

**Региональная конференция по научно-техническому творчеству
школьников «Лабиринты науки»**

Муниципальное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа №30
Г. Рыбинск Ярославской области

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОРТИВНЫХ ТРЕНИРОВОК
НА СИСТЕМУ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ МЕТОДОМ ЛДФ**

Работа выполнена – ученицей
11 класса МОУ СОШ №30
Ярославской области города Рыбинска
Пазухиной Ксенией Игоревной
Научный руководитель -
учитель биологии МОУ СОШ №30
Ярославской области города Рыбинска,
Кандидат биологических наук
Бабошина Наталья Владимировна

Рыбинск, 2024

Содержание

	Стр.
Введение.....	3
1. Литературный обзор.....	4
1.1. Система микроциркуляции.....	4
1.2. Регуляция микрокровотока	5
1.3. Метод лазерной доплеровской флоуметрии.....	5
2. Материалы и методы исследования.....	6
2.1. Оценка показателей микроциркуляторного русла кожи...	6
3. Результаты собственного исследования и их обсуждение	7
Заключение.....	10
Список использованных источников.....	10

Введение

Состояние сердечно-сосудистой системы, являющейся одной из важных систем жизнеобеспечения, часто рассматривают как индикатор функционального состояния целостного организма [1]. Совершенствование адаптивных реакций происходит по мере усложнения его контактов с окружающей средой [2]. При изучении возрастных особенностей сердечно-сосудистой системы особое значение приобретает оценка изменений в системе микроциркуляции [3], поскольку именно микрогемоциркуляторное русло является структурно-функциональной единицей системы кровообращения, где осуществляются процессы диффузии газов, трансапиллярный обмен и реализуется основная функция – регуляция нутритивного кровотока [3].

Изучение сердечно-сосудистой системы имеет важное практическое значение для физиологии спорта, в частности для решения вопросов об отборе и ориентации спортсменов, а также для разработки путей и методов совершенствования спортивного мастерства [3]. Спортивные тренировки вызывают морфофункциональную перестройку сердечно-сосудистой системы и изменение параметров системной гемодинамики. В многочисленных исследованиях было показано, что именно периферическое звено системы кровообращения обеспечивает основу нормальной жизнедеятельности отдельных органов и систем – полноценное функционирование их клеточных элементов – и в том числе были показаны видовые и органные различия структурных и функциональных параметров системы микроциркуляции [2].

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.

Цель исследования: изучить влияние спортивных тренировок на систему микроциркуляции.

Объект исследования: тканевой кровоток в системе микроциркуляции у спортсменов циклического вида спорта.

Предмет исследования: влияние систематических спортивных тренировок на микрогемодинамику, механизмы регуляции в системе микроциркуляции спортсменов циклического вида спорта.

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

Задачи исследования

1. Провести комплексное изучение системы микроциркуляции с использованием метода лазерной доплеровской у спортсменов.
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.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Система микроциркуляции

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.

Капиллярная сеть вместе с приносящими артериолами и отводящими венами действует как единый модуль, который вместе с окружающими тканевыми компонентами составляет гистофизиологическую микросистему органа. В функциональном отношении каждый микрососудистый модуль обеспечивает кровоснабжение отведенного ему микрорегиона органа и поддержание в нем гомеостаза [2].

1.2. Регуляция микрокровотока

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. 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.

1.3. Метод лазерной доплеровской флоуметрии

Метод ЛДФ основывается на оптическом неинвазивном зондировании тканей лазерным излучением и анализе рассеянного и отраженного от движущихся в тканях эритроцитов излучения (рис. 1). Отраженное от статических (неподвижных) компонентов ткани лазерное излучение не изменяет своей частоты, а отраженное от подвижных частиц (эритроцитов) – имеет доплеровское смещение частоты относительно зондирующего сигнала. Переменная составляющая отраженного сигнала определяется двумя

факторами: концентрацией эритроцитов в зондируемом объеме и их скоростью. В анализаторах ЛАКК, как и в большинстве современных аппаратов ЛДФ, осуществляется ввод регистрируемой информации в компьютер для ее последующей обработки.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

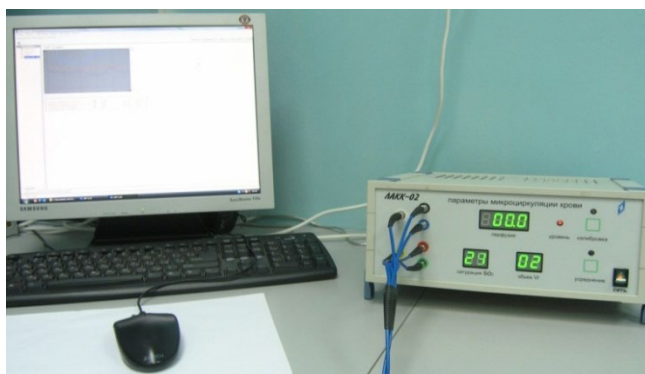
2.1. Оценка показателей микроциркуляторного русла кожи

В исследование были включены здоровые лица обоего пола юношеского возраста после получения письменного добровольного информированного согласия законных представителей (родителей, опекунов) несовершеннолетних участников. В кроссекционном исследовании приняли участие 60 человек, учащиеся МОУ СОШ №30 г. Рыбинска (табл. 1.). Были обследованы спортсмены (девушки, юноши), занимающиеся циклическим видом спорта (бег, плавание) не менее 4-х лет и имеющие «второй спортивный разряд» и выше. Для контрольной группы были взяты юноши и девушки, не занимающиеся спортом.

Таблица 1

Группа	Средний возраст обследуемых (лет) и их количество	
	Юноши	Девушки
Контроль	16±0,7 (n=15)	16±0,8 (n=15)
Спортсмены	16±0,9 (n=15)	16±0,7 (n=15)

Оценку состояния микроциркуляции проводили методом лазерной доплеровской флоуметрии с помощью лазерного анализатора капиллярного кровотока ЛАКК-02 (НПП «ЛАЗМА», Москва) (рис. 1.).



Датчик устанавливался на второй палец правой руки, и все показатели записывались в течение 5 минут. Записывались данные микроциркуляции в состоянии покоя [3].

Оценивали уровень перфузии (ПМ), среднееквадратичное отклонение (σ), коэффициент вариации K_v и амплитудно-частотные характеристики отраженного сигнала (оценивали вклад эндотелиальных, нейрогенных и миогенных компонентов тонуса микрососудов, а также дыхательных и сердечных ритмов). Рассчитывали нейрогенный и миогенный тонусы сосудов, а также показатель шунтирования [2].

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

Нами было выявлено, что систематические спортивные тренировки ведут к увеличению объема циркулирующей крови в покое у юношей (на 40,7%, при $p < 0,05$) и девушек (на 37,3%, при $p < 0,05$), в сравнении с контрольной группой. Среднееквадратичное отклонение показателя микроциркуляции (σ) не имело статистически значимых отличий в обследуемых возрастных группах. При физической нагрузке объем циркулирующей крови увеличивается, главным образом, за счет увеличения числа функционирующих капилляров [1-3]. Однако, имеющиеся данные по изменению параметров системной гемодинамики макроциркуляции показывают, что в процессе спортивной тренировки происходит

определенная морфофункциональная перестройка сердечно-сосудистой системы, что и вызвало различия показателя микроциркуляции у девушек и юношей. Проведенные современные исследования выявили, что под влиянием физической нагрузки происходит морфофункциональная перестройка всего микроциркуляторного русла, направленная на поддержание оптимальной оксигенации в скелетных мышцах (табл. 2).

Табл. 2.

Показатели микроциркуляции контрольных групп и спортсменов

Показатели		Девушки		Юноши	
		контроль	спортсмены	контроль	спортсмены
М		14,27±7,843	19,554±8,7*	10,807±7,037	15,68± 9,74*
σ		2,11±0,906	2,410±1,188	2,043±1,377	2,557±1,516
Kv		19,82±12,84	19,871±15,84	40,724±24,266	24,109±18,8*
Э	Аmax, пф. ед.	1,173±0,564	1,366±0,807	1,085±0,801	1,271±0,695
	(Аmax/3σ) × 100 %	18,680±5,28	16,719±4,293	17,004±3,808	17,729±4,946
	(Аmax/ М) × 100 %	11,692±8,583	11,144±9,183	18,719±14,019	13,400±10,66
Н	Аmax, пф. ед.	1,227±0,486	1,455±0,974	1,141±0,898	1,350±0,738
	(Аmax/3σ) × 100 %	19,919±3,810	17,416±6,362	17,773±3,979	18,725±5,728
	(Аmax/ М) × 100 %	11,313±6,826	11,403±9,347	20,435±15,958	14,637±12,43
М	Аmax, пф. ед.	1,02±0,47	1,04± 0,60	0,678±0,275	1,085±0,56 *
	(Аmax/3σ) × 100 %	17,541±4,31	13,35±4,7 *	12,520±2,731	15,4±4,56**
	(Аmax/ М) × 100 %	10,074±6,167	6,538±3,723*	14,622±12,075	12,167±10,47
Д	Аmax, пф. ед.	0,367±0,263	0,366±0,179	0,373±0,238	0,402±0,220
	(Аmax/3σ) × 100 %	6,050±3,837	5,022±2,059	7,237±4,089	6,205±3,141
	(Аmax/ М) × 100 %	3,860±5,350	2,719±2,150	6,998±7,056	4,304± 4,048
С	Аmax, пф. ед.	0,294±0,124	0,387±0,189*	0,297±0,155	0,301±0,150
	(Аmax/3σ) × 100 %	5,024±1,751	5,849± 3,451	6,687±2,511	4,460±1,47 *
	(Аmax/ М) × 100 %	2,998±2,796	2,889±2,199	6,051±6,698	3,272±2,991

Обозначения: М – среднеарифметическое значение показателя микроциркуляции; σ – среднеквадратичное отклонение показателя; Kv – коэффициент вариации показателя микроциркуляции; Э, Н, М, Д, С - регуляторные механизмы микроциркуляции (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные, сердечные).

Примечание: * - p<0,05.

Значение нормированной амплитуды колебаний микрокровотока был ниже у девушек-спортсменок (на 23,9%, p<0,05), а у юношей выше (на 24,0%), в сравнении с контролем. Кровоток в микроциркуляторном русле кожи подвержен колебаниям, которые отражают текущее функциональное

состояние систем его регуляции. Разнонаправленные влияния со стороны сердечно-сосудистой, дыхательной, нервной и других систем на состояние периферического кровотока отражаются в ритмической структуре колебаний[2]. Увеличение амплитуд колебаний в активных тонусформирующих частотных диапазонах сопровождается уменьшением эффективного сопротивления кровотоку (табл. 2).

Выявленное нами более высокое значение вклада пульсовых колебаний в модуляцию микрокровотока у девушек-спортсменок на 31,6%, $p < 0,05$, свидетельствует об увеличении притока артериальной крови в микроциркуляторное русло .

Между значениями нейрогенного (НТ) и миогенного (МТ) тонуса микрососудов, а также показателем шунтирования между юношами выявлено не было (рис. 2.).

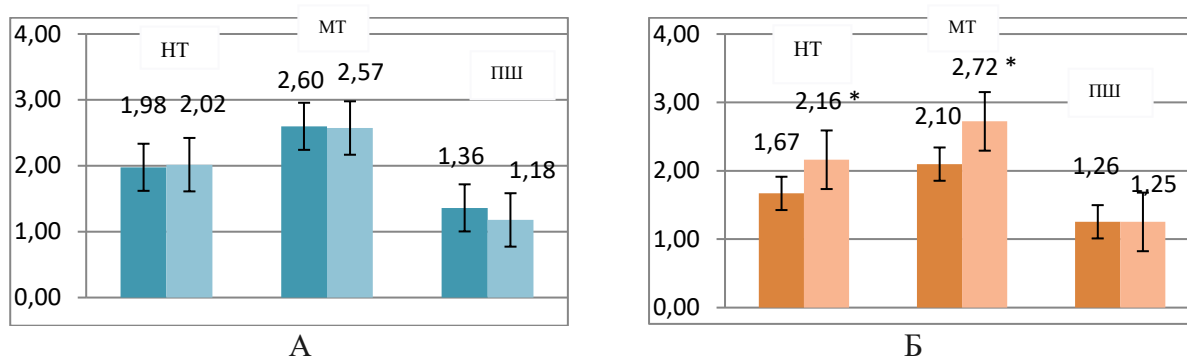


Рис. 2. Показатели тонуса микрососудов и показателя шунтирования:

А: у контрольной группы и юношей-спортсменов; Б- у контрольной группы и девушек-спортсменок.

Обозначения: НТ – нейрогенный тонус; МТ – миогенный тонус; ПШ – показатель шунтирования. Примечание: различия статистически значимы: * - при $p < 0,05$.

Значения показателей нейрогенного (НТ), миогенного тонуса (МТ) в группе девушек, занимающихся спортом, на 29,3 и 30,1%, $p < 0,05$ были выше, чем в группе контроля, соответственно, что свидетельствует о повышении тонуса прекапиллярных сосудов и уменьшении диаметра артериального отдела капилляров.

Полученные функциональные изменения обусловлены анатомо-гистологическими особенностями сосудистого русла крови и влиянием на эти процессы длительных физических тренировок.

Заключение

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 под влиянием нагрузок. Сравнение базальных показателей микроциркуляции, а также вклада различных регуляторных влияний в группах спортсменов показало рост уровня перфузии. Однако, поддержание высокого уровня микроциркуляции поддерживалось различными регуляторными механизмами: у девушек-спортсменок осуществлялось преимущественно за счет снижения миогенных и повышения сердечных ритмов, у юношей-спортсменов за счет более высоких значений миогенных и сниженных кардиоритмов.

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

Список использованных источников

1. 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
2. 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.

3. 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.