

Муниципальное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа
Центр образования №30
г. Рыбинск Ярославской области

**ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ СИСТЕМЫ
МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ДЕВУШЕК И ЮНОШЕЙ
С РАЗНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ**

Работу выполнил –
Ученик 11 класса МОУ СОШ №30
Ярославской области города Рыбинска
Крючков Даниил Сергеевич
Научный руководитель -
к.б.н., учитель биологии
МОУ СОШ ЦО №30
Ярославской области города Рыбинска
Бабошина Наталья Владимировна

Рыбинск, 2025

Содержание

	Стр
Введение.....	3
1. Литературный обзор.....	5
1.1. Особенности анатомического строения микроциркуляторного русла пальцев рук человека.....	5
1.2. Основы диагностики методом лазерной доплеровской флоуметрии.....	6
1.3. Оклюзионная проба.....	8
2. Материалы и методы исследования.....	10
2.1. Оценка показателей микроциркуляторного русла кожи...	10
3. Результаты собственного исследования и их обсуждение	13
Вывод.....	17
Список использованных источников.....	18

Введение

В области спортивной медицины основополагающим фактором, лимитирующим интенсивность выполняемой физической нагрузки, являются функциональные возможности сердечно-сосудистой системы (ССС) спортсмена. Сердечно-сосудистая система – это чувствительный индикатор адаптационных реакций целостного организма. Поэтому большое внимание уделяется исследованию регуляции ССС, возможности ее адаптироваться к различным стрессорным условиям, выявлению донозологических изменений в механизмах регуляции.

В физиологии спорта и в спортивной медицине преимущественное внимание в процессе тренировок уделяется изучению центральной гемодинамики показателям сердца и артериального давления. Однако лимитирующая роль ССС связана не только с производительностью самой сердечной мышцы. Не менее важны периферические механизмы, влияющие на кровоток в микроциркуляторном русле. Интенсивность кровотока по нутритивным капиллярам оказывает существенное влияние на макроперенос кислорода из эритроцитов к митохондриям мышечных клеток. Следовательно, среди факторов, ограничивающих максимальную аэробную мощность необходимо рассматривать как центральные, так и периферические механизмы гемодинамики. От того, насколько мобильна система микроциркуляции (МЦР) во время тренировочного процесса, во многом зависит поддержание тканевого гомеостаза при различных режимах физических тренировок.

Известно, что при физической работе функционирование МЦР направлено на поддержание оптимального уровня оксигенации скелетных мышц. При этом параметры, характеризующие состояние ССС и, в частности, МЦР, могут достигать предельно допустимых значений. После прекращения нагрузки в организме вновь осуществляется перестройка кровотока в МЦР, и поэтому переходный режим от нагрузки к покою является хорошей моделью для изучения морфофункциональных изменений в системе МЦР[8]. Его морфофункциональная перестройка является одним из ключевых пунктов в изучении механизмов срочной и долговременной адаптации организма спортсмена к физическим нагрузкам.

Несмотря на достаточно высокую информативность о состоянии капиллярного кровотока, только в последнее время появились попытки дать четкую количественную характеристику состоянию кровотока в МЦР у спортсменов как в покое, так и при физических нагрузках различного характера. В настоящее время только начали предприниматься попытки проведения системного анализа реактивности отдельных звеньев системы МЦР у спортсменов. Исследования, посвященные изучению кровотока и его резервных возможностей с помощью окклюзионной пробы в МЦР у подростков, единичны.

Цель исследования: оценить систему микроциркуляции у девушек и юношей с разной физической нагрузкой.

Объект исследования: тканевой кровоток в системе микроциркуляции у девушек и юношей с разной физической нагрузкой.

Предмет исследования: влияние систематических физических нагрузок на микрогемодинамику, механизмы регуляции в системе микроциркуляции, резервные возможности.

Гипотеза исследования: предполагается, что изученные характеристики состояния микроциркуляции (показатели микроциркуляции и регуляторные механизмы) могут служить эффективными критериями оценки функционального состояния организма и позволят персонифицировать объем и мощность физических нагрузок спортсменов.

Задачи исследования

1. Провести сравнительное исследование системы микроциркуляции с использованием метода лазерной доплеровской у группы испытуемых,
2. Оценить функциональное состояние сосудистого эндотелия микроциркуляторного русла на основе анализа частотных спектров колебаний периферического кровотока,
3. Выявить особенности регуляции периферического кровотока в исследуемых группах,
4. Оценить резервные возможности девушек и юношей, занимающихся спортом и контрольной группы.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Особенности анатомического строения микроциркуляторного русла пальцев рук человека

Структурно-функциональной единицей сердечно-сосудистой системы человека является микроциркуляторное русло, в котором происходит микроциркуляция крови, т.е. движение крови и лимфы. Микрососуды, которые связаны с окружающими тканями и регуляторными элементами, являются основой микроциркуляторной системы человеческого организма, которая, в свою очередь, представляет собой структурно-функциональную единицу организма. Микроциркуляторное русло состоит из группы клеток паренхимы, клеток и неклеточного компонента соединительной ткани, кровеносных и лимфатических микрососудов и окончаний нервных волокон [1].

Микроциркуляторное русло является звеном, выполняющим микроциркуляцию крови (МЦК) – движение крови по сосудам. Кроме того, в микроциркуляторном русле происходят такие важнейшие процессы, как процессы диффузии газов и трансапикалярного обмена. Проведение функциональных тестов позволяет оценить степень адекватности функций, выполняемых микрососудистым руслом.

К функциям микрососудов следует отнести обмен веществ между кровью и тканями, приспособление всего организма к экстремальным условиям окружающей среды, а также перераспределение крови в организме [2]. Микрососудистое русло состоит из таких микрососудов, как: артериолы, прекапиллярные артериолы, капилляры, посткапиллярные венулы, венулы и прекапиллярные сфинктеры и артериоло-венулярные анастомозы (АВА) (рис. 1) [2]. При этом микрососуды разделяют на три основные группы в зависимости от их функционального назначения. Так, артериолы и прекапиллярные артериолы принято относить к группе приносящих сосудов, капилляры и посткапиллярные венулы – к группе обменных сосудов, а венулы и посткапиллярные венулы – к группе отводящих сосудов (рис. 1).

Очень часто из-за сложного строения микрососудистого русла не представляется возможным четко разделить его структурные единицы. Одной из составляющих частей микрососудистого русла является группа прекапилляров, которые представляют собой микрососуды диаметром 7–16 мкм (рис. 1).

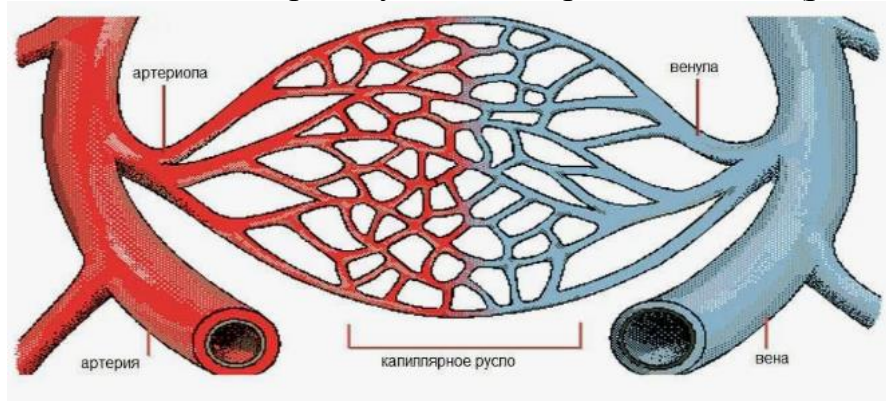


Рис. 1. Строение микроциркуляторного русла

Как правило, они обладают автоматией и высокой чувствительностью к химической регуляции. Прекапиллярные сфинктеры представляют собой группу гладкомышечных клеток, полностью закрывающих вход в капилляр. Они находятся, как правило, в местах деления артериол на прекапилляры или отхождения капилляров от прекапилляров и обладают повышенной чувствительностью к регуляторным факторам. Основной функцией прекапиллярных сфинктеров является регуляция нутритивного (капиллярного) кровотока.

Еще одной структурной единицей микрососудистого русла является группа капилляров – микрососудов диаметром 5–7 (иногда до 20) мкм. Стенка капилляра образована одним слоем эндотелиальных клеток [4]. Однако в последнее время существует мнение о том, что капиллярная стенка состоит из двух оболочек: внутренней эндотелиальной и наружной адвентициальной с расположенной между ними базальной мембраной [1], либо внутренней эндотелиальной и наружной базальной с внедренными в нее клетками Руже (перипитами) [2]. В капиллярах нет гладкомышечных клеток, вследствие чего они не сокращаются, а их способность к растяжению мала и определяется в основном механическими свойствами окружающих тканей [1]. Капилляры кожи, а также скелетных и гладких мышц построены по соматическому типу, их эндотелий и базальная мембрана непрерывны, число пор мало, поэтому для крупных молекул белка капилляры данного типа почти непроницаемы, в то время как воду с растворенными в ней минеральными веществами пропускают хорошо [2].

Венулы и посткапиллярные венулы образуют систему отводящих сосудов. Венулы имеют диаметр 15–20 мкм и образованы путём слияния венозных отделов капилляров. Мелкие венулы впадают в более крупные, создавая при этом сложную систему с многочисленными АВА.

Посткапиллярные венулы – первый компонент емкостной части микроциркуляторного русла, образованный мелкими сосудами диаметром 15–20 мкм, возникающими от слияния венозных отделов капилляров. Посткапиллярные венулы впадают в мелкие (30–50 мкм), а затем в более крупные (до 100 мкм) венулы, образуя тем самым сложную систему отводящих микрососудов [1].

АВА, или шунты, – это сосуды, соединяющие артериолу с венулой в обход капиллярного русла. Располагаются они в коже, легких, почках, печени, имеют гладкомышечные клетки и в большей степени, по сравнению с другими сосудами, снабжены рецепторами и нервными окончаниями, обеспечивающими регуляцию кровотока.

1.2. Основы диагностики методом лазерной доплеровской флоуметрии

По названию метода – лазерная доплеровская флоуметрия – можно легко понять основную, заложенную в его реализации, идею. В диагностических целях зондируемый участок биологической ткани подвергается воздействию лазерного излучения, и отраженный от ткани лазерный луч анализируется на основе

извлечения частоты сигнала (пропорциональной скорости движущихся частиц в микрососудах) из величины доплеровского сдвига. Другими словами, при проникновении лазерного излучения в биологическую ткань часть этого излучения будет переотражена от неподвижных структур биологической ткани, после чего будет зарегистрирована приемником излучения. Другая часть оптического излучения будет отражена от движущихся внутри ткани структур (от клеток крови), обладающих собственной скоростью движения. Эта часть оптического излучения изменит свою частоту в соответствии с эффектом Доплера, именно в этом изменении частоты и содержится важная диагностическая информация.

На рис. 2 представлена схема получения диагностической информации при проведении диагностики методом ЛДФ.

Считается, что регистрируемый при ЛДФ сигнал характеризует кровоток в микрососудах в объеме около 1 мм³ ткани. Это означает, что в коже человека ЛДФ дает интегральную информацию по очень большому количеству эритроцитов, около $3,4 \times 10^4$, одновременно находящихся в зондируемом объеме ткани. Как показали результаты биомикроскопических исследований (Козлов с соавт., 1994), в коже в области пальцев кисти в объеме 1 мм³ содержится около 200 микрососудов: примерно 20 артериол, 110 капилляров, 40 посткапиллярных венул и 30 венул. В приложении 1 более детально приведено распределение эритроцитов в микрососудах для кожи пальца. Наибольшее количество эритроцитов присутствуют в посткапиллярных сосудах. Поэтому примерно половина величины ЛДФ-сигнала формируется за счет тех эритроцитов, которые находятся в посткапиллярно-венулярном звене микроциркуляторного русла. В других участках кожи, а также в слизистых оболочках могут быть иные структурные и функциональные отношения между микрососудами и содержанием эритроцитов, что может повлиять на формирование ЛДФ-сигнала.

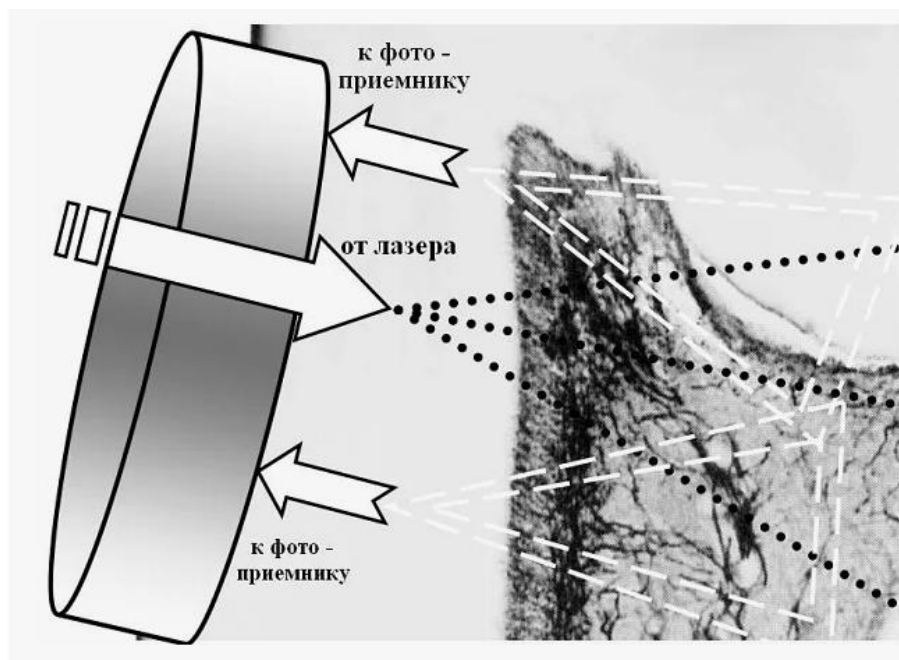


Рис. 2. Схема лазерного зондирования ткани методом ЛДФ

В анализаторах ЛАКК, как и в большинстве современных аппаратов ЛДФ, осуществляется ввод регистрируемой информации в компьютер для ее последующей обработки.

1.3. Окклюзионная проба

Суть функциональных проб состоит в оказании возмущающего воздействия или дозированной нагрузки на различные системы организма человека, в результате которых в зависимости от их состояния возникает определённый функциональный сдвиг, анализ которого позволяет определить их функциональное состояние, а также состояние организма в целом [3, 50].

Данные тесты вызывают также и быстрые, динамичные изменения в локальной микрогемодинамике и, оценивая относительные изменения перфузии тканей кровью при этом и после восстановления, можно более точно и объективно судить о функционировании системы микроциркуляции крови [187]. Еще одним достоинством функциональных проб (тестов) является возможность стандартизации условий их проведения, например, при проведении тепловой пробы принято поддерживать заданную температуру нагрева ткани на уровне 42-43 °С. Это, в свою очередь, позволяет дополнительно снизить вариативность регистрируемого ПМ.

Традиционно для диагностики нарушений в системе микроциркуляции тканей кровью применяют следующие функциональные пробы (рис. 35) [49]:

- окклюзионную;
- дыхательную;
- постуральную (ортостатическую);
- фармакологическую;
- электростимуляционную;
- различные температурные пробы (тесты).

Окклюзионная проба (манжеточная, или проба с реактивной гиперемией) представляет собой вид функциональной нагрузки, заключающейся в кратковременной блокировке артериального и/или венозного кровотока в сосудах конечности с одновременным наблюдением состояний до, во время и после окклюзии [19, 20]. Она проводится для оценки функции эндотелия сосудов [12] и позволяет оценить функциональные резервы капиллярного кровотока, реактивность гладкомышечных клеток прекапиллярного звена, а также выявить виды микроциркуляции крови. В настоящее время клинический интерес к окклюзионной пробе обусловлен возможностью ранней диагностики нарушений механизмов регуляции гемодинамики на уровне макро- и микрососудов с целью предсказания рисков развития, прежде всего, таких патологий, как атеросклероз, артериальная гипертензия и сахарный диабет [19].

Типовой пример сигнала ЛДФ, зарегистрированной при проведении окклюзионной пробы, представлен на рис. 3.

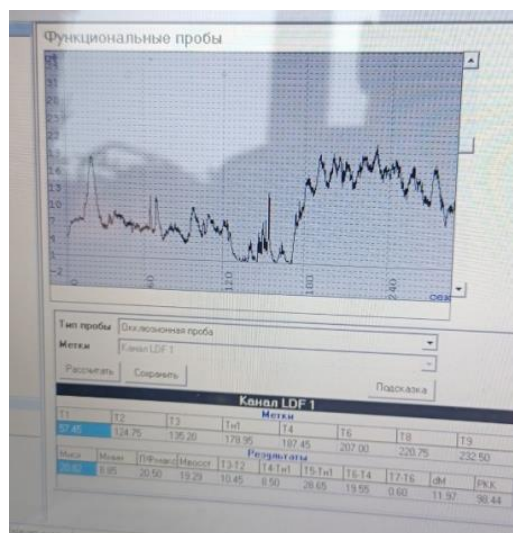


Рис. 3. Типовой пример сигнала ЛДФ при проведении окклюзионной пробы

Различают два типа окклюзии: венозную и артериальную. В зависимости от целей исследования может быть выбран тот или иной тип окклюзии, но в исследовании нарушений в системе МЦК чаще всего прибегают именно к артериальной окклюзии.

Венозная окклюзия основана на кратковременном (в течение 30–60 с) выключении венозного оттока по регионарным сосудам, в результате чего развивается венозная гиперемия с последующей вено-артериальной реакцией [13].

Артериальная окклюзия позволяет оценить величину кровотока в отсутствие артериального притока и резервные возможности микроциркуляторного русла по приросту кровотока во время реактивной постокклюзионной гиперемии [14, 15].

Артериальная окклюзия может выполняться в двух режимах в зависимости от продолжительности окклюзии: кратковременном и длительном. При кратковременном пережатии магистральных сосудов (продолжительность окклюзии примерно 30–60 с) возникает реактивная гиперемия. Это – вазомоторный тест. При длительной артериальной окклюзии (продолжительность окклюзии – 3 мин) возникает постишемическая гиперемия, в большей мере обусловленная эндотелийзависимой дилатацией микрососудов.

Для проведения диагностики нарушений в системе МЦК методом ЛДФ с использованием окклюзионной пробы подходят как стационарные, так и портативные анализаторы микроциркуляции крови. Блокировка кровотока может быть полной или частичной, окклюзия может осуществляться с помощью манжеты тонометра или жгута на одной или нескольких конечностях. Для создания артериовенозной окклюзии используют давление манжеты на конечность, на 30–50 мм рт. ст. превышающее систолическое. Для создания венозной окклюзии выбирается давление, превосходящее венозное, обычно 40–50 мм рт. ст. С увеличением длительности периода окклюзии растет длительность реактивной гиперемии.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Оценка показателей микроциркуляторного русла кожи

В исследовании приняли участие 48 здоровых подростков в возрасте от 15 до 17 лет. Все испытуемые были разделены на группы в зависимости от интенсивности физической нагрузки (схема 1).

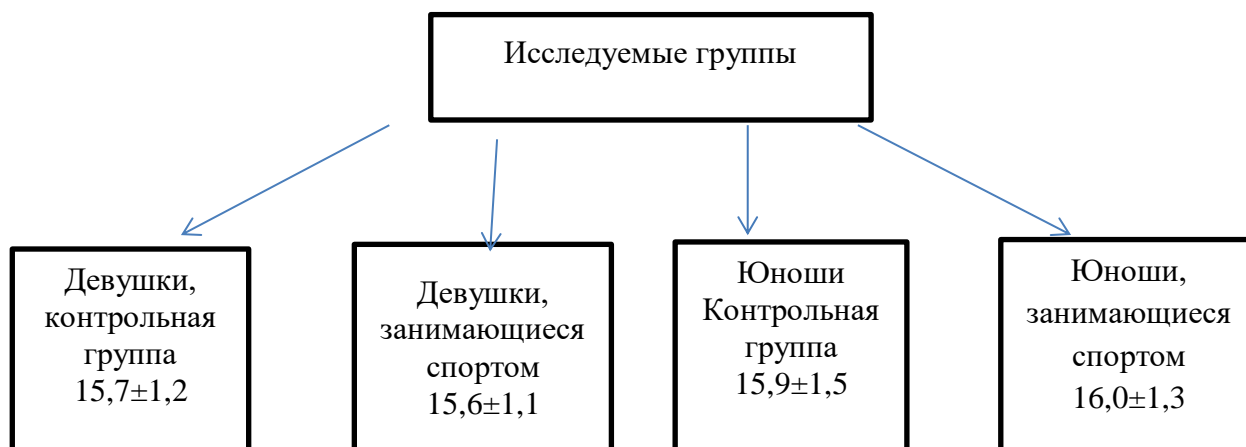


Схема 1. Формирование групп с учетом физической нагрузки.

Благодаря современным техническим достижениям, связанным с внедрением в практику исследований компьютерных и спектроскопических технологий, стало возможным применение различных методов исследования микроциркуляции для решения практических задач. Среди этих методов лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) [3], позволяющая оценивать характер кровотока не в единичном сосуде, а в определенном объеме ткани и амплитуда сигнала формируется в результате отражения лазерного излучения от ансамбля эритроцитов, движущихся с разными скоростями и по-разному количественно распределенных в артериолах, капиллярах, венах и артериоло-венулярных анастомозах кожи.

Оценку состояния микроциркуляции проводили методом лазерной доплеровской флоуметрии с помощью лазерного анализатора капиллярного кровотока ЛАКК-02 (НПП «ЛАЗМА», Москва) (рис. 3.).

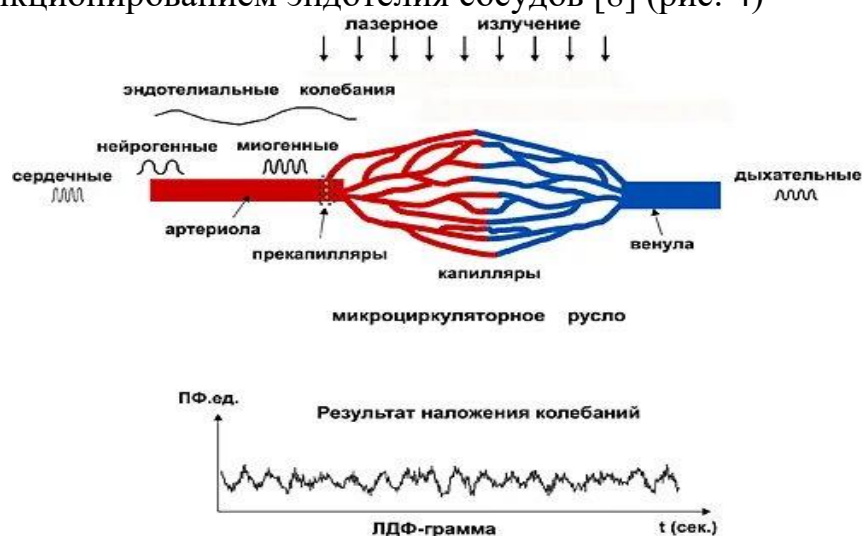


Рис. 3. Аппарат ЛАКК-02

Датчик устанавливался на второй палец правой руки, и все показатели записывались в течение 5 минут. Записывались данные микроциркуляции и ее регуляторных ритмов в состоянии покоя. С целью оценки резервных возможностей микроциркуляции в условиях кратковременной гипоксии показатели микроциркуляции фиксировали в состоянии покоя и в ходе функциональной окклюзионной пробы.

Выходной сигнал непрерывно регистрируется в течение времени исследований, и диагностика состояния микроциркуляции крови основывается на анализе графической записи изменения перфузии, которая называется ЛДФ-граммой [5]. Оценивали уровень перфузии (ПМ), среднеквадратичное отклонение (σ), коэффициент вариации K_v и амплитудно-частотные характеристики отраженного сигнала. Расчетные параметры M (среднеарифметическое значение ПМ), σ и K_v дают общую оценку состояния микроциркуляции крови. По величинам амплитуд колебаний микрокровотока в конкретных частотных диапазонах возможно оценивать состояние функционирования определенных механизмов контроля перфузии. По величинам амплитуд колебаний микрокровотока в конкретных частотных диапазонах возможно оценивать состояние функционирования определенных механизмов контроля перфузии.

Амплитудно-частотный спектр ЛДФ-грамм рассчитывается в полосе частот от 0,005 до 3 Гц. В рассматриваемом частотном диапазоне выделяют 5 неперекрывающихся областей: 0,007–0,017 Гц – диапазон эндотелиальной активности (Е); 0,023–0,046 Гц – диапазон нейрогенной активности (Н); 0,07–0,12 Гц – диапазон миогенной активности (М); 0,21–0,35 Гц – диапазон респираторного ритма (Д); 0,86–1,36 Гц – диапазон кардиоритма (С). Осцилляции кровотока с характерными частотами обусловлены определенными физиологическими процессами: влиянием сердечно-сосудистой и дыхательной систем, активностью гладкомышечных клеток стенок сосудов, нейрогенным контролем и функционированием эндотелия сосудов [8] (рис. 4)



4. Пространственная локализация воздействий на микроциркуляцию активных и пассивных факторов

С помощью вейвлет-преобразования рассчитывали амплитудно-частотный спектр колебаний и оценивали вклад эндотелиальных, нейрогенных и миогенных компонентов тонуса микрососудов, а также дыхательных и сердечных ритмов. Расчет миогенного и нейрогенного тонуса микрососудов осуществляли по формулам: $MT = (\sigma * P_{cp}) / (A_m * M)$, $NT = (\sigma * P_{cp}) / (A_n * M)$. Показатель шунтирования рассчитывали по формуле: $ПШ = MT/NT$, где MT – миогенный тонус; NT – нейрогенный тонус микрососудов [5].

Ввиду разброса результатов измерений амплитуд колебаний осуществлять диагностику работы того или иного механизма регуляции только по величинам амплитуд затруднительно. Поэтому кроме A_{max} анализировали функциональный вклад каждого звена в модуляцию микрокровотока: $(A_{max} / 3\sigma) \times 100 \%$, а также вклад в общий уровень тканевой перфузии: $(A_{max}/M) \times 100 \%$. Данные нормированные параметры рассчитывались в автоматическом режиме после определения значения A_{max} в соответствующем частотном диапазоне.

Полученные данные представлены в виде средних значений (M) с их стандартным отклонением ($\pm\sigma$). Статистическую обработку полученных данных после проверки выборки на соответствие закону нормального распределения проводили с использованием параметрического t-критерия Стьюдента с помощью программы MS Excel. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У девушек и юношей занимающихся спортом среднеарифметическое значение показателя микроциркуляции выше на 96.2% (у девушек, $p < 0.001$) и 79.5 (у юношей), в сравнении с контрольной группой, при $p < 0.001$, что может свидетельствовать о повышенном уровне тканевого кровотока. Среднеквадратичное отклонение показателя у юношей спортсменов выше на 51%, чем у юношей контролирующей группы, а у девушек на 45%, в отличие от контрольной группы, ($p < 0.05$). Коэффициент вариации показателя микроциркуляции у юношей спортсменов ниже на 17.4% , чем у мальчиков контрольной группы ($p < 0.05$) (табл.1).

Показатели	Исследуемые группы					
	Девушки,	Девушки-	Р	Юноши,	Юноши-	Р

	контрольная группа	спортсменки		контрольная группа	спортсмены		
М	9,36±2,89	18,362±5,307	0,0004	9,89±3,97	17,75±5,792	0,002	
σ	5,86±2,18	8,5±2,526	0,0212	5,28±1,579	8,007±1,98	0,002	
Kv	53,43±11,51	47,36±12,45	0,0629	55,09±8,05	45,523±4,396	0,004	
Э	A_{max} , пф. ед	4,942±2,398	6,696±2,454	0,0372	4,33±1,46	6,801±2,192	0,005
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	24,743±4,78	26,86±5,086	0,0779	27,29±3,08	28,64±3,737	0,194
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	38,52±10,61	38,18±10,272	0,4585	44,87±7,23	39,346±4,758	0,021
Н	A_{max} , пф. ед	3,598±1,463	3,182±0,861	0,232	1,96±0,633	2,733±0,942	0,034
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	17,336±3,06	12,821±2,343	0,0002	11,77±4,65	11,646±3,031	0,467
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	25,731±7,146	17,602±3,272	0,0025	21,04±6,8	16,07±4,722	0,024
М	A_{max} , пф. ед	2,047±0,972	1,737±0,59	0,2109	1,32±0,511	1,521±0,504	0,21
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	11,708±2,924	7,182±2,68	0,0012	8,47±2,359	6,511±1,655	0,013
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	17,87±7,947	9,711±3,148	0,0035	14,21±5,53	9,028±6,647	0,005
Д	A_{max} , пф. ед	1,443±0,749	0,646±0,279	0,0039	0,43±0,145	0,558±0,198	0,059
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	5,251±2,317	2,759±1,489	0,0083	3,81±3,256	2,368±0,633	0,073
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	8,06±5,294	3,569±1,438	0,0116	5,1±3,616	3,247±0,871	0,04
С	A_{max} , пф. ед	0,838±0,546	0,403±0,154	0,015	0,27±0,146	0,355±0,273	0,195
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	2,531±1,318	1,157±1,145	0,0611	1,86±0,916	1,583±1,287	0,283
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	4,587±2,142	2,332±0,999	0,00001	3,18±1,808	2,241±1,901	0,138

Табл.1.

Базальные показатели микроциркуляции и регуляторных механизмов групп

Обозначения: М – среднеарифметическое значение показателя микроциркуляции; σ – среднеквадратичное отклонение показателя; Kv – коэффициент вариации показателя микроциркуляции; микроциркуляции; Kv – коэффициент вариации показателя микроциркуляции; Э, Н, М, Д, С - регуляторные механизмы микроциркуляции (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные, сердечные); A_{max} – максимальная амплитуда; $(A_{max} / 3\sigma) \cdot 100\%$ - нормированная амплитуда; $(A_{max} / M) \cdot 100\%$ – приведенная амплитуда.

Примечание: * - $p < 0,05$.

Колебания перфузии регистрируются в виде сложного, непериодического процесса. Многие авторы отмечали, что режимы хаотических колебаний в физиологических системах более оптимальны для их существования, чем периодические. Максимальные амплитуды эндотелиальных ритмов у девушек и юношей спортсменов выше на 35.5% и 57.1%, соответственно ($p < 0.05$), чем в контрольной группе. Функциональный вклад в модуляцию микрокровотока эндотелиальных ритмов у мальчиков-спортсменов ниже на 12.3%, тогда как максимальные амплитуды нейрогенных ритмов были выше на 39.4% ($p < 0.05$), а приведенной амплитуды ниже на 23.6% ($p < 0.05$), чем в сравниваемой группе (табл.1). Активные механизмы (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные) создают поперечные колебания кровотока в результате чередования сокращения и расслабления мышц сосудов (сменяющие друг друга эпизоды вазоконстрикции и вазодилатации).

Нормированная и приведенная амплитуды нейрогенных ритмов у девушек спортсменок ниже на 26% и 31.1% ($p < 0.05$), соответственно, чем у девушек контрольной группы (табл.1), что может свидетельствовать о снижении сосудистого тонуса артериол (снятие спазма) вследствие уменьшения нейрогенной активности (симпатической составляющей).

Нормированные амплитуды миогенных ритмов у девушек и юношей, занимающихся спортом ниже на 38.7% и 23.1% ($p < 0.05$), соответственно (табл.1). Увеличение амплитуды «активных» звеньев (эндотелиального, нейрогенного и миогенного) свидетельствует об усилении модуляции кровотока со стороны данного механизма регуляции и расценивается как снижение тонуса.

Приведенная амплитуда миогенных ритмов у девушек и юношей занимающихся спортом ниже на 45.7% (у девушек) и 36.5% (у юношей) (табл.1).

Пассивные факторы организуют продольные колебания кровотока, выражающие в периодическом изменении объема крови в сосуде. В артериолах характер изменения объема определяется пульсовой волной, в венах – рабочим ритмом «дыхательного насоса». Максимальные и нормированные амплитуды дыхательных ритмов у девушек-спортсменок были ниже на 55.2% и 47.5%, в сравнении с контрольной группой ($p < 0.05$) (табл.1). Приведенные амплитуды дыхательных ритмов у девушек и юношей спортсменов были ниже на 55.7% (у девушек) и на 36.3% (у юношей), в сравнении с контрольной группой. У девушек-спортсменок максимальные и приведенные амплитуды кардиальных (сердечных) ритмов были ниже на 51.9% и 49.2%, соответственно, в сравнении с девушками, не занимающимися спортом ($p < 0.05$) (табл.1). Величина амплитуды пульсовой волны может быть положительно связана с амплитудами колебаний кровотока, обусловленных функционированием нейрогенного и миогенного механизмов, от которых зависят диаметры просвета артериол и артериоло-венулярных анастомозов. В результате чередования сокращения и расслабления гладкомышечного аппарата сосудистой стенки («активные» факторы) происходит модулирование периодически изменяющегося объема крови («пассивные» факторы), что в конечном итоге и формирует оптимальные гемодинамические параметры для транскапиллярного обмена.

Окклюзионная проба (ОП) (манжеточная проба, или проба с реактивной гиперемией) представляет собой вид функциональной нагрузки, заключающейся в кратковременной блокировке артериального и/или венозного кровотока в сосудах конечности с одновременным наблюдением состояний до, во время и после окклюзии. В настоящее время клинический интерес к окклюзионной пробе обусловлен возможностью ранней диагностики нарушений механизмов регуляции гемодинамики на уровне макро- и микрососудов с целью предсказания рисков развития, прежде всего, многих патологий (схема 2).

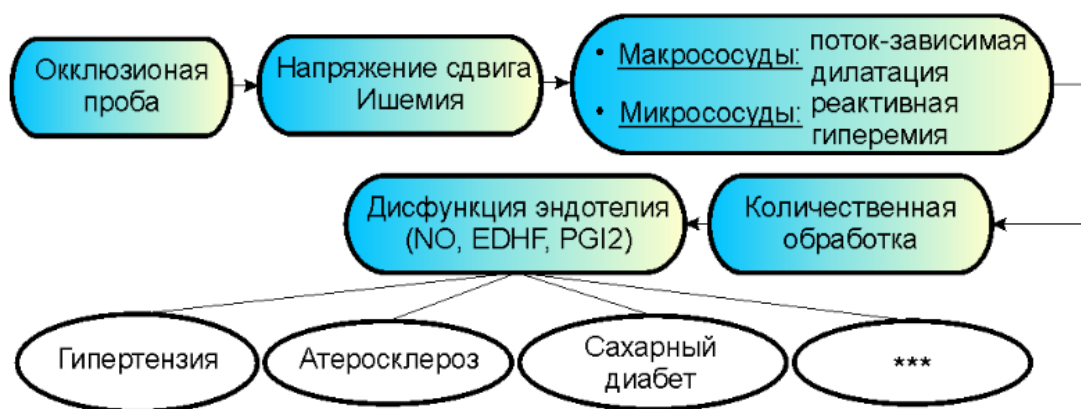


Схема 2. Схема применения окклюзионной пробы в качестве диагностики

Основное назначение окклюзионной пробы как функциональной нагрузки состоит в провокации постокклюзионной гиперемии и связанных с нею реакции сосудов. При анализе показателей показателей окклюзионной пробы нами были выявлены более низкие значения $M_{мин}$, Т3-Т2, Т4-Т1 и Т5-Т1 на 33,9%, 7,7%, 22,4% и 7,0% ($p < 0,05$), соответственно, у девушек-спортсменок, в сравнении с контрольной группой. При этом резерв капиллярного кровотока (РКК) был выше на 42,9%, чем у контрольной группы, что может свидетельствовать о высоких адаптационных резервах микроциркуляции (табл. 2).

Табл. 2

Показатели окклюзионной пробы контрольных групп и спортсменов

Показатели	Исследуемые группы					
	Девушки, контрольная группа	Девушки, занимающиеся портом	Р	Юноши, контрольная группа	Юноши, занимающиеся спортом	Р
Мисх	15,413±5,998	14,167±5,43	0,1207	14,932±6,47	19,978±6,29	0,05
Ммин	11,035±6,692	7,293±2,408	0,0004	6,752±4,16	9,9±2,69	0,04
Мвосст	16,673±7,218	20,008±5,88	0,0006	15,23±5,16	22,86±6,2	0,006
Т3-Т2	10,584±5,331	9,767±2,087	0,00001	9,33±5,26	12,9±5,21	0,027
Т4-Т1	20,948±4,996	16,25±5,34	0,00002	14,29±3,32	18,28±5,96	0,009
Т5-Т1	34,856±9,414	32,18±9,329	0,00001	37,62±11,25	34,62±10,46	0,26
Т6-Т4	14,763±5,611	15,017±6,439	0,00001	20,73±9,30	13,06±6,19	0,015
Т7-Т6	2,675±1,465	1,25±2,029	0,00003	2,67±3,01	4,18±5,53	0,236
РКК	105,75±10,781	151,21±42,97	0,0001	102,56±11,49	126,99±35,48	0,024

Обозначения: Мисх – исходный показатель перфузии, пф.ед.; ммин- минимальный показатель перфузии, пф.ед.; Мвосст-восстановленный показатель перфузии, пф.ед.; РКК – резерв капиллярного кровотока; Т3-Т2, Т4-Т1, Т5-Т1, Т6-Т4, Т7-Т6 – временные периоды окклюзионной пробы, пф.ед.

У юношей-спортсменов отмечаются более высокие показатели $M_{мин}$, ПФмакс, Мвосст, Т3-Т2, Т4-Тн1 на 33,6% , 54,4%, 50,9%, 38,3% и 27,9% ($p < 0,05$), соответственно, в сравнении с контрольной группой.

Показатель Т6-Т4 у девушек спортсменок и контрольной группы не отличается, а у юношей он ниже на 36%, чем в контроле. Т7-Т6 у девушек спортсменок ниже на 53,3%, чем у девушек контролирующей группы. Показатель РКК у юношей-спортсменов на 23,8% (у юношей) ($p < 0,05$).

Таким образом, у групп, не занимающихся спортом, выявлены признаки долговременной адаптации периферического кровотока; у спортсменов выявлена экономичность в работе обменного звена системы микроциркуляции.

Вывод

Результаты нашего исследования продемонстрировали, что в зависимости от спортивной тренированности формируются существенные различия функциональных параметров системы микроциркуляции у юношей и девушек, что обусловлено функциональной перестройкой системы кровообращения и адаптационными изменениями микроциркуляторного русла под влиянием физических нагрузок.

Выражаем благодарность *Тихомировой И.А.*, д.б.н., профессору, заведующей кафедры медицины ЯГПУ им. К.Д. Ушинского за предоставленный для научных исследований лазерный анализатор капиллярного кровотока ЛАКК-02 (НПП «ЛАЗМА», Москва)

Список использованных источников

1. Михайлов, П. В. Возрастные особенности изменений микроциркуляторных характеристик в ответ на дозированную физическую нагрузку / П. В. Михайлов, И. А. Осетров, В. В. Афанасьев и др. // Ярославский педагогический вестник. – 2012. – Т. 3, №2. – С. 119-123.

2. Дмитриева, О. В. Особенности микрогемодиализации у детей младшего школьного возраста с головной болью напряжения / О. В. Дмитриева // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т. 16, № 4. – С. 96-98.
3. Гандельсман А.Б., Евдокимова Т.А., Пономарев В.П. Изменение объема крови во время велоэргометрических нагрузок у спортсменов // Теория и практика физической культуры, 1977. N 1. с.35-39.
4. Козлов, В.И. Экспериментально-морфологическое изучение микроциркуляции крови и структурной организации путей кровотока по данным витальной микроскопии: Автореф.дис... докт.мед.наук. М., 1972. 35 с.
5. Козлов В.И., Соболева Т.М. Изменение микроциркуляции крови у человека под влиянием предельной физической нагрузки /В кн.: Кровообращение в условиях высокогорной и экспериментальной гипоксии. Душанбе, 1978. с.145-146.
6. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность. М., 2013.- 496с.
7. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и оптическая тканевая оксиметрия (ОТО) в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови. Методические рекомендации, 2013.
8. Литвин, Ф. Б. Морфофункциональная перестройка системы микроциркуляции у детей, подростков и юношей, проживающих в местах с разными радиоэкологическими условиями: дис. ... д-ра. биол. наук: 03.00.13, 14.00.02 / Литвин Федор Борисович. – М., 2006. – 320 с.
9. Маляренко, Ю. Е. Онтогенетические особенности кровообращения у человека / Ю. Е. Маляренко, Т. Н. Маляренко, Е. П. Громько // Вестник Тамбовского университета (серия: естественные и технические науки). – 1996. – Т. 1, №1. – С. 39-50.
10. Михайлов, П. В. Изменение параметров системы микроциркуляции в ответ на физическую нагрузку разной интенсивности / П. В. Михайлов, А. М. Тельнова, И. А. Осетров и др. // Ярославский педагогический вестник. – 2012. – Т. 3, №1. – С. 121-124.
11. Крупаткин, А. И. Пульсовые и дыхательные осцилляции кровотока в микроциркуляторном русле кожи человека / А. И. Крупаткин // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, №3. – С. 70-76.
12. Крупаткин, А. И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. /А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. – М.: «ЛИБРОКОМ», 2014. – 498 с.
13. Овчинникова, О. А. Диагностика состояния микроциркуляции методом ЛДФ / О. А. Овчинникова, И. А. Тихомирова // Ярославский педагогический вестник (серия: естественные науки). – 2012. – Т.2, №2. – С. 98-102.

15. Поленов, С. А. Основы микроциркуляции / С. А. Поленов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2008. – Т. 7, №1. – С. 5-19.
16. <http://lib.sportedu.ru/GetText.idc?TxtID=145> (Дата посещения: 24.03.2025)