина Ю.С., Лобанов С.Л., Герасимов А.А. Особенности течения послеоперационного периода у женщин в зависимости от индекса массы тела после лапароскопической холецистэктомии // Медицина и здравоохранение. 2008. №4. С. 131-132.

42. Цехмистренко Т.А., Станишевская Т.И. Индивидуально-типологические особенности состояния микроциркуляции крови у девушек // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2006. № 1 (17). С. 51-57.

43. Шишко В.И. Вегетативная регуляция сердечной деятельности // Медицина и здравоохранение. 2009. №3 (27). С. 6-8.

44. Яблчанский Н.И., Мартыненко А.В. Вариабельность сердечного ритма. В помощь практическому врачу. Харьков: КНУ, 2010. 131 с.

45. Яковлев Г.М. Звуковой метод измерения артериального давления Н.С. Короткова и взгляды Н.Н. Савицкого // Медицина и здравоохранение. 2005. Т. 11. №2. С. 79-82.

46. Agelink M. W., Malessa R., Baumann B., Majewski, T., Akila, F., Seit, T., Ziegler D. Standardized tests of heart rate variability: Normal ranges obtained from 309 healthy humans, and effects of age, gender, and heart rate // Clinical Autonomic Research. 2001. №11(2). P. 99–108.

47. Bernardi L., Salvucci F., Suardi R. et al. Evidence for an intrinsic mechanism regulating heart rate variability in the transplanted and the intact heart during submaximal dynamic exercise // Cardiovasc. Res. 1990. №24. P. 969-981.

48. Carney R.M., Blumenthal J.A, Stein P.K., Catellier L.D., Berkman L.F., Czajkowski S.M., Connor C.O., Stone P.H., Freedland K.E. Watkins Depression, heart rate variability, and acute myocardial infarction // *Circulation*. 2001. Vol. 104. P. 2024.
49. Charkoudian N., Johnson J.M. Reflex control of cutaneous vasoconstrictor system is reset by exogenous female reproductive hormones // *J. Appl. Physiol*. 1999. Vol. 87. P. 381-385.
50. Kuo T.B., Lin T., Yang C.C., Li C.L., Chen C.F., Chou P. Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate // *Am. J. Physiol*. 1999. Vol. 227 (6 Pt 2),N 12. P. 2233-2239.
51. Kvandal P., Stefanovska A., Veber M. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostangladines // *Microvasc. Res*. 2003. Vol. 65. P. 160–171.
52. Lampert R., Baron S. J., McPherson C. A., & Lee F. A. Heart rate variability during the week of September 11, 2001 // *Journal of the American Medical Association*. 288. P. 575.
53. Lowensohn R.I., Weiss M., Hon E.H. Heart-rate variability in brain-damaged adults // *Lancet*. 1977. Vol. 1. P. 626-628.
54. Meyer M., Jeffrey F., Robert F. Fall Ainina and Sarah T. Beaton. 2003.
55. Serné E. H. Microvascular dysfunction: a potential pathophysiological role in the metabolic syndrome // *Hypertension*. 2007. Vol. 50. № 1. P. 204-211.
56. Stefanovska A., Bracic M. Physics of the human cardiovascular system // *Contemporary Physics*. 1999. Vol. 40, №1. P. 31–35.
57. Tabara Y. et al. Effects of obesity and smoking on mental stress-induced blood pressure and augmentation index responses in normotensive young males: the J-SHIP study // *Hypertens. Res*. 2008. Vol. 31. P. 1219-1224.



58. WHO Expert Consultation. Appropriate Body-mass Index for Asian Populations and its Implications for Policy and Intervention Strategies // Lancet. V. 363. P. 157-163.