Спортивная Медицина: наука и практика

https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.3.1

УДК: 612.135.796/799

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research

Check for updates

CC BY 4.0

Особенности функционирования микроциркуляторного русла в симметричных областях верхних конечностей у шорт-трековиков разного уровня мастерства

Ф.Б. Литвин

ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет спорта», Смоленск, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение реакции системы микроциркуляции крови в верхних конечностях при физической нагрузке (ФН) у шорт-трековиков разного уровня мастерства.

Материалы и методы: в исследовании приняли участие шорт-трековики мужского пола: 5 спортсменов в возрасте 14–16 лет, уровень спортивной квалификации — 2–3-й разряды, 6 спортсменов в возрасте 14–16 лет, уровень спортивной квалификации — 1-й разряд и 6 спортсменов в возрасте 16–18 лет, уровень спортивной квалификации — мастер спорта (КМС). Юные спортсмены выполняли дозированную анаэробную физическую нагрузку на велоэргометре продолжительностью 3 мин с частотой вращения педалей 60 оборотов в минуту. Величина нагрузки задавалась из расчета 3 % от массы тела. Для спортсменов 2–3-го разряда нагрузка составила 1,3 ± 0,2 кг, для испытуемых с 1-м разрядом — 1,6 ± 0,4 кг и для кандидатов в мастера спорта — 1,8 ± 0,2 кг.

Микроциркуляцию крови оценивали методом лазерной доплеровской флоуметрии. Анализировали показатели перфузии (ПМ), нутритивного кровотока ($М_{нутр}$) и спектральные компоненты ЛДФ-сигнала. Оценивались изменения коэффициента асимметрии параметров до и после ФН.

Результаты. Как до, так и после физической нагрузки показатели ПМ и $М_{нутр}$ были выше на правом предплечье. Коэффициент асимметрии ПМ и $М_{нутр}$ снизился после ФН для всех групп испытуемых, тогда как асимметрия амплитуд колебаний регуляторных механизмов возрастала тем больше, чем выше разряд спортсменов, что свидетельствует о развитии механизмов локальной поддержки гемодинамического постоянства организма с увеличением уровня мастерства. Максимальные изменения отмечены в ПМ, $М_{нутр}$ и амплитудах миогенных колебаний, что указывает на высокую реактивность сосудов и эффективное перераспределение кровотока в нутритивное русло для обеспечения клеток биоткани кислородом и питательными веществами, особенно у КМС, что свидетельствует об их лучшей адаптации к нагрузке.

Заключение. Полученные данные подтверждают существование функциональной асимметрии микроциркуляции, которая уменьшается под влиянием ФН. Спортсмены более высокого разряда демонстрируют лучшие адаптационные способности. Результаты могут быть использованы для оптимизации тренировочного процесса с учетом функциональной асимметрии.

Ключевые слова: микроциркуляция крови, физическая нагрузка, функциональная асимметрия, шорт-трек, лазерная допплеровская флоуметрия, адаптация, спортивная физиология

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Литвин Ф.Б. Особенности функционирования микроциркуляторного русла в симметричных областях верхних конечностей у шорт-трековиков разного уровня мастерства. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025. https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.3.1

Поступила в редакцию: 07.04.2025
Принята к публикации: 15.08.2025
Online first: 09.12.2025

Sports Medicine: research and practice

Features of the functioning of the microcirculatory bed in symmetrical areas of upper extremities in short-track athletes at different skill levels

Fedor B. Litvin

Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia

ABSTRACT

Purpose of the study: The study of the reaction of the blood microcirculation system in the upper extremities during physical activity (PA) in short-track athletes of different skill levels.

Materials and methods: The study involved male short-track skaters: 5 athletes aged 14–16 years, with a sports qualification level of 3–2 ranks, 6 athletes aged 14–16 years, with a sports qualification level of 1 rank, and 6 athletes aged 16–18 years, with a sports qualification level Candidate Master of Sports (CMS). The young athletes performed a controlled anaerobic physical load on a cycle ergometer for 3 minutes at a pedal rotation rate of 60 revolutions per minute. The load was set at 3 % of body weight. For athletes with 3rd and 2nd ranks, the load was 1.3 ± 0.2 kg, for those with 1st rank, it was 1.6 ± 0.4 kg, and for Candidate Master of Sports, it was 1.8 ± 0.2 kg.

Blood microcirculation was assessed by laser Doppler flowmetry. The index of microcirculation (I_m), nutritive blood flow (M_{nutr}), and spectral components of the LDF signal were analyzed. Changes in the asymmetry coefficient of the parameters before and after PA were evaluated.

Results: Both before and after physical activity, I_m and M_{nutr} were higher in the right forearm. The coefficient of asymmetry for I_m and M_{nutr} decreased for all groups after physical activity, while the asymmetry in the amplitude of fluctuations in regulatory mechanisms increased as the rank of athletes increased, indicating the development of local mechanisms to support hemodynamic stability in the body as skill level increased. Maximum changes were noted for I_m, M_{nutr}, and myogenic oscillations amplitudes, indicating high vascular reactivity and effective redistribution of blood flow to nutritive channels to provide cells with oxygen and nutrients, particularly for Candidates Master of Sports, indicating better adaptation to physical activity.

Conclusion: Obtained data confirm the existence of functional asymmetry in microcirculation, which decreases under the influence of physical activity. Athletes with a higher level of training demonstrate better adaptive abilities. These results can be used to optimize training processes by taking into account functional asymmetries.

Keywords: blood microcirculation, physical activity, functional asymmetry, short track, laser Doppler flowmetry, adaptation, sports physiology

Conflict of interests: the author declares no conflict of interest.

For citation: Litvin F.B. Features of the functioning of the microcirculatory bed in symmetrical areas of upper extremities in short-track athletes at different skill levels. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* (*Sports medicine: research and practice*). 2025. https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.3.1

Received: 07 April 2025
Accepted: 15 August 2025
Online first: 09 December 2025

1. Введение

Выполнение интенсивных физических упражнений запускает каскад физиологических реакций в организме человека, в который вовлекаются все системы, в том числе и сердечно-сосудистая, обеспечивающая сохранность функционального резерва и улучшение приспособления организма к активным нагрузкам. Основополагающую роль в данных процессах играет микроциркуляторное звено системы кровообращения, которое обеспечивает непосредственный транспорт кислорода и питательных веществ к клеткам тканей и утилизацию продуктов их жизнедеятельности, что обуславливает её вовлеченность в адаптационные и патологические процессы. Отчасти изменения микроциркуляции крови (МЦК) при физической нагрузке (ФН) изучены у спортсменов в зависимости от вида спорта [1, 2, 3], уровня мастерства [4, 5], пола и возраста [6]. В последнее время на повестку дня вынесены вопросы лево-правосторонней функциональной асимметрии в органах и системах организма [7–13]. С появлением портативных устройств, объединяющихся в распределенную систему и обеспечивающих беспроводную передачу данных [14–16], появилась возможность одновременной регистрации параметров микроциркуляции крови в нескольких (до 8) топографических участках тела человека. В единичных работах изучена парность в системе микроциркуляции крови у животных [17, 18], взрослых людей [8, 12] и детей [9]. Непосредственно у спортсменов проблема синхронного изучения МЦК парных органов, в том числе при воздействии ФН, остается недостаточно проработанной [9, 19, 20]. Изучение особенностей лево-правосторонней функциональной асимметрии в спортивной практике имеет прикладное значение для научно обоснованного построения тренировочного процесса, повышения спортивного мастерства и достижения профессионального успеха. Особенно это актуально для индивидуальных видов спорта, таких как шорт-трек, фехтование, бокс, борьба и другие виды спорта. Однако данное направление может найти свое широкое практическое применение не только в спорте высоких достижений, но и в других сферах, сопряженных с экстремальными условиями для организма человека.

Целью данной работы явилось изучение реакции системы микроциркуляции крови в верхних конечностях при физической нагрузке у шорт-трековиков разного уровня мастерства.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено с участием спортсменов мужского пола, разделенных по уровню мастерства на 3 группы: в первую группу были включены 5 спортсменов в возрасте 14–16 лет со 2-м и 3-м спортивными разрядами, во вторую — 6 спортсменов в возрасте 14–16 лет, имеющие 1-й спортивный разряд, третья группа состояла из 6 кандидатов в мастера спорта (КМС) в возрасте 16–18 лет. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики и одобрены этическим комитетом при ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева» (протокол заседания № 31 от 27.07.2024 г.).

Состояние МЦК изучали методом лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ), который позволяет исследовать кровоток в микроциркуляторном русле *in vivo*. Метод основан на зондировании биоткани лазерным излучением и анализе вышедшего из ткани обратно отраженного света, частично рассеянного от движущихся эритроцитов [21, 22, 23, 24]. Отличительной особенностью метода ЛДФ является то, что с его помощью можно оценить работу механизмов регуляции кровотока, формирующих поперечные и продольные колебания микрососудистого русла в определённых частотных диапазонах. Выделяют пять основных механизмов, а именно эндотелиальный (0,005–0,02 Гц), отражающий активность клеток эндотелия, в том числе по выделению вазодилатирующего вещества — оксида азота, нейрогенный (0,02–0,046 Гц), который показывает активность осцилляторного компонента симпатической адренергической регуляции артериол и артериоло-венулярных анастомозов, миогенный (0,047–0,18 Гц), связанный с мышечным тонусом прекапилляров, регулирующих нутритивную составляющую кровотока, а также дыхательный (0,2–0,4 Гц) и сердечный (0,08–1,6 Гц), которые продуцируются дыханием и сердцебиением соответственно.

Для оценки состояния микроциркуляторного русла верхних конечностей спортсменов применяли 2 носимых лазерных доплеровских анализатора «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Россия), позволяющих одновременно проводить запись сигнала ЛДФ на предплечье дорсально на 5 см выше лучезапястного сустава. Несмотря на достоинства и перспективность, а также опыт применения данного метода в практической медицине, в спортивной физиологии технологии биомедицинской фотоники не интегрированы в методологию построения современной концепции по подготовке будущего чемпиона.

В работе выполнен анализ следующих параметров ЛДФ-граммы: среднее значение показателя микроциркуляции крови ПМ в перфузионных единицах (пф. ед.), нутритивный кровоток $М_{нутр}$ (пф. ед.). Также был осуществлен вейвлет-анализ регистрируемых ЛДФ-сигналов с использованием математического аппарата, заложенного в программное обеспечение носимых мониторов ЛДФ. Оценивались амплитуды колебаний кровотока нейрогенного ($А_н$, пф. ед.), миогенного ($А_м$, пф. ед.), дыхательного ($А_д$, пф. ед.) и пульсового ($А_с$, пф. ед.) происхождения [24, 25] на каждом из этапов проведения исследования. Для количественной оценки влияния физических нагрузок на регистрируемые параметры рассчитывали их относительные изменения по формуле:

$$\Delta X_i = (X_{i\,(2)} - X_{i\,(1)})/X_{i\,(1)} \cdot 100\,\%, \qquad (1)$$

где $X_{i\,(1)}$ — исходные значения каждого из исследуемых параметров (состояние 1), а $X_{i\,(2)}$ — их значения сразу после нагрузки (состояние 2). Степень выраженности функциональной асимметрии оценивали по величине коэффициента асимметрии [6]:

$$КА = X_{iпр}/X_{iлв}, \qquad (2)$$

где КА — коэффициент асимметрии, $X_{iпр}$ — значение параметра, измеренное на правой конечности, $X_{iлв}$ — значение параметра, измеренное на левой конечности.

Для спортивной практики важное значение имеет анализ и оценка обменных процессов в верхних и нижних конечностях спортсмена, которые являются определяющими при мышечной работе в подавляющем большинстве видов спорта. Адаптационные возможности МЦК широко раскрываются с использованием функциональных нагрузочных проб [24], одной из которых является дозированная ФН [2, 20, 24]. Проба позволяет выявить потенциальные возможности обменного звена, определить границы физиологических сдвигов, выход за которые сопряжен с возникновением скрытых или явных нарушений микрогемодинамики. Для изучения влияния мышечной работы на микроциркуляторное русло юные спортсмены выполняли дозированную ФН на велоэргометре продолжительностью 3 мин с частотой вращения педалей 60 оборотов в минуту. Величина нагрузки задавалась из расчета 3 % от массы тела. Для спортсменов 2–3-го разряда нагрузка составила 1,3 ± 0,2 кг, для испытуемых с 1-м разрядом — 1,6 ± 0,4 кг и для кандидатов в мастера спорта — 1,8 ± 0,2 кг.

Запись ЛДФ-граммы проводили дважды: в течение 5 мин в состоянии покоя до ФН и в течение 5 мин после окончания ФН, начиная со 2-й минуты восстановления.

Статистическая обработка параметров микроциркуляции крови проводилась в программной среде «OriginPro 2021» (OriginLab Corporation, США). Для оценки достоверности наблюдаемых различий параметров использовался парный тест Уилкоксона. Достоверно значимыми различия параметров считались при $p < 0{,}05$. Данные представлены в следующих форматах, если не указано иного: среднее ± среднеквадратическое отклонение, медиана [квартиль 1; квартиль 3].

Sports Medicine: research and practice

3. Результаты

Для каждого участника исследования выполнялась оценка основных антропометрических параметров, таких как рост, вес и возраст испытуемых. Результаты представлены в таблице 1.

Анализ параметров микроциркуляции крови шорт-трековиков до и после дозированной ФН выявил существование асимметрии между правым и левым предплечьями спортсменов. Как показано на рис. 1 а, перфузия (ПМ) в правой конечности имеет более высокие значения по сравнению с левой как до, так и после ФН.

Несмотря на общий рост показателя микроциркуляции крови после ФН, статистически значимые изменения обнаружены только у спортсменов 1-го разряда в правом предплечье, что может быть связано с малым количеством испытуемых в каждой группе. У КМС по сравнению с спортсменами 1-го разряда отмечается тенденция снижения показателей ПМ и $М_{нутр}$, что отражает закономерности повышения экономичности проявления физиологических функций по мере роста мастерства спортсменов [26]. Анализ изменений ПМ и $М_{нутр}$ без разделения спортсменов по уровню подготовки показал статистически значимый рост как общей интенсивности кровотока, так и ее нутритивной составляющей после ФН. Такая динамика указывает на активацию доставки кислорода и удаление метаболитов из тканей рабочих органов.

Сравнительный анализ изменений микроциркуляции крови в зависимости от уровня мастерства спортсменов (табл. 2) показал, что у спортсменов 2–3-го разрядов прирост ПМ после ФН составил 19 % на левом, недоминантном предплечье, тогда как у спортсменов 1-го разряда относительное изменение тканевой перфузии достигло 63 %, а у КМС — 119 %. На правом предплечье увеличение общей интенсивности кровотока не зависело от разряда и составило 44–56 %. Наибольший прирост нутритивного кровотока наблюдался у спортсменов 1-го разряда в левом предплечье — 126 %, а наименьший в левом предплечье спортсменов данной группы — 43 %.

Таблица 1

Общие характеристики выборки испытуемых

Table 1

General characteristics of the subjects sample

	2–3-й разряд	1-й разряд	КМС	Все испытуемые
Рост, м	165,5 ± 2,86	168,9 ± 2,91	174,4 ± 1,55	171,3 ± 3,03
Вес, кг	51,7 ± 1,43	55,3 ± 1,81	67,2 ± 2,34	57,0 ± 2,55
Возраст, лет	15,3 ± 1,22	15,6 ± 1,70	17,6 ± 1,47	16,8 ± 1,96
Тренировочный стаж, лет	5,7 ± 0,18	6,4 ± 0,32	8,8 ± 0,49	7,2 ± 0,53

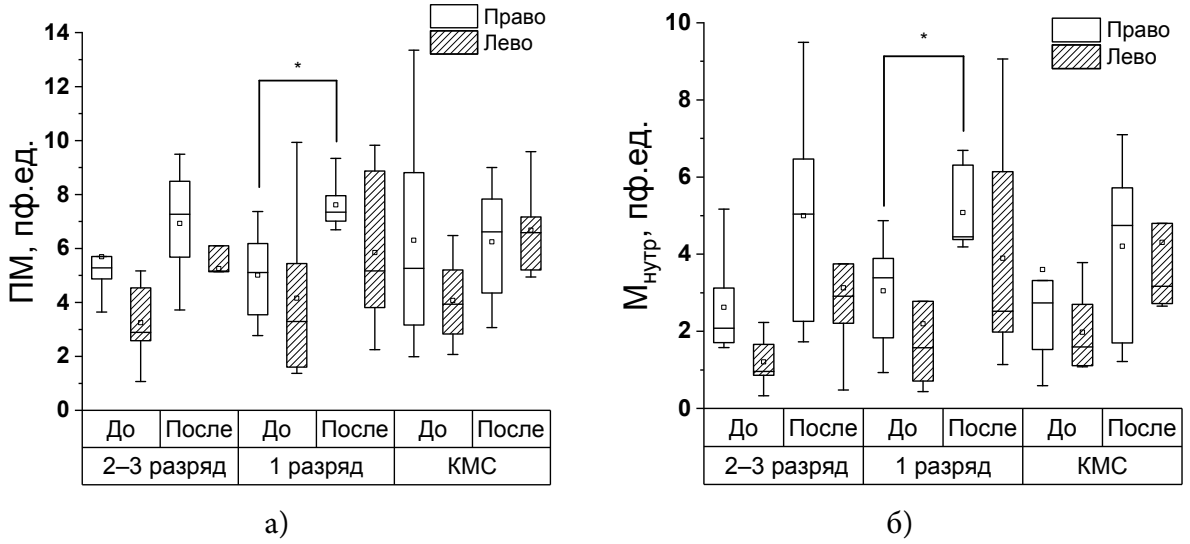

Рис. 1. Значения показателя микроциркуляции крови (а) и нутритивного кровотока (б) до и после физической нагрузки для шорт-трековиков разного уровня подготовки

Примечание: * — статистически значимые различия подтверждены парным тестом Уилкоксона ($p < 0,05$).

Fig. 1. Values of blood microcirculation (a) and nutritional blood flow (b) before and after physical activity for short-track athletes of different training levels

Note: * — statistically significant differences were confirmed by the paired Wilcoxon signed-rank test ($p < 0.05$).

Таблица 2

Исходные значения и относительные изменения параметров микроциркуляции крови шорт-трековиков различного уровня мастерства при выполнении физической нагрузки

Table 2

Baseline values and relative changes in microcirculation parameters in young short-track athletes of different skill levels immediately after physical activity on the upper extremities

Параметры микроциркуляции	Правое предплечье			Левое предплечье		
	До ФН	После ФН	ΔX_i, %	До ФН	После ФН	ΔX_i, %
3–2-й спортивный разряд						
ПМ, пф. ед.	5,69 ± 1,99	6,93 ± 2,29	49 [-5;56]	3,25 ± 1,63	5,25 ± 2,63	19 [18; 99]
$М_{нутр}$, пф. ед.	2,70 ± 1,51	5,00 ± 3,18	43 [-3; 204]	1,21 ± 0,74	3,13 ± 2,13	126 [45; 238]
$А_н$, пф. ед.	0,29 ± 0,20	0,32 ± 0,20	33 [-35; 76]	0,21 ± 0,11	0,28 ± 0,08	67 [-18; 117]
$А_м$, пф. ед.	0,29 ± 0,20	0,37 ± 0,11	40 [-15; 124]	0,20 ± 0,09	0,32 ± 0,06	100 [65; 113]
$А_д$, пф. ед.	0,26 ± 0,14	0,25 ± 0,03	15 [-25; 35]	0,27 ± 0,09	0,27 ± 0,06	5 [4; 7]
$А_с$, пф. ед.	0,31 ± 0,11	0,26 ± 0,06	8 [3; 16]	0,32 ± 0,02	0,32 ± 0,04	-3 [-6; 10]
1-й спортивный разряд						
ПМ, пф. ед.	5,01 ± 1,69	7,62 ± 0,96	56 [31; 94]	4,16 ± 3,24	5,85 ± 2,99	63 [44; 163]
$М_{нутр}$. пф. ед.	3,05 ± 1,43	5,08 ± 1,11	66 [23; 128]	2,20 ± 2,09	3,98 ± 3,02	121 [50; 263]
$А_н$, пф. ед.	0,31 ± 0,18	0,40 ± 0,13	29 [12; 112]	0,32 ± 0,18	0,43 ± 0,19	28 [-31; 85]
$А_м$, пф. ед.	0,37 ± 0,15	0,50 ± 0,14	48 [15; 74]	0,31 ± 0,12	0,50 ± 0,27	50 [37; 55]
$А_д$, пф. ед.	0,28 ± 0,16	0,33 ± 0,09	39 [-3; 68]	0,24 ± 0,03	0,32 ± 0,08	29 [11; 37]
$А_с$, пф. ед.	0,29 ± 0,09	0,34 ± 0,09	13 [-4; 54]	0,33 ± 0,04	0,33 ± 0,03	0 [-11; 0]
КМС						
ПМ, пф. ед.	6,31 ± 4,17	6,25 ± 2,23	44 [1; 53]	4,08 ± 1,71	6,68 ± 1,71	119 [-6; 241]
$М_{нутр}$. пф. ед.	2,58 ± 0,85	4,21 ± 2,30	57 [19; 98]	1,98 ± 1,06	4,31 ± 2,60	105 [35; 207]
$А_н$, пф. ед.	0,28 ± 0,18	0,41 ± 0,19	41 [21; 99]	0,33 ± 0,11	0,37 ± 0,22	-16 [-22; 43]
$А_м$, пф. ед.	0,32 ± 0,31	0,50 ± 0,33	102 [33; 121]	0,30 ± 0,11	0,43 ± 0,13	42 [22; 106]
$А_д$, пф. ед.	0,25 ± 0,09	0,38 ± 0,26	20 [14; 26]	0,24 ± 0,05	0,32 ± 0,07	22 [7; 71]
$А_с$, пф. ед.	0,30 ± 0,14	0,33 ± 0,12	12 [1; 22]	0,29 ± 0,07	0,36 ± 0,05	16 [7; 47]

Примечание: ПМ — показатель микроциркуляции; Мнутр. — нутритивный кровоток; Ан — амплитуда нейрогенных колебаний; Ам — амплитуда миогенных колебаний; Ад — амплитуда дыхательных колебаний; Ас — амплитуда пульсовых колебаний; ФН — физическая нагрузка; ΔX_i — различия показателя до и после ФН

Note: ПМ — microcirculation index; Мнутр. — nutritive blood flow; Ан — amplitude of neurogenic oscillations; Ам — amplitude of myogenic oscillations; Ад — amplitude of respiratory oscillations; Ас — amplitude of pulse oscillations; ФН — physical exercise; ΔX_i — differences in the indicator before and after physical exercise.

После мышечной работы снижается тонус микрососудов, о чем свидетельствует повышение амплитуды нейрогенных и миогенных колебаний. В частности, увеличение амплитуды миогенных колебаний синхронизовано с ростом потребления кислорода тканями и обусловлено выбросом вазодилататора оксида азота. Физиологически это проявляется в экспрессии гена eNOS и способностью выполнять тяжелую физическую

работу [27]. Наиболее выраженный прирост регистрируется в миогенном диапазоне, что отражает переход большего числа капилляров в активное состояние и способствует интенсификации снабжения клеток биоткани кислородом и питательными веществами [28, 29].

Изменения дыхательных осцилляций после работы на велоэргометре наиболее выражены в группе с 1-м спортивным разрядом (20–22 %) и менее выражены у спортсменов, имеющих 2–3-й разряды (15 и 5 % для левой и правой области измерения), что является свидетельством повышения эффективности дыхания в ответ на физическую нагрузку у более опытных спортсменов, что также может оказывать влияние на увеличение ПМ после нагрузки [8, 10]. Несмотря на увеличение тканевой перфузии, динамика амплитуд колебаний пульсового механизма регуляции кровотока слабо выражена (-3...-16 %), что может говорить об увеличении ПМ в большей степени за счет скоростной составляющей перфузии.

Особый интерес представляет сравнение 1-й и 2-й групп испытуемых, то есть спортсменов 2–3-го и 1-го разрядов соответственно, поскольку группы сопоставимы по возрасту, тогда как кандидаты в мастера спорта старше, что, в свою очередь, приводит к возникновению возрастных изменений в системе микроциркуляции крови и оказывает влияние на результаты исследований.

Таким образом, у испытуемых с более высоким уровнем мастерства после физической нагрузки в большей степени происходит активация периферического кровотока и его нутритивной составляющей за счет

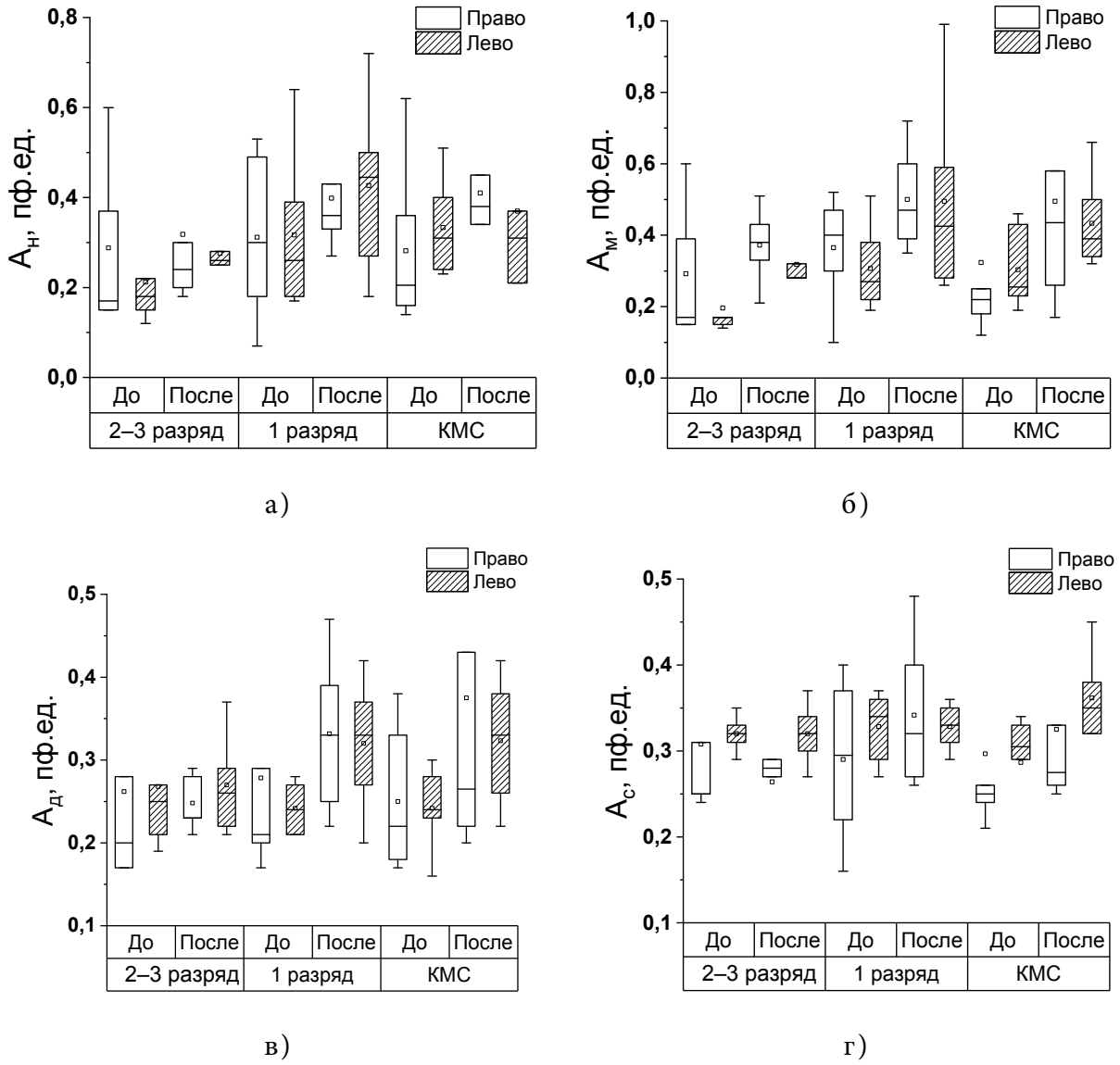

Рис. 2. Значения амплитуд нейрогенных (а), миогенных (б), дыхательных (в) и сердечных (г) колебаний до и после физической нагрузки для шорт-трековиков разного уровня подготовки

Fig. 2. The values of the amplitudes of neurogenic (а), myogenic (б), respiratory (в), and cardiac (г) oscillations before and after physical activity for short-track athletes of different skill levels

увеличения числа функционирующих капилляров, что наиболее ярко выражено в коже предплечья недоминантной руки и может стать критерием готовности спортсменов к соревнованиям.

Результаты оценки функциональной асимметрии (табл. 3) показали, что после ФН коэффициент асимметрии перфузии и нутритивного кровотока снижается во всех трех группах испытуемых. При этом наблюдается повышение КА по величинам амплитуд колебаний механизмов регуляции кровотока. Данные изменения могут отражать работу адаптивного механизма регуляции, цель которого заключается в повышении обеспечения клеток биоткани кислородом и питательными веществами после ФН, а его средства — региональные изменения тонусов сосудов и их колебательной активности с учетом имеющихся локальных потребностей биоткани, то есть данный механизм адаптации лучше развит у спортсменов более высокого спортивного разряда.

Таким образом, физическая нагрузка приводит к изменениям параметров микроциркуляции крови, однако характер этих изменений зависит от уровня спортивного мастерства. У спортсменов уровня КМС наблюдается снижение коэффициента асимметрии ПМ, что в сочетании с увеличением КА амплитуд активных колебаний свидетельствует о более сбалансированном перераспределении кровотока и высокой эффективности локальных регуляторных механизмов. В то же время у спортсменов более низкой квалификации изменения коэффициента асимметрии менее выражены, что может указывать на недостаточную сформированность компенсаторных механизмов. Полученные результаты показывают высокий потенциал изменений периферического кровотока после физической нагрузки как индикатора адаптированности организма к нагрузкам данного уровня и демонстрируют важность учета функциональной асимметрии при индивидуализации тренировочных программ.

Полученные результаты также могут лечь в основу формирования персонифицированного подхода к подготовке не только спортсменов, но также людей других профессий, сопряженных с регулярными физическими нагрузками, например в области военного, спасательного дела и космонавтики.

4. Обсуждение

Изучение функциональной асимметрии является одним из направлений фундаментальной физиологии [8]. Ранее наличие функциональной асимметрии микроциркуляторного русла выявлено в лицевой области [18], верхних и нижних конечностях [9, 10, 12, 13, 19]. Так, известна работа [8], где на мужчинах 50–55 лет показано, что в результате физической нагрузки изменения параметров кровотока более выражены в кожных покровах левой руки по сравнению с правой. Несмотря на большое количество работ по оценке микроциркуляции крови у спортсменов, особенно взрослого возраста [1, 5, 20], оценка функциональной асимметрии периферического кровотока и реакции микроциркуляторного русла на физическую нагрузку в зависимости от уровня мастерства спортсменов младше 18 лет проводится достаточно редко. Функционирование системы микроциркуляции направлено на обеспечение

Таблица 3

Значения коэффициентов функциональной асимметрии параметров микроциркуляции крови до и после дозированной физической нагрузки в зависимости от уровня мастерства

Table 3

The values of the coefficients of functional asymmetry of microcirculation parameters before and after dosed physical activity for short-track athletes of different training levels

Этап	Коэффициент асимметрии, отн. ед.					
	ПМ	$М_{нутр}$	$А_н$	$А_м$	$А_д$	$А_с$
2–3-й спортивный разряд						
До ФН	2,04 ± 0,85	2,60 ± 1,24	1,38 ± 0,77	1,55 ± 1,11	0,95 ± 0,21	0,96 ± 0,31
После ФН	1,85 ± 1,52	2,23 ± 1,61	1,09 ± 0,34	1,18 ± 0,33	0,96 ± 0,26	0,82 ± 0,13
1-й спортивный разряд						
До ФН	1,72 ± 0,95	1,96 ± 0,93	1,10 ± 0,66	1,22 ± 0,52	1,12 ± 0,53	0,88 ± 0,26
После ФН	1,66 ± 0,94	1,84 ± 1,16	1,17 ± 0,78	1,19 ± 0,56	1,08 ± 0,40	1,05 ± 0,30
КМС						
До ФН	1,64 ± 0,90	1,68 ± 0,88	0,93 ± 0,74	1,00 ± 0,63	1,11 ± 0,57	1,08 ± 0,46
После ФН	0,98 ± 0,42	1,07 ± 0,64	1,52 ± 1,11	1,16 ± 0,68	1,20 ± 0,74	0,92 ± 0,40

Примечание: ПМ — показатель микроциркуляции; Мнутр — нутритивный кровоток; Ан — амплитуда нейрогенных колебаний; Ам — амплитуда миогенных колебаний; Ад — амплитуда дыхательных колебаний; Ас — амплитуда пульсовых колебаний; ФН — физическая нагрузка.

ПМ — microcirculation index; Мнутр. — nutritive blood flow; Ан — amplitude of neurogenic oscillations; Ам — amplitude of myogenic oscillations; Ад — amplitude of respiratory oscillations; Ас — amplitude of pulse oscillations; ФН — physical exercise.

метаболических запросов скелетной мускулатуры. Поскольку у спортсменов разного уровня мастерства физиологические потребности различаются, то очевидно, что как характеристики микроциркуляторного русла парных органов, так и их реакции на физические нагрузки будут различаться [8, 11, 12]. При сравнительном анализе параметров микроциркуляции крови шорт-трековиков выявлена асимметрия между правым и левым предплечьями. Величина перфузии в правой конечности имеет более высокие значения по сравнению с левой как до, так и после ФН. Нутритивный кровоток демонстрирует аналогичную зависимость, что означает преимущественное движение крови по капиллярному пути в коже правого запястья у всех спортсменов независимо от уровня подготовки. В целом, высокий уровень нутритивной составляющей перфузии является характерным для данной области измерения ввиду особенностей ангиоархитектоники, а именно малого количества артериоло-венулярных анастомозов. Причиной описанной асимметрии может являться и то, что среди испытуемых преобладали правши. В работах [9, 17] показана возможная зависимость параметров микрокровотока от ведущей стороны тела человека, а именно более высокие значения периферического кровотока в правом запястье, в том числе у детей разного возраста. Анализ изменений ПМ и $М_{нутр}$ без разделения спортсменов по уровню подготовки показал статистически значимый рост как общей интенсивности кровотока, так и ее нутритивной составляющей после ФН. Такая динамика может указывать на активацию доставки кислорода и удаление метаболитов из биотканей. Полученные результаты позволяют предположить, что с повышением уровня спортивного мастерства у шорт-трековиков наблюдается более выраженный адаптационный потенциал периферического кровообращения к ФН, а именно рост кожной перфузии, который можно оценить при контроле периферического кровотока на не доминантной руке. Обнаруженные различия в микроциркуляции парных конечностей у спортсменов разного уровня мастерства являются дополнительным подтверждением формирования структурно-функциональных особенностей микроциркуляторного русла в парных органах, обеспечивающих адаптационную устойчивость организма к систематическим физическим нагрузкам. Показано, что именно перераспределение баланса между регуляторными влияниями различных компонент сосудистого тонуса в сторону роста амплитуд колебаний кровотока, наиболее выраженного в миогенном диапазоне, играет определяющую роль в поддержании устойчивого функционирования системы МЦР. Усиление вазомоторной активности прекапиллярных сфинктеров способствует переходу большего числа капилляров в активное состояние и может быть отражением интенсификации снабжения клеток биоткани кислородом и питательными веществами [5, 20, 24]. После ФН в результате усиления общей перфузии и нутритивного кровотока на обеих конечностях величина КА снижается на фоне повышения КА в параметрах амплитуд колебаний механизмов регуляции кровотока. При этом показатель КА тем больше, чем выше уровень подготовки спортсменов. В частности, у спортсменов уровня КМС наблюдается снижение коэффициента асимметрии по ПМ, что в сочетании с увеличением КА амплитуд активных колебаний свидетельствует о более сбалансированном перераспределении кровотока и высокой эффективности локальных регуляторных механизмов. Полученные данные иллюстрируют специфичность регуляции микрокровотока парных органов, обусловленную наличием функциональной асимметрии. Результаты исследования могут быть использованы в спортивной практике для разработки методов персонализированных оценок достаточности метаболических потребностей с участием системы микроциркуляции и дифференцированных подходов к прогнозированию результативности в спорте.

5. Заключение

1. Проведенный анализ показал, что у шорт-трековиков до и после дозированной физической нагрузки наблюдаются синхронные изменения параметров микроциркуляции крови в симметричных областях верхних конечностей.

2. Исходно параметры микроциркуляции крови в правом предплечье превышают аналогичные параметры на левой конечности, что также сохраняется после физической нагрузки.

3. В ответ на физическую нагрузку функциональная асимметрия тканевой перфузии и её нутритивной составляющей снижается, что свидетельствует о перераспределении кровотока и активации компенсаторных механизмов.

4. Наиболее выраженные изменения после ФН зафиксированы для нутритивного кровотока и миогенного компонента регуляции, что подчеркивает значимость данных механизмов в адаптации микроциркуляторного русла к физической нагрузке.

5. У спортсменов более высокого уровня мастерства отмечается более выраженная адаптационная реакция микроциркуляции крови, что проявляется в большей стабилизации параметров после ФН путём адаптации микрогемодинамического гомеостаза к локальным потребностям биотканей организма.

6. Полученные результаты могут быть использованы в спортивной физиологии для оптимизации тренировочного процесса и учета функциональной асимметрии при построении индивидуальных тренировочных программ, а также лечь в основу методик контроля функционального состояния человека в экстремальных условиях.

Литература

1. **Брук Т.М., Литвин Ф.Б.** Оценка реактивности системы микроциркуляции на физическую нагрузку при сочетанном применении природных биодобавок и НИЛИ у спортсменов с разными типами регуляции сердечного ритма. Наука и спорт: современные тенденции. 2023;11(2):6–14. https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-2-6-14
2. **Кротова К.А., Литвин Ф.Б.** Перспективы использования апипродукта «Билар» для повышения функциональных возможностей системы микрогемоциркуляции спортсменов. Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. 2024;10(3):79–91. https://doi.org/10.29039/2413-1725-2024-10-3-79-91
3. **Lenasi H.** Physical exercise and skin microcirculation. Periodicum biologorum. 2014;116(1):21–28.
4. **Быков А.Т., Литвин Ф.Б., Баранов В.В., Жигало В.Я., Зезюля В.С.** Оценка влияния молочной ферментированной сыворотки на морфофункциональный статус и работоспособность спортсменов при интенсивных физических нагрузках. Вопросы питания. 2016;85(3):111–119.
5. **Литвин Ф.Б., Кротова К.А., Жигало В.Я., Калоша А.И.** Сравнительный анализ микроциркуляторных реакций на физическую нагрузку у баскетболистов. Современные вопросы биомедицины. 2024;8(1):94–100. https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024_08_01_9
6. **Бабошина Н.В.** Оценка микроциркуляции у младших школьников при проведении пробы с дозированной мышечной нагрузкой. Медицинский академический журнал. 2016;16(4):12–17. https://doi.org/10.17816/MAJ16412-12.
7. **Frolov A., Loktionova Y., Zharkikh E., Sidorov V., Tankanag A., Dunaev A.** Effects of Voluntary Changes in Minute Ventilation on Microvascular Skin Blood Flow. Journal of Science in Sport and Exercise. 2024;7(2):215–229. https://doi.org/10.1007/s42978-023-00268-3
8. **Mezentseva L.V., Pertsov S.S.** Synchronous changes in microcirculation parameters of the upper limbs in asymmetric physical loads. Human Physiology. 2020;46(6):671–676. https://doi.org/10.1134/s036211972004009x
9. **Козлов В.И., Сахаров В.Н., Гурова О.А., Сидоров В.В.** Оценка состояния микроциркуляции у детей 6-7 лет по данным лазерной допплеровской флоуметрии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021;20(3):46–53. https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-3-46-53
10. **Фролов А.В., Локтионова Ю.И., Жарких Е.В., Сидоров В.В., Крупаткин А.И., Дунаев А.В.** Исследование изменений кожной микроциркуляции крови при выполнении дыхательной техники хатха-йоги. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021;20(4):33–44. https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-4-33-44
11. **Ермолаева С.А., Локтионова Ю.И., Дубасова Е.Г., Дунаев А.В., Фролов А.В.** Исследование изменений кожной микроциркуляции крови при выполнении инверсионной позы йоги с помощью распределенной системы портативных анализаторов. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024;23(4):67–77. https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-4-67-77
12. **Фролов А.В., Локтионова Ю.И., Жарких Е.В., Сидоров В.В., Танканаг А.В., Дунаев А.В.** Реакция микроциркуляции крови в коже различных участков тела при выполнении дыхательных упражнений йоги. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2023;22(1):72–84. https://doi.org/10.24884/1682-6655-2023-22-1-72-84

References

1. **Bruk T.M., Litvin F.B.** Assessment of the microcirculation system reactivity to physical load with the combined use of natural bio supplements and low-intensity laser radiation in athletes with different types of heart rate regulation. Science and Sports: Current Trends. 2023;11(2):6–14. (In Russ.). https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-2-6-14
2. **Krotova K.A., Litvin F.B.** Prospects of using the Bilar apiproduct to enhance the functionality of the athletes' microhemocirculation system. Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University Biology. Chemistry. 2024;10(3):79–91. (In Russ.). https://doi.org/10.29039/2413-1725-2024-10-3-79-91
3. **Lenasi H.** Physical exercise and skin microcirculation. Journal of Applied Physiology. 2003;94(5):2007–2014.
4. **Bykov A.T., Litvin F.B., Baranov V.V., Zhigalo V.**Ya., **Zezyulya V.S.** The influence of fermented dairy wheyon morphofunctional indices and physical training of sportsmen. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2016;85(3):111–119. (In Russ.).
5. **Litvin F.B., Krotova K.A., Zhigalo V.**Ya., **Kalosha A.I.** Comparative analysis of microcirculatory reactions to physical activity of basketball players. Modern Issues of Biomedicine. 2024;8(1):94–100. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024_08_01_94
6. **Baboshina N.V.** Assessment of microcirculation in primary school students during a test with a dosed muscle load. Medical Academic Journal. 2016;16(4):12–17. (In Russ.). https://doi.org/10.17816/MAJ16412-12
7. **Frolov A., Loktionova Y., Zharkikh E., Sidorov V., Tankanag A., Dunaev A.** Effects of Voluntary Changes in Minute Ventilation on Microvascular Skin Blood Flow. Journal of Science in Sport and Exercise. 2024;7(2):215–229. https://doi.org/10.1007/s42978-023-00268-3
8. **Mezentseva L.V., Pertsov S.S.** Synchronous changes in microcirculation parameters of the upper limbs in asymmetric physical loads. Human Physiology. 2020;46(6):671–676. https://doi.org/10.1134/s036211972004009x
9. **Kozlov V.I., Sakharov V.N., Gurova O.A., Sidorov V.V.** Laser doppler flowmetry assessment of microcirculation in children of 6–7 years old. Regional blood circulation and microcirculation. 2021;20(3):46–53. (In Russ.). https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-3-46-53
10. **Frolov A.V., Loktionova Yu.I., Zharkikh E.V., Sidorov V.V., Krupatkin A.I., Dunaev A.V.** Investigation of changes in the skin blood microcirculation when performing the hatha yoga breathing technique. Regional blood circulation and microcirculation. 2021;20(4):33–44. (In Russ.). https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-4-33-44
11. **Ermolaeva S.A., Loktionova Yu.I., Dubasova E.G., Dunaev A.V., Frolov A.V.** Assessment of cutaneous blood microcirculation changes while performing hatha yoga inverted pose using a distributed system of wearable analyzers. Regional blood circulation and microcirculation. 2024;23(4):67–77. (In Russ.). https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-4-67-77
12. **Frolov A.V., Loktionova Yu.I., Zharkikh E.V., Sidorov V.V., Tankanag A.V., Dunaev A.V.** The reaction of blood microcirculation in the skin of various parts of the body after performing yoga breathing exercises. 2023;22(1):72–84. (In Russ.). https://doi.org/10.24884/1682-6655-2023-22-1-72-84

13. **Паршакова В.Е., Жарких Е.В., Локтионова Ю.И. Коськин А.В., Дунаев А.В.** Исследование физиологического разброса параметров микроциркуляторно-тканевых систем организма человека с помощью мультимодальных портативных анализаторов. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2024;2(364):165–176.

14. **Loktionova Yu.I., Zharkikh E.V., Parshakova V.E., Sidorov V.V., Dunaev A.V.** Multimodal Optical Analyzers: Physiological Variability and Reproducibility of Measurements. J. Biophotonics. 2025;18(4):e202400527. https://doi.org/10.1002/jbio.202400527

15. **Zherebtsov E.A., Zharkikh E.V., Loktionova Y.I., Zherebtsova A.A., Sidorov V.V., Rafailov E.U., Dunaev A.V.** Wireless Dynamic Light Scattering Sensors Detect Microvascular Changes Associated With Ageing and Diabetes. IEEE Trans. Biomed. Eng. 2023;70(11):3073–3081. https://doi.org/10.1109/tbme.2023.3275654

16. **Dunaev A.** Wearable Devices for Multimodal Optical Diagnostics of Microcirculatory-Tissue Systems: Application Experience in the Clinic and Space. Journal of Biomedical Photonics & Engineering. 2023;9(2):1–10. https://doi.org/10.18287/jbpe23.09.020201

17. **Mikhailichenko L.A., Mezentseva L.V.** Correlation and spectral analysis of vascular tone regulator mechanisms in paired formations during postnatal ontogenesis in rats. Bull. Exp. Biol. Med. 2015;158(3):308–312. https://doi.org/10.1007/s10517-015-2748-5

18. **Benedicic M., Bernjak A., Stefanovska A., Bosnjak R.** Continuous wavelet transform of laser-Doppler signals from facial microcirculation reveals vasomotion asymmetry. Microvasc. Res. 2007;74(1):45–50. https://doi.org/10.1016/j.mvr.2007.02.007

19. **Мезенцева Л.В., Дудник Е.Н., Никенина Е.В.** Сравнительный анализ микроциркуляторных реакций на гипоксические воздействия у испытуемых мужского и женского пола. Физиология человека. 2022;48(2):71–78. https://doi.org/10.31857/S0131164622020114

20. **Литвин Ф.Б., Становов В.В., Бойко Г.М., Пурыгина М.Г.** Метаболические возможности микроциркуляторного русла у спортсменов в условиях применения биопродукта. Физическое воспитание и спортивная тренировка. 2021;4(38):104–111.

21. **Kralj L., Lenasi H.** Wavelet analysis of laser Doppler microcirculatory signals: Current applications and limitations. Front Physiol. 2023;13:1076445. doi:10.3389/fphys.2022.1076445

22. **Zafrani L., Payen D., Azoulay E., Ince C.** The microcirculation of the septic kidney. Semin. Nephrol. 2015;35(1):75–84. https://doi.org/10.1016/j.semnephrol.2015.01.008

23. **Penzel T., Porta A., Stefanovska A., Wessel N.** Recent advances in physiological oscillations. Physiol. Meas. 2017;38(5):E1–E7. https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa6780

24. **Дунаев А.В.** Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека. Старый Оскол: ТНТ; 2022.

25. **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;65(3):160–171. https://doi.org/10.1016/s0026-2862(03)00006-2

26. **Wilmore J.H., Costill D.L.** Physiology of sport and exercise. Champaign, Illinois: Human Kinetics; 2004.

27. **Tsukada T., Yokoyama K., Arai T., Takemoto F., Hara S., Yamada A., Kawaguchi Y., Hosoya T., Igari J.** Evidence of association of the eNOS gene polymorphism with plasma NO metabolite levels in humans. Biochem. Biophys. Res. Commun. 1998;245(1):190–193. https://doi.org/10.1006/bbrc.1998.8267

13. **Parshakova V.E., Zharkikh E.V., Loktionova Yu.I. Koskin A.V., Dunaev A.V.** Study of physiologic variabity of microcirculatory-tissue systems parameters of human organism using multimodal portable analyzers. Fundamental and Applied Problems of Technics and technology. 2024;2(364):165–176. (In Russ.).

14. Loktionova Yu.I., **Zharkikh E.V., Parshakova V.E., Sidorov V.V., Dunaev A.V.** Multimodal Optical Analyzers: Physiological Variability and Reproducibility of Measurements. J. Biophotonics. 2025;18(4):e202400527. https://doi.org/10.1002/jbio.202400527

15. **Zherebtsov E.A., Zharkikh E.V., Loktionova Y.I., Zherebtsova A.A., Sidorov V.V., Rafailov E.U., Dunaev A.V.** Wireless Dynamic Light Scattering Sensors Detect Microvascular Changes Associated With Ageing and Diabetes. IEEE Trans. Biomed. Eng. 2023;70(11):3073–3081. https://doi.org/10.1109/tbme.2023.3275654

16. **Dunaev A.** Wearable Devices for Multimodal Optical Diagnostics of Microcirculatory-Tissue Systems: Application Experience in the Clinic and Space. Journal of Biomedical Photonics & Engineering. 2023;9(2):1–10. https://doi.org/10.18287/jbpe23.09.020201

17. **Mikhailichenko L.A., Mezentseva L.V.** Correlation and spectral analysis of vascular tone regulator mechanisms in paired formations during postnatal ontogenesis in rats. Bull. Exp. Biol. Med. 2015;158(3):308–312. https://doi.org/10.1007/s10517-015-2748-5

18. **Benedicic M., Bernjak A., Stefanovska A., Bosnjak R.** Continuous wavelet transform of laser-Doppler signals from facial microcirculation reveals vasomotion asymmetry. Microvasc. Res. 2007;74(1):45–50. https://doi.org/10.1016/j.mvr.2007.02.007

19. **Mezentseva L.V., Dudnik E.N., Nikenina E.V.** Comparative analysis of microcirculatory reactions to hypoxic effects in male and female subjects. Human Physiology. 2022;48(2):71–78. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S0131164622020114

20. **Litvin F.B., Stanovov V.V., Boyko G.M., Purygina M.G.** Metabolic possibilities of microcirculator flow in athletes through the application of a bioproduct. Physical education and sports training. 2021;4(38):104–111. (In Russ.).

21. **Kralj L., Lenasi H.** Wavelet analysis of laser Doppler microcirculatory signals: Current applications and limitations. Front Physiol. 2023;13:1076445. doi:10.3389/fphys.2022.1076445

22. **Zafrani L., Payen D., Azoulay E., Ince C.** The microcirculation of the septic kidney. Semin. Nephrol. 2015;35(1):75–84. https://doi.org/10.1016/j.semnephrol.2015.01.008

23. **Penzel T., Porta A., Stefanovska A., Wessel N.** Recent advances in physiological oscillations. Physiol. Meas. 2017;38(5):E1–E7. https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa6780

24. **Dunaev A.V.** Multimodal Optical Diagnostics of Microcirculatory and Tissue Systems in the Human Body. Stary Oskol: TNT; 2022. (In Russ.).

25. **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;65(3):160–171. https://doi.org/10.1016/s0026-2862(03)00006-2

26. **Wilmore J.H., Costill D.L.** Physiology of sport and exercise. Champaign, Illinois: Human Kinetics; 2004.

27. **Tsukada T., Yokoyama K., Arai T., Takemoto F., Hara S., Yamada A., Kawaguchi Y., Hosoya T., Igari J.** Evidence of association of the eNOS gene polymorphism with plasma NO metabolite levels in humans. Biochem. Biophys. Res. Commun. 1998;245(1):190–193. https://doi.org/10.1006/bbrc.1998.8267

28. **Prior B.M., Yang H.T., Terjung R.L.** What makes vessels grow with exercise training? J. Appl. Physiol. (1985). 2004;7(3):1119–1128. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00035.2004

29. **Zhu H., Binghong G.A.O.** The Study of Relationship Between Maximum Reserve Capacity of MicrocirculatoryBlood Perfusion and Functional Status of Man Rower During Six Weeks of Altitude Training. J. Henan Normal Univ. Sci. Ed. 2016;44(02):176–182. (In Chinese). https://doi.org/10.16366/j.cnki.1000-2367.2016.02.031

28. **Prior B.M., Yang H.T., Terjung R.L.** What makes vessels grow with exercise training? J. Appl. Physiol. (1985). 2004;7(3):1119–1128. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00035.2004

29. **Zhu H., Binghong G.A.O.** The Study of Relationship Between Maximum Reserve Capacity of Microcirculatory-Blood Perfusion and Functional Status of Man Rower During Six Weeks of Altitude Training. J. Henan Normal Univ. Sci. Ed. 2016;44(02):176–182. (In Chinese). https://doi.org/10.16366/j.cnki.1000-2367.2016.02.031

Информация об авторе:

Литвин Федор Борисович, д.б.н., профессор, профессор кафедры биологических дисциплин, ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет спорта», Россия, 210418, Смоленск, пр-т Гагарина, 23. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2281-8757 (e-mail: bf-litvin@yandex.ru)

Information about the author:

Fedor B. Litvin, D-r Sci. (Biol.), Professor, Professor of Biological Subjects Department, Smolensk State University of Sports, 23 Gagarin ave., Smolensk, 210418, Russia. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2281-8757 (e-mail: bf-litvin@yandex.ru)