

## **БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Sidoriyak N.G.**

*Collaborative Laboratory of Medical and Biological Monitoring of MSPU and TAGU, Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Melitopol, Ukraine*

**Timoshenko E.R.**

*Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Department of hypoxic states, graduate student, Kiev, Ukraine*

**Belikova M.V.**

*National University of Physical Education and sports of Ukraine, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Disciplines, Kiev, Ukraine*

**Rozova E.V.**

*Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Department of hypoxic states, Kiev, Ukraine*

**Сидоряк Наталья Георгиевна**

*Межведомственная лаборатория медико-биологического мониторинга МГПУ и ТГАТА, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Мелитополь, Украина*

**Тимошенко Екатерина Руслановна**

*Институт физиологии им. А.А. Богомольца НАНУ, аспирант, отдел по изучению гипоксических состояний, Киев, Украина*

**Беликова Мария Викторовна**

*Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, кандидат медицинских наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин, Киев, Украина*

**Розова Екатерина Всеволодовна,**

*Институт физиологии им. А.А. Богомольца НАНУ, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел по изучению гипоксических состояний, Киев, Украина*

### **AGE CHANGES OF BLOOD MICROCIRCULATION IN STUDENTS AND SPORTSMEN UNDER THE INFLUENCE OF PHYSICAL TRAINING ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ У СТУДЕНТОВ И СПОРТСМЕНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ**

**Summary:** Age specific features of blood microcirculation reactivity in students and athletes (freestyle wrestling at the level of candidates for a master of sports) are studied for 18 to 21 years under the influence of a dosed physical training. Significant differences in the values of the most parameters characterizing the microcirculation of blood at rest were observed between the 4 age groups under examination, both in students and athletes with different levels of the microcirculation index, and it was shown that the contribution of active modulations of the blood flow to the formation of its profile is more important. Regular exercise changes the age dependence of the level of muscle tissue perfusion, as well as the amplitude of blood flow fluctuations in tissues. Essential differences in the effect of physical training on the effectiveness of microcirculation in students and athletes have been established, depending on the value of the microcirculation index. The results indicate the need to take into account the hierarchy of regulatory mechanisms in the selection of the intensity of physical training, as well as the possibility of a targeted effect on respiratory-pulse modulation in the microvasculature and, consequently, on their ratio, by means of dosed physical training.

**Key words:** microcirculation, dosed physical training, laser Doppler flowmetry, students, sportsmen.

**Аннотация:** Изучены возрастные особенности реактивности микроциркуляции крови у студентов и спортсменов (вольная борьба на уровне кандидатов в мастера спорта) 18 – 21 года при воздействии дозированной физической нагрузки. Выявлены существенные различия в величинах большинства параметров, характеризующих микроциркуляцию крови в состоянии покоя, между обследуемыми 4-мя возрастными группами как у студентов, так и у

спортсменов с различными уровнями показателя микроциркуляции и показано, что вклад активных модуляций кровотока в формирование ее профиля является более существенным. Регулярные занятия спортом меняют возрастную зависимость уровня перфузии мышечной ткани, а также амплитуду колебаний кровотока в тканях. Установлены существенные различия воздействия физической нагрузки на эффективность микроциркуляции у

студентов и спортсменов в зависимости от величины показателя микроциркуляции. Полученные результаты указывают, на необходимость учета иерархии регуляторных механизмов при подборе интенсивности физических нагрузок, а также на возможность целенаправленного воздействия на респираторно-пульсовые модуляции в микроциркуляторном русле и, следовательно, на их соотношение, с помощью дозированных физических тренировок.

**Ключевые слова:** микроциркуляция, дозированная физическая нагрузка, лазерная доплеровская флоуметрия, студенты, спортсмены.

**Введение.**

Изменение функций сердечно-сосудистой системы под влиянием мышечной деятельности привлекает внимание физиологов, медиков и специалистов в области физической культуры и спорта. В настоящее время спорт всё глубже проникает в жизнь населения и, особенно, молодежи и часто рассматривается как антистрессорный фактор. В связи с этим, актуальность проблемы воздействия физических упражнений на организм значительно возрастает, и выяснение физиологических закономерностей этого влияния становится важной научной задачей [1,3].

В настоящее время сформировалось такое научное направление – как спортивная кардиология [8,21,28], которая изучает физиологию деятельного состояния организма и проблемы клинического и врачебного контроля при занятиях физической культурой и спортом. Это накладывает отпечаток на трактовку физиологических и патологических сдвигов в деятельности сердечно-сосудистой системы как у тренированных, так и у нетренированных лиц [6,19,20].

Имеющиеся в научной литературе данные доказывают, что сердечная деятельность у спортсменов отличается рядом характерных особенностей

от работы сердца практически здоровых, не занимающихся спортом людей, как в состоянии покоя, так и в условиях мышечной работы. При этом одной из важных проблем в исследовании сердечно-сосудистой системы является изучение механизмов регуляции микроциркуляции крови. Возможность тестирования микроциркуляторных изменений в настоящее время является важной и актуальной в различных условиях функционирования организма. За последние 10 лет сфера применения лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) для мониторинга состояния микроциркуляции значительно расширилась как в экспериментальных, так и в клинических условиях [10,12,24,30]. Однако остается целый ряд нерешенных проблем и невыясненных механизмов, обуславливающих изменение микроциркуляции крови, в частности, под влиянием физических тренировок у людей разного возраста с разной степенью тренированности организма [8,9,11,17].

В связи с этим, целью настоящего исследования явилось изучение возрастных особенностей реактивности микроциркуляции крови у студентов и спортсменов 18 – 21 года при воздействии физической нагрузки.

**Материалы и методы исследования.**

При проведении работы обследовали студентов в возрасте 18-21 года, которые были разделены на 4 возрастные группы, всего 260 человек мужского пола – 130 студентов, которые регулярно не занимались спортом (в дальнейшем «студенты») и 130 спортсменов, занимавшихся вольной борьбой на уровне кандидатов в мастера спорта (в дальнейшем «спортсмены») (Табл. 1).

Все студенты и спортсмены обследовались в состоянии относительного физиологического покоя и после дозированной физической нагрузки (в дальнейшем «нагрузка»).

Таблица 1 – Распределение по группам обследуемых студентов и спортсменов в зависимости от возраста

Студенты		Спортсмены	
Возраст	Количество обследованных	Возраст	Количество обследованных
18 лет	35 чел.	18 лет	40 чел.
19 лет	30 чел.	19 лет	35 чел.
20 лет	30 чел.	20 лет	30 чел.
21 год	35 чел.	21 год	30 чел.

Нагрузка выполнялась на велоэргометре «Биоритм-4» и подбиралась индивидуально с таким расчетом, чтобы скорость потребления O<sub>2</sub> составляла 70-75% от максимальной, после достижения которой не происходило ее дальнейшего возрастания (±5 %) [32]. Выбор такой программы нагрузки (аэробной направленности) дает возможность установить функциональные перестройки и изменения адаптивной направленности в организме тренированных и нетренированных лиц, в частности со стороны системы микроциркуляции крови [26,31].

Показатели микроциркуляции крови оценивали с помощью лазерной доплеровской флоуметрии, основанной на оптическом (неинвазивном) зондировании тканей монохроматическим сигналом и анализе частотного спектра монохроматического сигнала, отраженного от движущихся в тканях эритроцитов, с использованием аппарата ЛАКК-01 (НПП, «Лазма» Россия). В качестве датчика ЛДФ применяли световодный зонд, выполненный из 3-х моноволокон. Одно волокно используется для доставки лазерного излучения от прибора к исследуемой ткани, два других волокна

вляются приемными отраженного тканью лазерного излучения [12]. Глубина оптического зондирования ткани, зависящая от длины волны лазерного источника, не превышала 1 мм (красное излучение  $\lambda = 632$  нм) [23]. Данный метод позволяет характеризовать периодические изменения (колебания) перфузии тканей кровью, которые происходят с определенной амплитудой и частотой [22,27].

ЛФД сигнал регистрировался на вентральной поверхности 4 пальца левой кисти обследуемого в состоянии покоя в положении лежа таким образом, чтобы измеряемая область находилась на уровне сердца. Продолжительность записи ЛФД-граммы составляла 2 минутам.

Анализ ЛДФ-граммы выполняли в соответствии с Инструкцией к прибору [12,14].

Определяли:

1) характеристику тканевого кровотока - параметр микроциркуляции (ПМ), который является функцией от концентрации эритроцитов в зондируемом объеме ткани ( $N_{эп}$ ) и их усредненной скорости ( $V_{ср}$ ):  $ПМ = N_{эп} \times V_{ср}$ . Величина ПМ представляет собой уровень перфузии единицы объема ткани за единицу времени и измеряется в относительных единицах (перфузионных единицах – пф. ед.);

2)  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение (СКО) амплитуды колебаний кровотока от среднего арифметического значения - измеряется также в пф. ед. характеризует временную изменчивость микроциркуляции или колебания потока эритроцитов, измеряемую в микрососудистой семантике как индекс;

3)  $K_v$  – коэффициент вариации

( $K_v = \delta/M \times 100\%$ ), который указывает на соотношение между изменчивостью перфузии (флаксом) и средней перфузией в зондируемом участке тканей [12,13];

В зависимости от основного показателя микроциркуляции крови все обследуемые дополнительно были разделены на две подгруппы: у лиц I-й подгруппы ПМ колебался в пределах 0,5 - 10 пф. ед.; у лиц II-й подгруппы – в пределах 12 - 25 пф. ед.

При анализе амплитудно-частотного спектра определяли вклад (в %) физиологически наиболее значимых колебаний кровотока в мощность всего спектра ЛДФ-граммы:

1) низкочастотных колебаний (ALF), обусловленных активностью гладкомышечных клеток в артериолах (вазомоций);

2) высокочастотных колебаний (AHF), обусловленных периодическими изменениями давления в венозном отделе кровеносного русла при дыхании;

3) пульсовых колебаний (ACF), синхронизированных с кардиоритмом [29].

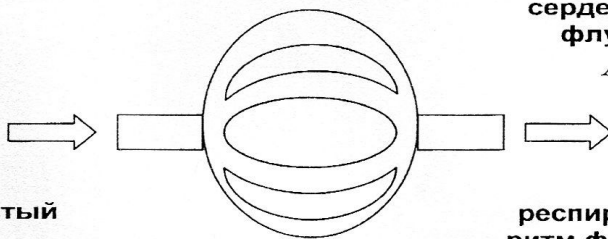
В системе кровообращения микроциркуляторное русло является связующим звеном между артериальными и венозными сосудами. В силу этого, ритмы флуктуаций потока эритроцитов в системе микроциркуляции подвержены влияниям как со стороны путей притока - артериальные или активные модуляции флуктуаций тканевого кровотока, так и со стороны путей оттока пассивные модуляции флуктуаций (Рис. 1) [13,23].

**АКТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ**  
вазоконстрикторные  
флуктуации модуляций  
кровотока

**ПАССИВНЫЙ МЕХАНИЗМ**  
респираторно-пульсовые  
флуктуации кровотока

миогенная и  
нейрогенная  
активность  
 $A_{LF}/M$

микрососудистый  
тонус  
 $\sigma/A_{LF}$



сердечный ритм  
флуктуаций  
 $A_{CF}/\sigma$

респираторный  
ритм флуктуаций  
 $A_{HF}/\sigma$

**Индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ)**

$$ИЭМ = \frac{A_{LF}}{A_{HF} \cdot A_{CF}}$$

Рисунок 1 - Активные и пассивные механизмы модуляции кровотока в системе микроциркуляции

В связи с этим оценивали:

1) активный механизм модуляций кровотока, обусловленный двумя факторами: миогенной и нейрогенной активностью прекапиллярных вазомоторов, определяемой как  $ALF/M$ ; собственно сосудистым тонусом, определяемым как  $\delta/ALF$ ;

2) пассивный механизм модуляций кровотока, включающий: флуктуации кровотока, синхронизированные с кардиоритмом и определяющиеся соотношением  $ACF/\delta$ , где  $ACF$  – максимальная амплитуда колебаний кровотока в диапазоне 50-60 колебаний/мин. (0,8-1,5 Hz); флуктуации кровотока,

синхронизированные с дыхательным ритмом (респираторный ритм флуктуаций) и определяющиеся соотношением АНФ/δ, где АНФ – максимальная амплитуда колебаний кровотока в диапазоне 12-24 колебаний/мин. (0,2-0,4 Hz).

Соотношение активных и пассивных модуляций кровотока представляли как индекс флаксмоций или индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ), который указывает на эффективность перфузии единицы объема ткани за единицу времени [2,13].

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программы «Microsoft Excel 2003» с использованием критерия t критерия Стьюдента. Данные представлены как

среднее значение ± ошибка среднего (M ± m), поскольку, благодаря значительному массиву полученного цифрового материала, а также в соответствии с критерием Шапиро-Уилки полученные данные укладывались в нормальный закон распределения [16]. Различия между средними величинами считали статистически значимыми при p < 0,05.

**Результаты и обсуждение.**

Полученные результаты свидетельствуют о следующем. Прежде всего, обращает на себя внимание наличие существенных различий в величинах большинства параметров, характеризующих микроциркуляцию крови в состоянии покоя, между обследуемыми 4-х возрастных групп как у студентов, так и у спортсменов I и II подгрупп (Табл. 2,3).

Таблица 2 - Изменения параметров микроциркуляции у студентов

Параметры	18 лет		19 лет		20 лет		21 год	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>I подгруппа</b>								
ПМ, пф.ед.	1,70 ±0,05	6,45 ±0,77**	3,70 ±0,01	5,55 ±0,32*	2,14 ±0,01	3,85 ±0,18*	6,93 ±0,35	12,47 ±0,24**
СКО, пф.ед.	0,83 ±0,07	1,45 ±0,07*	0,94 ±0,02	1,74 ±0,01*	1,37 ±0,01	2,88 ±0,06*	1,92 ±0,07	1,50 ±0,06*
Kv, %	100,72 ±7,07	50,23 ±5,29**	25,44 ±0,16	30,53 ±6,18	64,05 ±0,01	77,50 ±2,46*	88,39 ±1,22	8,58 ±0,71**
$\frac{ACF_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,20± 0,001	0,14± 0,002*	0,19± 0,001	0,13± 0,002*	0,08± 0,002	0,10± 0,001*	0,10± 0,002	0,12± 0,001
$\frac{АНФ_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,39± 0,011	0,55± 0,016*	0,33± 0,012	0,60± 0,010**	0,34± 0,008	0,37± 0,009	0,34± 0,014	0,32± 0,010
<b>II подгруппа</b>								
ПМ, пф.ед.	12,29 ±0,29	15,48 ±0,61*	24,27 ±0,01	16,94 ±0,67*	16,49 ±0,58	15,17 ±0,36*	16,57 ±0,41	14,25 ±0,38*
СКО, пф.ед.	1,04 ±0,05	0,84 ±0,02*	2,63 ±0,06	2,13 ±0,01*	1,99 ±0,07	1,83 ±0,02*	2,76 ±0,01	1,83 ±0,02*
Kv, %	7,98 ±0,23	3,80 ±1,05*	12,23 ±0,79	14,68 ±7,24	12,44 ±0,59	13,56 ±2,77	5,65 ±0,36	6,24 ±0,26*
$\frac{ACF_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,26± 0,002	0,22± 0,001*	0,08± 0,001	0,10± 0,003	0,10± 0,001	0,11± 0,002	0,14± 0,001	0,13± 0,001
$\frac{АНФ_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,33± 0,010	0,63± 0,012*	0,24± 0,009	0,29± 0,010*	0,39± 0,010	0,46± 0,011*	0,34± 0,014	0,42± 0,010*

Примечания: 1 – контрольные величины, 2 – величины после физической нагрузки, \* - различия достоверны между величинами до и после нагрузки (p<0,05), \*\* - различия достоверны между величинами до и после нагрузки (p<0,01). Серым цветом выделены максимальные значения параметров.

Таблица 3 - Изменения параметров микроциркуляции у спортсменов

Параметры	18 лет		19 лет		20 лет		21 год	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>I подгруппа</b>								
ПМ, пф.ед.	17,76± 0,73	23,04± 0,42*	10,03 ±0,71	17,85 ±0,74*	6,69 ±0,35	23,76 ±1,46**	9,96 ±0,42	13,34 ±0,24*
СКО, пф.ед.	1,22± 0,11	2,26± 0,15*	0,84 ±0,01	2,13 ±0,02*	1,52 ±0,01	2,43 ±0,03*	1,14 ±0,05	1,10 ±0,02
Kv, %	7,04± 0,98	8,94± 0,74*	8,34 ±0,51	11,84 ±0,80*	25,52 ±0,78	10,63 ±0,15**	12,12 ±0,84	12,91 ±0,31
$\frac{ACF_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,18± 0,002	0,13± 0,004**	0,41± 0,010	0,08± 0,002**	0,11± 0,004	0,13± 0,002	0,11± 0,003	0,13± 0,001
$\frac{AHF_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,42± 0,010	0,38± 0,003**	0,31± 0,001	0,30± 0,001	0,26± 0,003	0,41± 0,003*	0,41± 0,015	0,43± 0,001
<b>II подгруппа</b>								
ПМ, пф.ед.	17,76± 0,73	23,04± 0,42*	15,84 ±0,28	20,48 ±0,48*	18,01 ±0,04	18,84 ±0,82	20,87 ±0,72	13,98 ±0,44*
СКО, пф.ед.	1,22± 0,11	2,26± 0,15*	1,74 ±0,02	0,98 ±0,03*	1,83 ±0,02	1,55 ±0,04*	1,65 ±0,04	4,45 ±0,07*
Kv, %	7,04± 0,98	8,94± 0,74	10,75 ±0,34	6,45 ±0,38*	10,64 ±0,28	7,44 ±0,22*	9,93 ±0,01	40,34 ±0,98**
$\frac{ACF_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,18± 0,002	0,13± 0,004*	0,10± 0,004	0,13± 0,002	0,11± 0,004	0,19± 0,003*	0,11± 0,003	0,09± 0,001*
$\frac{AHF_1}{ALF}$ , отн.ед.	0,42± 0,010	0,38± 0,003*	0,51± 0,011	0,41± 0,009*	0,38± 0,001	0,54± 0,013*	0,57± 0,001	0,24± 0,002**

Примечания: 1 – контрольные величины, 2 – величины после физической нагрузки, \* - различия достоверны между величинами до и после нагрузки ( $p < 0,05$ ), \*\* - различия достоверны между величинами до и после нагрузки ( $p < 0,01$ ). Серым цветом выделены максимальные значения параметров.

Сравнивая величину показателя микроциркуляции крови у студентов и спортсменов разного возраста, т.е. уровень перфузии единицы объема ткани в единицу времени, в состоянии покоя следует подчеркнуть, что изменения ПМ носили скачкообразный характер. Наиболее интенсивная перфузия наблюдалась у 19-летних студентов II-й подгруппы, 21-летних студентов I-й подгруппы, а также у 18-летних спортсменов I-й подгруппы и 21-летних спортсменов II-й подгруппы. Следовательно, регулярные занятия спортом меняют возрастную зависимость уровня перфузии мышечной ткани. К такому же выводу можно прийти и при оценке временной изменчивости микроциркуляции (флакса), которая характеризует величину колебаний кровотока в тканях, и коэффициента вариации (хотя максимумы величин данных параметров приходятся на иные возрастные периоды) (см. табл. 2-5).

Важнейшее значение в диагностике изменений либо расстройств микроциркуляции имеет анализ соотношения механизмов активной и пассивной модуляции тканевого кровотока. Активный механизм модуляции кровотока в основном обусловлен

двумя факторами: миогенной и нейрогенной активностью прекапиллярных вазомоторов и микрососудистым тонусом. Рассматривая миогенную и нейрогенную активность прекапиллярных вазомоторов можно отметить, что она претерпевала достоверные изменения в зависимости от возраста студентов и спортсменов, обследуемых в состоянии покоя (см. табл. 2-5). К такому же выводу можно прийти при анализе респираторно-пульсовых флуктуаций кровотока, т.е. пассивного механизма модуляции кровотока. При этом следует особо подчеркнуть следующий факт.

Одним из наиболее показательных параметров, характеризующих микроциркуляцию, является индекс эффективности микроциркуляции, поскольку характеризует взаимоотношения между активными и пассивными механизмами модуляции кровотока в системе микроциркуляции, а также колебаниями кровотока в разных областях частотного спектра в различных кровоснабжаемых участках [18]. Анализируя данный показатель в возрастном аспекте у лиц, регулярно не занимающихся спортом, и у спортсменов можно прийти к выводу о том, что в целом, у студентов как I, так и II подгруппы ИЭМ существенно возрастает с 18-и лет до 21-го

года (Рис. 2). У спортсменов же обеих подгрупп такой четкой закономерности не выявляется – показатель изменяется скачкообразно (см. рис. 2). Можно предположить, что выявленная особенность связана с обусловленной возрастом различной длительностью модулирующего влияния регулярных физических тренировок на эффективность микроциркуляции, которое, по-видимому, носит неоднозначный характер.

Отмечались существенные различия воздействия физической нагрузки на эффективность микроциркуляции у студентов и спортсменов в зависимости от величины ПМ. У обследуемых I подгруппы (вне зависимости от их тренированности) при наличии выявленных возрастных колебаний к

21-у году дозированная физическая нагрузка переставала оказывать влияние на ИЭМ (см. рис. 2). У студентов и спортсменов II подгруппы к данному возрасту формировалась разнонаправленная реакция на физическую нагрузку: у студентов эффективность микроциркуляции крови достоверно (на 35,2%) снижалась, а у спортсменов – более чем вдвое возрастала. В ряде исследований показано, что повышенный уровень параметра микроциркуляции, связан с концентрацией эритроцитов в зондируемом объеме ткани, их усредненной скоростью и, как правило, с повышенным уровнем тканевого кровотока. Такой тип микроциркуляции – гиперемический – характеризуется повышенной плотностью функционирующих капилляров и более низким тонусом микрососудов [7].

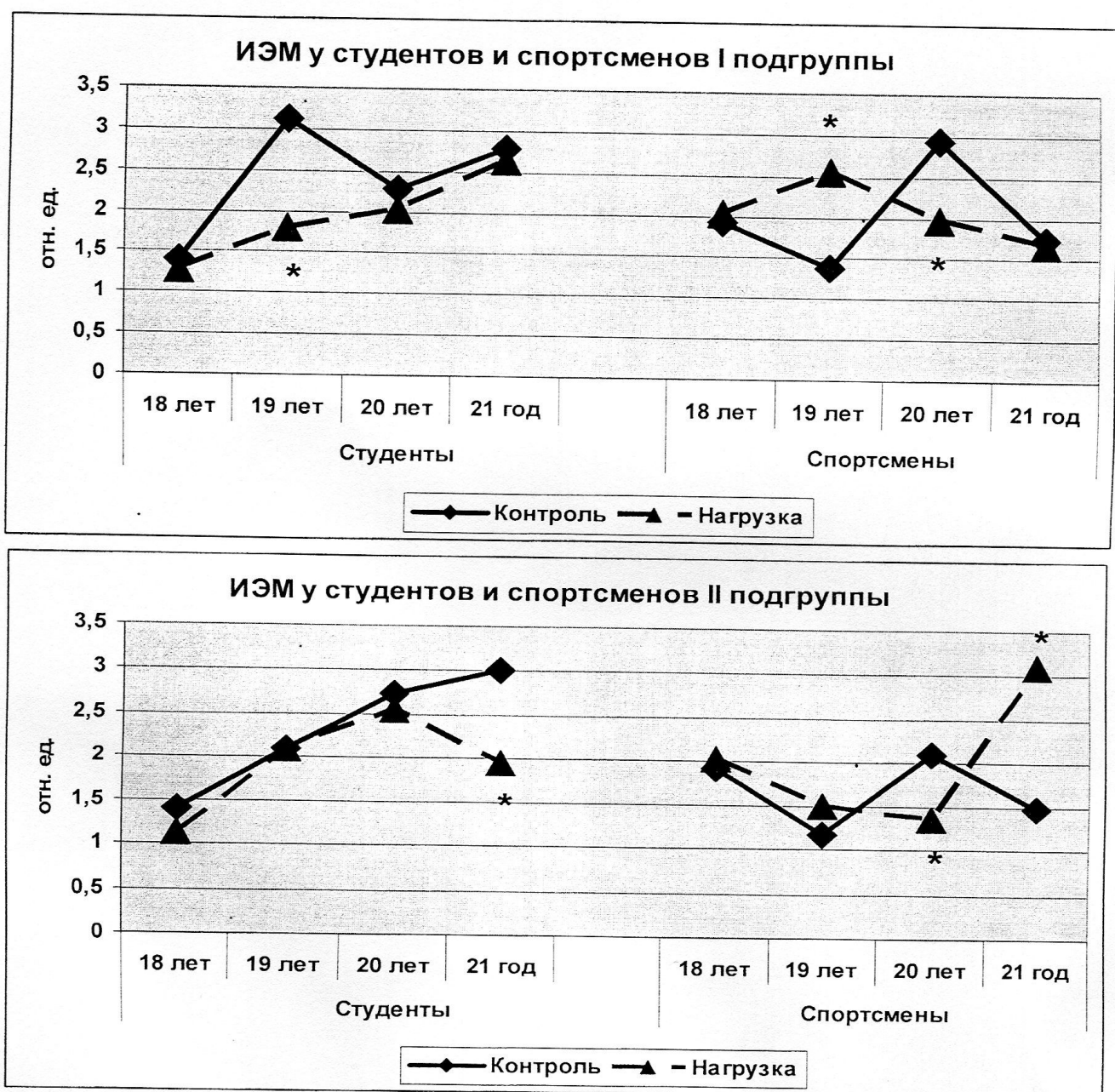


Рисунок 2 – Индекс эффективности микроциркуляции у студентов и спортсменов. \* -  $p < 0,05$

Можно предположить, что у лиц с гиперемическим типом микроциркуляции регулярные физические тренировки способствуют (к окончанию периода полового созревания) формированию на уровне капиллярного русла компенсаторных механизмов, реализующихся повышением эффективности микроциркуляции в ответ на интенсивные нагрузки. У

студентов к возрасту 21-го года такие механизмы не формируются, и в ответ на физические нагрузки происходит снижение ИЭМ, что может приводить к уменьшению работоспособности [25]. Необходимо отметить, что у студентов и спортсменов с мезомическим типом микроциркуляции (сниженный

ли средний уровень тканевого кровотока, но высокой подвижностью эритроцитов в ткани [7]) возрастная адаптивная либо дизадаптивная реакция написанного типа не формируется. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что с помощью анализ ЛДФ, исходя из исходного уровня ПМ, можно прогнозировать возможности повышения работоспособности у молодых людей с помощью дозированных физических нагрузок.

Следует подчеркнуть, что у всех групп обследуемых ИЭМ оказывался > 1,0, следовательно, вне зависимости от тренированности организма либо воздействия физической нагрузки ведущее влияние на микроциркуляцию крови оказывают активные механизмы, т.е. миогенная и нейрогенная активность прекапиллярных вазомоторов, определяющих сосудистый тонус [4]. Несмотря на это, пассивные механизмы регуляции микроциркуляции, а именно, сердечные и респираторные флуктуации, играют при физической нагрузке важнейшую роль,

поскольку именно благодаря функции дыхательной и сердечно-сосудистой систем обеспечивается адекватное обеспечение организма кислородом.

Соотношение сердечных и респираторных факторов, оказывающих влияние на микроциркуляцию крови, и дающих возможность диагностировать как расстройства микроциркуляции, так и оценивать преобладание тех, или иных механизмов ее регуляции [2], практически у всех обследуемых студентов и спортсменов (за исключением 19-и летних спортсменов I подгруппы) оказывался < 1,0 (Рис. 3). Следовательно, вклад респираторных модуляций в формирование профиля капиллярного кровотока является более существенным, а сердечных – лимитирующим возможности адаптивных реакций. Причем интенсивная физическая нагрузка, как у нетренированных, так и у тренированных молодых людей разного возраста сглаживая возрастные колебания данного показателя, в большинстве случаев еще более увеличивает вклад респираторного ритма флуктуаций (см. рис. 3).

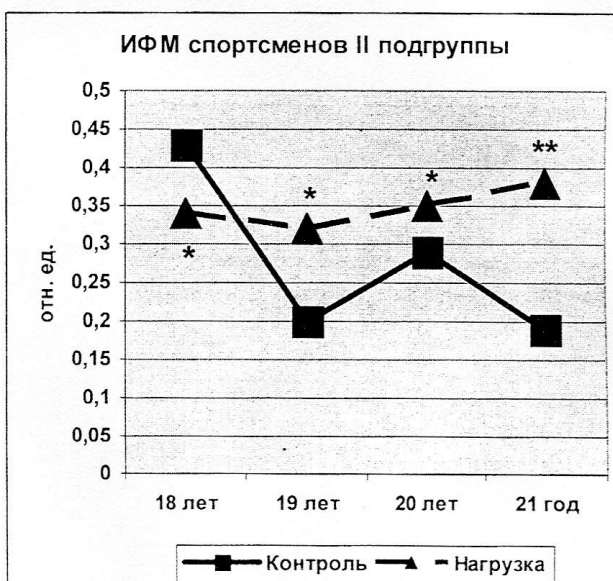
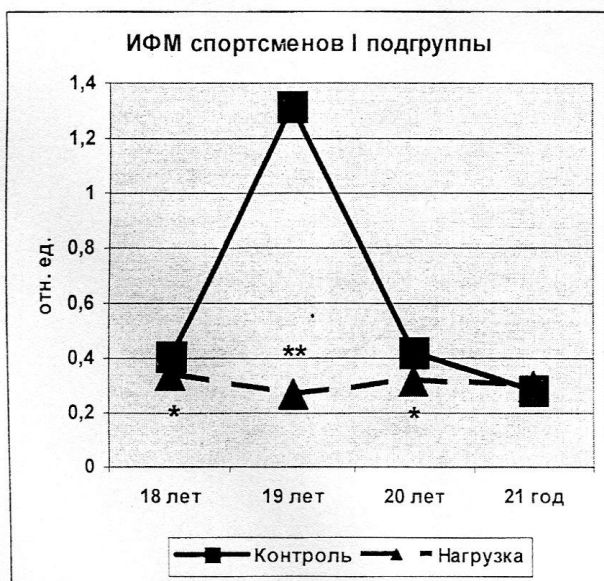
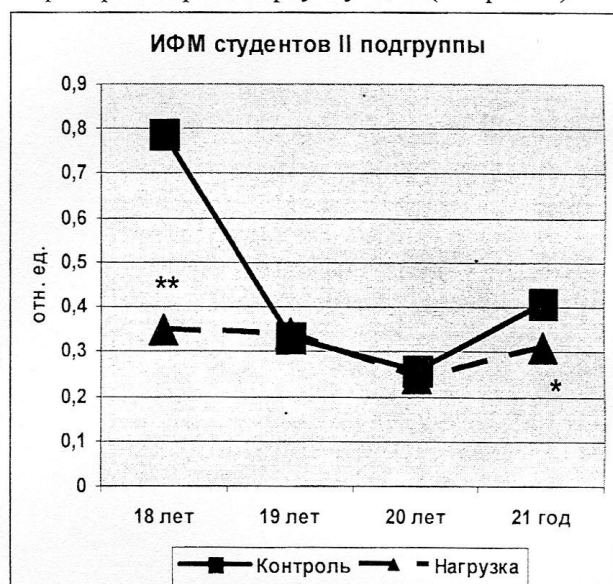
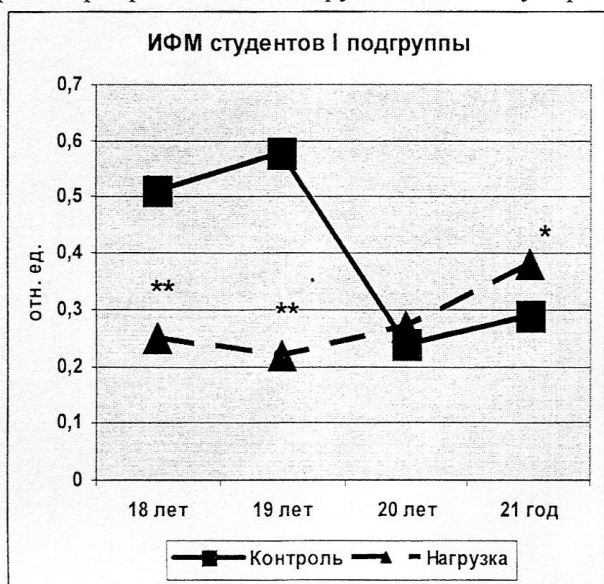


Рисунок 3 – Соотношение сердечного и респираторного механизмов модуляции кровотока в системе микроциркуляции у студентов и спортсменов. \* -  $p < 0,05$

Подобная динамика на уровне микроциркуляции крови подтверждает сформированное пред-

ставление о том, что при тренировках лимитирующим звеном, ограничивающим энергетическое обеспечение кислородного запроса организма и

способствующим развитию гипоксии нагрузки с выраженной вторичной тканевой гипоксией, является кровообращение, а не функция внешнего дыхания [15]. Данная особенность, на наш взгляд, указывает, во-первых, на необходимость учета иерархии регуляторных механизмов при подборе интенсивности физических нагрузок, во-вторых, на возможность целенаправленного воздействия на респираторно-пульсовые модуляции в микроциркуляторном русле и, следовательно, на их соотношение, с помощью дозированных физических тренировок.

Следует подчеркнуть, что микроциркуляция у студентов и спортсменов в возрастном аспекте изменяется скачкообразно и пределах возрастных групп отмечаются существенные различия микроциркуляции крови между I и II подгруппами. Однако нельзя выявить четкой закономерности изменений параметров, что, по-видимому, может обуславливаться с индивидуальными особенностями организма обследуемых в процессе онтогенетического развития и формирования физиологических функций [5].

#### Выводы.

1. Выявлено наличие существенных различий в величинах большинства параметров, характеризующих микроциркуляцию крови в состоянии покоя, между обследуемыми 4-х возрастных групп как у студентов, так и у спортсменов с различными уровнями показателя микроциркуляции.
2. Регулярные занятия спортом меняют возрастную зависимость уровня перфузии мышечной ткани, а также амплитуду колебаний кровотока в тканях.
3. Миогенная и нейрогенная активность прекапиллярных вазомоторов претерпевает достоверные изменения в зависимости от возраста студентов и спортсменов, обследуемых в состоянии покоя. К такому же выводу можно прийти при анализе респираторно-пульсовых флуктуаций кровотока, т.е. пассивного механизма модуляции кровотока.
4. Соотношение активных и пассивных механизмов, оказывающих влияние на микроциркуляцию крови – индекс эффективности микроциркуляции – практически у всех обследуемых студентов и спортсменов оказывался большим 1,0. Следовательно, вклад активных модуляций кровотока в формирование профиля микроциркуляции является более существенным.
5. Интенсивная физическая нагрузка, как у нетренированных, так и у тренированных молодых людей разного возраста сглаживает колебания соотношения сердечного и респираторного механизмов флуктуаций микроциркуляции и в некоторых случаях усиливает роль респираторного ритма флуктуаций.
6. Выявлены существенные различия воздействия физической нагрузки на эффективность микроциркуляции у студентов и спортсменов в зависимости от величины показателя микроциркуляции. У лиц с гиперемическим типом микроциркуляции регулярные физические тренировки способствуют

формированию на уровне капиллярного русла компенсаторных механизмов, реализующихся повышением эффективности микроциркуляции в ответ на интенсивные нагрузки; у нетренированных лиц такие механизмы не формируются, и в ответ на физические нагрузки происходит снижение эффективности микроциркуляции, что может приводить к уменьшению работоспособности. У студентов и спортсменов с мезоемическим типом микроциркуляции возрастная адаптивная либо дизадаптивная реакция описанного типа не формируется.

#### Список литературы

1. Барабанов А. Особенности атлетических тренировок катаболической направленности / А. Барабанов // Санкт-Петербург – родина отечественного атлетизма. – 2004. – СПб.: СПб ГАФК им. П.Ф. Лесгафта. - С. 41-43.
2. Бархатов И.В. Оценка системы микроциркуляции крови методом лазерной доплеровской флоуметрии / И.В. Бархатов // Клин. мед. – 2013. - № 11. - С. 21-27.
3. Быков Е.В. Спортивная медицина: оценка физического развития, функциональные пробы и тесты / Е.В. Быков. – 2005. – уч. – Челябинск. - 79 с.
4. Викулов А.Д. Сосудистый тонус и регулярные физические нагрузки / А. Д. Викулов, Е. Ю. Драгцев, А. А. Мельников, В. В. Алехин // Физиол. человека. – 2009. - Т. 35, № 5. – С. 127-133.
5. Возрастные периоды развития человека. - Режим доступа: [http://scorcher.ru/axiomatics/axiom\\_show.php?id=436](http://scorcher.ru/axiomatics/axiom_show.php?id=436)
6. Голубева Г.Н. Оценка реакции сердечно-сосудистой системы студентов на физические нагрузки во время проведения учебных занятий по физической культуре / Г.Н. Голубева, А.И. Голубев. – Соврем. пробл. науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 15-20.
7. Гурова О.А. Состояние микроциркуляции крови у молодых людей разного пола / О.А. Гурова, С.М. Рыжакин // Новые исследования. – 2015. - № 3. - С. 20-26.
8. Дубровский В.И. Спортивная физиология / В.И. Дубровский. – 2005. - М.: Гуманит. изд-во. центр Владос. – 462 с.
9. Иванова Н.В. Оценка функционального состояния кардиореспираторной системы спортсменов с различной спецификой мышечной деятельности в соревновательном периоде подготовки / Н.В. Иванова // Вестн. спортивн. науки. – 2011. – №1. – С. 64-68.
10. Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах / А. Исмару. – 1981. - М.: Мир. – Т. 1. – С. 78.
11. Карпман В.Л. Динамика кровообращения при минимальных физических нагрузках / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, Б.Г. Любина // Физиол. человека. – 1994. – Т. 20, № 1. – С. 84-89.
12. Козлов В.И. Инструкция по применению лазерного анализатора капиллярного кровотока ЛАКК – 01. / В.И. Козлов, Э.С. Мач, В.В. Сидоров. - 2000. – М. - 196 с.



13. Козлов В.И. Лазерная доплеровская флоуметрия и анализ коллективных процессов в системе микроциркуляции / В.И. Козлов, Л.В. Корси, В.Г. Соколов // Физиол. человека. – 1998. – Т. 24, № 6. – С. 112-121.
14. Козлов В. И. Лазерно-доплеровский метод исследования капиллярного кровотока / В.И. Козлов, В.Ф. Морсков, В.И. Кишко // Известия acad. наук. Серия физическая культура. – 1995. – Т. 59, № 6. – С. 179-182.
15. Колчинская А.З. Гипоксия нагрузки, математическое моделирование, прогнозирование и коррекция / А.З. Колчинская. – Киев: Ин-т кибернетики АН УССР, 1990. – 106 с.
16. Лукьянова Е. М. Методика статистической обработки медицинской информации в научных исследованиях / Е.М. Лукьянова, Ю.Г. Антипкин, В.П. Чернышов, Е.В. Выхованец. – 2002. - К.: Планета людей. – 200 с.
17. Маколин В.И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии. / В.И. Маколин, В.В. Бранько, Э.А. Богданова [и др.]. – 1999. - пособие для врачей. - М. – 48 с.
18. Методика оценки микроциркуляции в точках проекции почек методом ЛДФ. - Режим доступа: <http://www.doverie-clinica.ru/?page=120>
19. Молодыхенко В.В. Возрастные особенности микроциркуляции крови у спортсменов, занимающихся пауэрлифтингом / В.В. Молодыхенко, Н.Г. Сидоряк, Д.В. Хассай [и др.] // Біол. та філософські чинники формування особистості. – 2011. – Львів: Б. в. – С. 21-31.
20. Новиков Л.В. Сердце и физические нагрузки. – 1992. - М.: Знание. – 95 с.
21. Пауткин А.В. Соматотипический подход в прогностической оценке двигательной одаренности юных спортсменов / А.В. Пауткин, М.М. Самсонов, С.Д. Антонюк // Теория и практика физической культуры. – 2007. - №8. – С. 40-42.
22. Рывкин А.И. Гемодинамические механизмы лабильной артериальной гипертензии у подростков / А.И. Рывкин, Е.Н. Андрианова, Н.С. Побединская // Педиатрия: Журн. им. Г.Н. Сперанского. – 2005. – № 2. – С. 23-27.
23. Сидоров В.В. Метод ЛДФ в оценке взаимосвязанности гемодинамических ритмов микроциркуляционных колебаний кровотока / В.В. Сидоров, Н.К. Чемерис, Г.В. Красиков // Лазерные и информационные технологии в медицине XXI века. – 2001. - СПб.: Б. и. – С. 500-501.
24. Сидоряк Н.Г. Реакция сердечно-сосудистой системы и микроциркуляции крови студентов и спортсменов на физическую нагрузку / Н.Г. Сидоряк // Достижения вузовской науки: сб. мат. XX Междунар. научно-практич. конф. – 2016. - Новосибирск: Изд-во ЦНРС. – С. 20-27.
25. Столяров В.И. Современная система физического воспитания (понятие, структура, методы) / В.И. Столяров. – 2013. - Саратов: ООО Издательский центр «Наука». – 313 с.
26. Филиппов М.М. Процесс массопереноса респираторных газов при мышечной деятельности. Степени гипоксии нагрузки / М.М. Филиппов // Вторичная тканевая гипоксия. - 1983. – К.: Наукова думка. – С. 197-216.
27. Цанрели З.Г. Морфология сердца при физических нагрузках / З.Г. З.Г. Цанрели, Л.Ш. Каркашвили. – 1991. - Тбилиси: Менцинерба. – 115 с.
28. Шаханова А.В. Особенности адаптации сердечно-сосудистой системы спортсменов разных видов спорта по данным вариабельности ритма сердца / А.В. Шаханова, Я.К. Коблев, С.С. Гречишкина // Вестн. АГУ. Сер. естественно-математич. и технич. наук. — 2010. – Т. 53, Вып. 1. – С. 102-107.
29. Bollinger A. Is high – frequency flux motion due respiration or to vasomotion activity? Invasomotion and blom motion / A. Bollinger, A. Yanar, U. Hoffmann, U.K. Franzeek // Prog. Appe Microcilcue Bagel. - 1993. – N 20. – P. 52-58.
30. Johnson J.M. Forearm skin and muscle vascular responses to prolonged leg exercise in man / J.M. Johnson, L.B. Rowell // J. Appl. Physiol. - 1975. - V. 39, N 6. - P. 920-924.
31. Kramer K. Control of physical exercise of rats in a swimming basin / K. Kramer, H. Dijkstra, A. Bast // Physiol. Behav. – 1993. - V. 53, N 2. – P. 271-276.
32. Wilmore J. H. Physiology of sport and exercise / J. H. Wilmore, D. L. Costill. – 2004. - Campaign, Illinois, Human Kinetics. - 726 p.