ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

EXPERIMENTAL MATERIAL

УДК 612.1:796.01

ББК 28.707.3+75.0

DOI 10.47475/2500-0365-2026-11-3-80-87

АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО КРОВОТОКА СТУДЕНТОВ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

И. В. Бочарин[1,2], М. С. Гурьянов[2], А. И. Метальников[3], И. А. Золотухина[4], Д. Г. Радченко[5], И. В. Черданцева[6]

[1] *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия*

[2] *Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия*

[3] *Алтайский государственный медицинский университет, Барнаул, Россия*

[4] *Алтайский государственный педагогический университет, Барнаул, Россия*

[5] *Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия*

[6] *Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия*

Аннотация. Микроциркуляция определяет эффективность тканевого обмена и отражает адаптационные возможности организма к физическим нагрузкам. При этом недостаточно изучена вариативность микроциркуляции у студентов с разной двигательной активностью. Цель — классификация типов микроциркуляции у 52 студентов разной физической подготовки. Применялась лазерная допплеровская флоуметрия. Установлены различия в структуре кровотока: у спортсменов преобладают системные механизмы регуляции и энергоэффективные фенотипы микроциркуляции. Повышение двигательной активности способствует формированию устойчивой и интегрированной системы микроциркуляции с оптимизацией метаболических процессов.

Ключевые слова: *вариабельность кровотока, микроциркуляция, физическая активность, адаптация, студенты, сосудистая регуляция, лазерная доплеровская флоуметрия, метаболизм.*

Актуальность. Функциональное состояние микроциркуляции рассматривается как один из ключевых интегративных показателей, отражающих адаптацию организма к физическим нагрузкам [5; 8; 9]. Именно на этом уровне реализуется финальный этап транспорта кислорода и метаболитов, во многом определяющий эффективность тканевого обмена и устойчивость физиологических систем к нагрузке [6; 7; 12].

По данным современных исследований, регулярная двигательная активность влияет не столько на величину базовой перфузии, сколько на механизмы ее регуляции [2; 4; 11]. При этом меняется соотношение локальных (эндотелиальных, миогенных) и системных (кардиореспираторных) факторов контроля сосудистого тонуса [10]. Характер таких перестроек, как правило, зависит от уровня тренированности и специфики двигательной активности.

Вместе с тем вариативность микроциркуляторных реакций у студентов с различным режимом физической активности остается изученной недостаточно полно. Особый интерес представляет выделение типичных фенотипов регуляции кровотока, а также анализ взаимосвязи гемодинамических и метаболических процессов.

В связи с этим представляется целесообразным комплексное исследование микроциркуляции с учетом параметров перфузии, спектральных характеристик и показателей тканевого метаболизма.

Цель исследования. Изучить особенности региональной гемодинамики и выделить типы микроциркуляции у студентов с различным уровнем физической подготовленности.

Методы исследования. В исследовании приняли участие 52 студента мужского пола (средний возраст — 19,4±1,2 года), обучающиеся в Приволжском исследовательском медицинском университете г. Нижнего Новгорода. Все участники были распределены на две группы в зависимости от уровня двигательной активности. Исследование проводилось с соблюдением этических норм, при наличии информированного добровольного согласия. Анализ результатов эксперимента выполнялся на базах Алтайского государственного университета, Алтайского государственного педагогического университета, Алтайского государственного медицинского университета (Барнаул) и Сибирского государственного университета науки и технологий им. М. Ф. Решетнева (Красноярск).

В первую группу (n = 30) включены студенты, занимающиеся физической культурой эпизодически (не более одного раза в неделю). Вторую группу (n = 22) составили студенты — члены сборной команды университета, регулярно тренирующиеся не менее двух раз в неделю.

Оценку микроциркуляции проводили методом лазерной допплеровской флоуметрии с использованием программно-аппаратного комплекса «Лазма-ПФ». Регистрация осуществлялась в стандартных условиях (сидя, датчик фиксировался на коже пальца кисти), длительность записи — 5 минут. Анализ включал показатели уровня перфузии (М); вариабельности кровотока (флакс (σ), коэффициент варианции (Kv)); нутритивный и шунтовой компоненты; амплитуды колебаний эндотелиального, нейрогенного, миогенного, дыхательного и сердечного механизмов регуляции (Аэ, Ан, Ам, Ад, Ас); показатель окислительного метаболизма (ПОМ), рассчитанный на основе соотношения перфузии и флуоресценции НАДН.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов вариационной статистики. Результаты представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего (M±m). Для оценки межгрупповых различий применялся критерий Краскела — Уоллиса. Кластерный анализ выполнялся методом k-средних. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Сравнительный анализ показал, что базовый уровень перфузии у студентов обеих групп существенно не различается (табл. 1). Это позволяет предположить, что в состоянии относительного покоя кровоснабжение тканей поддерживается на сопоставимом уровне независимо от тренированности.

Таблица 1

Показатели микроциркуляции у студентов с различной физической подготовленностью (n=52), M±m

Показатель	Группы испытуемых		$P < 0,05$
	Группа 1 (низкая двигательная активность, n = 31)	Группа 2 (высокая двигательная активность, n = 21)	
М, перф. ед.	19,6±9,1	21,3±7,5	
$М_{нутр}$, перф. ед.	11,2±5,4	9,1±3,2	1–2
$М_{шунт}$, перф. ед.	8,4±5,9	12,2±5,5	1–2
σ, перф. ед.	2,7±2,1	3,3±1,4	1–2
Kv, %	13,8±5,8	17,5±6,1	1–2
Аэ, перф. ед.	0,95±0,61	1,08±0,42	
Ан, перф. ед.	0,97±0,63	1,12±0,51	
Ам, перф. ед.	0,88±0,54	0,79±0,25	
Ад, перф. ед.	0,55±0,34	0,44±0,16	1–2
Ас, перф. ед.	0,59±0,31	0,66±0,29	1–2
ПОМ, у. е.	8,9±5,2	13,1±18,4	1–2

Примечание: P — достоверность различий в показателях микроциркуляции между группами, тест Краскела — Уоллиса, $p<0,05$.

Вместе с тем структура кровотока оказалась различной. У студентов с низкой двигательной активностью преобладал нутритивный компонент, тогда как у спортсменов отмечалось увеличение доли шунтового кровотока. Вероятно, это связано с формированием более выраженных механизмов перераспределения крови у тренированных лиц.

Показатели вариабельности кровотока (σ и Kv) были выше в группе спортсменов, что свидетельствует о большей динамичности регуляции сосудистого тонуса. Подобная особенность может рассматриваться как проявление более гибкой системы контроля микроциркуляции.

Показатели вариабельности (σ и Kv) были выше у спортсменов, что указывает на большую динамичность регуляции сосудистого тонуса. Подобные изменения могут отражать более гибкую систему контроля микроциркуляции.

Анализ спектральных характеристик показал, что у менее активных студентов значительнее выражено влияние дыхательных колебаний, тогда как у спортсменов усиливается вклад сердечного компонента. Это свидетельствует о смещении регуляции в сторону системных механизмов при регулярных физических нагрузках.

Кластерный анализ позволил выделить три типа микроциркуляции в каждой группе (табл. 2). Первый кластер (n = 14) характеризовался умеренным уровнем перфузии (M = 22,1±3,2 перф. ед.) при повышенной вариабельности кровотока (Kv = 19,4±3,9 %). Также фиксируются максимальные значения амплитуд активных механизмов регуляции (Аэ = 1,41±0,5; Ан = 1,37±0,5;

Таблица 2

Кластерный анализ показателей микроциркуляции у студентов с разным режимом двигательной активности (n = 52), M±m

Группа 1 (низкая двигательная активность, n = 31)				
Показатель	1 кластер (n = 14)	2 кластер (n = 7)	3 кластер (n = 10)	P < 0,05
М, перф. ед.	22,1±3,2	35,6±5,9	10,4±2,9	1–2; 1–3; 2–3
$М_{нутр}$, перф. ед.	13,6±4,0	17,2±6,1	5,8±1,8	1–2; 1–3; 2–3
$М_{шунт}$, перф. ед.	8,5±3,5	18,4±6,9	4,6±1,4	1–2; 1–3; 2–3
σ, перф. ед.	3,5±3,2	2,3±0,8	2,2±1,4	1–2; 1–3
Kv, %	19,4±3,9	7,2±1,1	13,8±3,5	1–2; 1–3; 2–3
Аэ, перф. ед.	1,41±0,5	0,82±0,3	0,69±0,2	1–2; 1–3
Ан, перф. ед.	1,37±0,5	0,75±0,3	0,71±0,2	1–2; 1–3
Ам, перф. ед.	1,28±0,6	0,76±0,4	0,58±0,2	1–2; 1–3; 2–3
Ад, перф. ед.	0,68±0,2	0,79±0,3	0,34±0,1	1–3; 2–3
Ас, перф. ед.	0,64±0,2	0,85±0,2	0,42±0,1	1–3; 2–3
ПОМ, у. е.	11,9±5,2	10,4±3,1	4,1±1,5	1–3; 2–3
Группа 2 (высокая двигательная активность, n = 21)				
Кластер/ Показатель	1 кластер (n = 12)	2 кластер (n = 2)	3 кластер (n = 7)	P < 0,05
М, перф. ед.	8,1±2,0	29,6±5,4	32,4±1,0	1–2; 1–3; 2–3
$М_{нутр}$, перф. ед.	7,7±2,1	12,7±2,9	12,2±2,1	1–2; 1–3
$М_{шунт}$, перф. ед.	8,9±3,4	4,3±2,6	3,0±0,7	1–2; 1–3
σ, перф. ед.	3,0±1,2	3,9±1,4	2,6±0,5	1–3; 2–3
Kv, %	16,9±4,7	12,4±3,9	8,6±2,3	1–2; 1–3; 2–3
Аэ, перф. ед.	1,04±0,3	1,39±0,2	0,52±0,1	1–2; 1–3; 2–3
Ан, перф. ед.	1,10±0,3	1,16±0,3	0,68±0,2	1–3; 2–3
Ам, перф. ед.	0,81±0,1	0,83±0,1	0,56±0,1	1–3; 2–3
Ад, перф. ед.	0,41±0,1	0,59±0,1	0,51±0,1	
Ас, перф. ед.	0,61±0,2	0,65±0,1	0,67±0,3	
ПОМ, у. е.	6,2±2,3	108,0±15,6	10,1±2,5	1–2; 2–3

Примечание: P — достоверность различий в показателях микроциркуляции между кластерами, тест Краскела — Уоллиса, p < 0,05.

Ам = 1,28±0,6), что свидетельствует о выраженной мобилизации локальных регуляторных звеньев.

Уровень окислительного метаболизма (ПОМ = = 11,9±5,2 у. е.) остается относительно высоким, что указывает на сохранение тканевой активности при значительных затратах регуляторных ресурсов. Данный тип отражает компенсаторно-напряженный фенотип, характеризующийся повышенной лабильностью и функциональной неустойчивостью микроциркуляции.

Второй кластер (*n* = 7) отличался наиболее высокими значениями перфузии (М = 35,6±5,9 перф. ед.) при низкой вариабельности кровотока (Kv = = 7,2±1,1 %). При этом отмечается снижение активности активных механизмов регуляции на фоне сохранения умеренного уровня метаболической активности (ПОМ = 10,4±3,1 у. е.). Интересно отметить, что подобная комбинация параметров свидетельствует о формировании устойчивого и энергоэффективного режима функционирования микроциркуляции, при котором достигается оптимальный баланс между кровоснабжением и метаболическими потребностями тканей. Данный тип можно отнести к нормоэргическому фенотипу.

Третий кластер (*n* = 10) характеризуется сниженным уровнем перфузии (М = 10,4±2,9 перф. ед.), уменьшением вклада нутритивного компонента ($М_{нутр}$ = 5,8±1,8) и низким уровнем окислительного метаболизма (ПОМ = 4,1±1,5 у. е.). При этом сохраняется умеренная вариабельность кровотока (Kv = 13,8±3,5 %), что отражает нестабильность регуляции на фоне общего дефицита кровоснабжения. Данный тип представляет собой гипоперфузионный (гипоэргический) фенотип, свидетельствующий о снижении адаптационного потенциала микроциркуляторного русла.

У студентов с регулярной физической нагрузкой структура кластеров отражает более высокий уровень организации микроциркуляции. Первый кластер (*n* = 12) характеризуется умеренными значениями перфузии (М = 8,1±2 перф. ед.) при относительно высокой вариабельности (Kv = 16,9±4,7 %). При этом показатели активных механизмов регуляции сбалансированы, а уровень метаболической активности (ПОМ = 6,2±2,3 у. е.) соответствует физиологической норме. Это свидетельствует о функционально устойчивом состоянии микроциркуляции, обеспечивающем адекватное кровоснабжение тканей. Данный тип можно рассматривать как нормоэргический адаптационный фенотип.

Второй кластер (*n* = 2) отличается повышенным уровнем перфузии (М = 29,6±5,4 перф. ед.) в сочетании с резко увеличенным уровнем окислительного метаболизма (ПОМ = 108,0±15,6 у. е.). Данный феномен отражает гиперметаболическое состояние, вероятно, связанное с индивидуальной реактивностью или постнагрузочным эффектом. С учетом малочисленности кластер можно трактовать как индивидуально выраженный гиперреактивный тип.

Третий кластер (*n* = 7) характеризуется высокими значениями перфузии (М = 32,4±1 перф. ед.) при низкой вариабельности кровотока (Kv = 8,6±2,3 %), что свидетельствует о высокой степени упорядоченности сосудистой регуляции. Уровень метаболической активности (ПОМ = 10,1±2,5 у. е.) указывает на эффективное сопряжение кровотока и тканевого обмена. Данный тип соответствует гиперэргическому фенотипу микроциркуляции, характеризующемуся высоким функциональным резервом.

Таким образом, увеличение уровня двигательной активности сопровождается сдвигом структуры микроциркуляции в сторону более устойчивых и энергоэффективных фенотипов, снижением доли гипоперфузионных состояний и усилением согласованности между гемодинамическими и метаболическими механизмами регуляции.

Полученные результаты в целом не противоречат данным зарубежных исследований, в которых также подчеркивается значимое влияние регулярной физической активности на состояние микроциркуляции. В ряде работ показано, что у тренированных лиц параметры кровотока отличаются большей устойчивостью, а механизмы сосудистой регуляции функционируют более эффективно. Это, как правило, проявляется снижением избыточной вариабельности перфузии и усилением роли системных факторов в контроле микроциркуляции [10–12].

Похожие закономерности описаны и в исследованиях, посвященных адаптации к аэробным и смешанным нагрузкам. Отмечается, что по мере увеличения уровня тренированности возрастает вклад кардиореспираторных колебаний в регуляцию кровотока, а взаимодействие между микро- и макрогемодинамикой становится более согласованным [3; 7; 9; 11]. В этом контексте выявленное в данном исследовании усиление влияния дыхательного и сердечного компонентов у физически активных студентов выглядит вполне закономерным. В противоположность этому у студентов с низкой двигательной активностью наблюдается более выраженная неоднородность микроциркуляторных реакций.

Результаты кластерного анализа также укладываются в современные представления о существовании различных функциональных типов микроциркуляции. Показано, что спектр этих состояний может варьировать от гипоперфузионных до гиперэргических, отражая степень адаптации организма к нагрузке. Преобладание у тренированных лиц более устойчивых, нормо- и гиперэргических вариантов, по-видимому, связано с формированием энергоэкономичной модели кровообращения, при которой доставка кислорода лучше соответствует метаболическим потребностям тканей.

Таким образом, полученные данные позволяют рассматривать регулярную физическую активность как фактор, способствующий переходу от преимущественно локальной регуляции микроциркуляции к более интегрированной системе с участием центральных механизмов. Это, в свою очередь, обеспечивает большую устойчивость функционирования кровообращения в различных условиях.

Выводы

1. Уровень двигательной активности оказывает существенное влияние на организацию микроциркуляции у студентов. При низкой активности наблюдается большая вариабельность и неоднородность показателей, тогда как у тренированных лиц формируется более стабильная система регуляции.

2. Выделенные фенотипы микроциркуляции отражают различную степень адаптации к физическим нагрузкам: от гипоперфузионных и лабильных состояний до более устойчивых и энергоэффективных вариантов.

3. Для студентов с низкой физической активностью характерно преобладание локальных механизмов регуляции, в то время как у спортсменов возрастает роль системных факторов.

4. Регулярные физические нагрузки способствуют формированию более рационального взаимодействия между кровотоком и тканевым метаболизмом.

5. Использование методов оценки микроциркуляции и кластерного анализа представляется перспективным для диагностики адаптационных состояний и индивидуализации тренировочного процесса.

Список литературы

1. Бахарева, А. С. Реактивность системы гемодинамики у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании / А. С. Бахарева, Д. З. Шибкова, Ю. Н. Романов // Современные вопросы биомедицины. 2024. Т. 8 (3).

2. Брук, Т. М. Оценка реактивности системы микроциркуляции на физическую нагрузку при сочетанном применении природных биодобавок и НИЛИ у спортсменов с разными типами регуляции сердечного ритма / Т. М. Брук, Ф. Б. Литвин // Наука и спорт: современные тенденции. 2023. Т. 11, № 2. С. 6–14.

3. Брук, Т. М. Состояние микрогемоциркуляторного русла у высококвалифицированных футболистов с разными преобладающими типами вегетативной регуляции / Т. М. Брук, Ф. Б. Литвин, Н. В. Осипова, К. Ю. Косорыгина, П. А. Терехов // Смоленский медицинский альманах. 2018. № 4. С. 148–150.

4. Двурекова, Е. А. Особенности реакции системы микроциркуляции квалифицированных прыгунов в воду на физическую нагрузку / Е. А. Двурекова, И. Е. Попова // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. 2024. № 6. С. 31–33.

5. Коршунова, А. А. Вариативность механизмов микроциркуляции в нижних конечностях / А. А. Коршунова, А. С. Башкина, В. В. Ключевский // Современные вопросы биомедицины. 2025. Т. 9, № 4 (34). С. 12.

6. Литвин, Ф. Б. Оценка состояния микроциркуляции крови у спортсменов-конников разного уровня мастерства по данным лазерной допплеровской флоуметрии / Ф. Б. Литвин, Т. М. Брук, К. Ю. Косорыгина // Культура физическая и здоровье. 2024. № 4 (92). С. 538–542.

7. Литвин, Ф. Б. Метаболические возможности микроциркуляторного русла у спортсменов в условиях применения биопродукта / Ф. Б. Литвин, В. В. Становов, Г. М. Бойко, М. Г. Пурыгина // Физическое воспитание и спортивная тренировка. 2021. № 4 (38). С. 104–111.

8. Сидоров, В. В. Аппаратура для комплексной неинвазивной диагностики состояний компартментов микроциркуляторно-тканевой системы кожи человека / В. В. Сидоров, Ю. Л. Рыбаков, В. М. Гукасов, Г. С. Евтушенко // Медицинская техника. 2021. № 4 (328). С. 4–6.

9. Тихомирова, И. А. Реология крови и микроциркуляция / И. А. Тихомирова // Успехи физиологических наук. 2023. Т. 54, № 1. С. 3–25. DOI: 10.31857/S0301179823010071.

10. Bocharin, I. Relationship between physical fitness, blood microcirculation activity, and nervous system function / I. Bocharin, M. Guryanov, B. Orazbekov, Z. Dzhooshbekova, A. Vorozheikin, L. Ryzhkova, A. Arkhipova, D. Radchenko, Y. Rib, S. Maukayeva, A. Metelev, V. Vasilyeva, S. Usenok, M. Anisimov // Journal of physical education and sport. 2025. Vol. 25, iss. 5. P. 969–967.

11. Guryanov, M. Blood micro-circulation state as a marker of the human body reserve capabilities to perform physical activity / M. Guryanov, I. Bocharin, E. Romanova, A. Pozdeeva, M. Kolokoltsev, O. Limarenko, N. Balashkevich, E. Faleeva, P. Tyupa,

P. Aganov // Journal of physical education and sport. 2023. Vol. 23, iss. 5. P. 1086–1091.

12. Martusevich, A. Metabolic monitoring to assess the response of the body to physical loads / A. Martusevich, I. Bocharin, M. Guryanov, E. Romanova, M. Kolokoltsev, Y. Vyazovichenko, L. Lobastova, S. Smirnov, N. Balashkevich, E. Redi // Journal of physical education and sport. 2023. Vol. 23, iss. 6. P. 1401–1406.

Статья поступила в редакцию 06.04.2026; принята к публикации 25.05.2026.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бочарин, И. В. Адаптационные возможности регионального кровотока студентов к физической нагрузке / И. В. Бочарин, М. С. Гурьянов, А. И. Метальников, И. А. Золотухина, Д. Г. Радченко, И. В. Черданцева // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. 2026. Т. 11, № 3. С. 80–87.

Сведения об авторах

Бочарин Иван Владимирович — кандидат биологических наук, доцент кафедры физической культуры и спорта, Приволжский исследовательский медицинский университет; доцент кафедры спортивной медицины и психологии, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского Нижний Новгород, Россия. **ORCID ID**: 0000-0002-4961-5351. **SPIN-**код: 4586-6828. **Author ID**: 1023369. **E-mail**: bocharin.ivan@mail.ru

Гурьянов Максим Сергеевич — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой физической культуры и спорта. Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия. **ORCID ID**: 0000-0001-9910-5141. **SPIN-**код: 2386-1670. **Author ID**: 609183. **E-mail**: msg210411@yandex.ru

Метальников Антон Иванович — кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой, доцент кафедры хирургических болезней детского возраста. Алтайский государственный медицинский университет, Барнаул, Россия. **ORCID ID**: 0000-0001-5383-0225. **SPIN-**код: 6634-4086. **Author ID**: 1110695. **E-mail**: ametalnickov@yandex.ru

Золотухина Инна Анатольевна — кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой физического воспитания. Алтайский государственный педагогический университет. Барнаул, Россия. **ORCID ID**: 0000-0003-3605-5073. **SPIN-**код: 1562-5703. **Author ID**: 574481. **E-mail**: zolotuxina_1979@inbox.ru

Радченко Дмитрий Геннадьевич — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры и здоровья. Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, Россия. **ORCID ID**: 0000-0003-4753-6059. **SPIN-код**: 5931-1220. **Author ID**: 721112. **E-mail**: dimytch111168@mail.ru

Черданцева Инна Владимировна — доктор философских наук, доцент, заведующий кафедрой философии и политологии. Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия. **ORCID ID**: 0000-0003-3445-8071. **SPIN-код**: 8579-2579. **Author ID**: 790477. **E-mail**: innacherd@mail.ru

PHYSICAL CULTURE. SPORT. TOURISM. MOTOR RECREATION
2026, vol. 11, no. 3, pp. 80–87.

Adaptive Possibilities of Students' Regional Blood Flow to Physical Activity

Bocharin I.V.[1,2], Guryanov M.S.[2], Metalnikov A.I.[3], Zolotukhina I.A.[4], Radchenko D.G.[5], Cherdanceva I.V.[6]

[1]National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia
[2]Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia
[3]Altai State Medical University, Barnaul, Russia
[4]Altai State Pedagogical University, Barnaul, Russia
[5]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
[6]Altai State University, Barnaul, Russia

Abstract. Microcirculation determines the effectiveness of tissue metabolism and reflects the body's adaptability to physical exertion. At the same time, the variability of microcirculation in students with different motor activity has not been sufficiently studied. The aim is to classify the types of microcirculation in 52 students of different physical fitness. Laser Doppler flowmetry was used. Differences in the structure of blood flow have been established: athletes are dominated by systemic regulatory mechanisms and energy-efficient microcirculation phenotypes. Increased motor activity contributes to the formation of a stable and integrated microcirculation system with optimization of metabolic processes.

Keywords: *blood flow variability, microcirculation, physical activity, adaptation, students, vascular regulation, laser Doppler flowmetry, metabolism*

References

1. Bahareva A.S., Shibkova D.Z., Romanov Yu.N. Reaktivnost sistemy gemodinamiki u sportsmenov ciklicheskih vidov sporta pri nagruzochnom testirovanii [Reactivity of the hemodynamic system in athletes of cyclic sports during stress testing]. *Sovremennye voprosy biomediciny* [Current biomedical issues], 2024, vol. 8 (3). (In Russ.).

2. Bruk T.M., Litvin F.B. Ocenka reaktivnosti sistemy mikrocirkulyacii na fizicheskuyu nagruzku pri sochetannom primenenii prirodnyh biodobavok i NILI u sportsmenov s raznymi tipami regulyacii serdechnogo ritma [Assessment of the reactivity of the microcirculation system to physical activity with the combined use of natural dietary supplements and LILI in athletes with different types of heart rate regulation]. *Nauka i sport: sovremennye tendencii* [Science and sports: current trends], 2023, vol. 11, no. 2. pp. 6–14. (In Russ.).

3. Bruk T.M., Litvin F.B., Osipova N.V., Kosorygina K.Yu., Terekhov P.A. Sostoyanie mikrogemocirkulyatornogo rusla u vysokokvalificirovannyh futbolistov s raznymi preobladayushchimi tipami vegetativnoj regulyacii [The state of the microhemocirculatory system in highly skilled football players with different predominant types of autonomic regulation]. *Smolenskij medicinskij al'manah* [Smolensk Medical Almanac], 2018, no. 4, pp. 148–150. (In Russ.).

4. Dvurekova E.A., Popova I.E. Osobennosti reakcii sistemy mikrocirkulyacii kvalificirovannyh prygunov v vodu na fizicheskuyu nagruzku [Features of the microcirculation system response of qualified divers to physical activity]. *Fizicheskaya kul'tura: vospitanie, obrazovanie, trenirovka* [Physical education: upbringing, education, training], 2024, № 6, pp. 31–33. (In Russ.).

5. Korshunova A.A., Bashkona A.S., Klyuchevskij V.V. Variativnost mekhanizmov mikrocirkulyacii v nizhnih konechnostyah [Variability of microcirculation mechanisms in the lower extremities]. *Sovremennye voprosy biomediciny* [Current biomedical issues], 2025, vol. 9, no. 4 (34), p. 12. (In Russ.).

6. Litvin F.B., Bruk T.M., Kosorygina K.Yu. Ocenka sostoyaniya mikrocirkulyacii krovi u sportsmenov-konnikov raznogo urovnya masterstva po dannym lazernoj dopplerovskoj floumetrii [Assessment of the state of blood microcirculation in equestrian athletes of different skill levels according to laser Doppler flowmetry]. *Kultura fizicheskaya i zdorove* [Physical culture and health], 2024, no. 4(92), pp. 538–542. (In Russ).

7. Litvin F.B., Stanovov V.V., Bojko G.M., Purygina M.G. Metabolicheskie vozmozhnosti mikrocirkulyatornogo rusla u sportsmenov v usloviyah primeneniya bioprodukta [Metabolic capabilities of the microcirculatory system in athletes under the conditions of using a biological product]. *Fizicheskoe vospitanie i sportivnaya trenirovka* [Physical education and sports training], 2021. no. 4(38). pp. 104–111. (In Russ).

8. Sidorov V.V., Rybakov Yu.L., Gukasov V.M., Evtushenko G.S. Apparatura dlya kompleksnoj neinvazivnoj diagnostiki sostoyanij kompartmentov mikrocirkulyatorno-tkanevoj sistemy kozhi cheloveka [Equipment for complex noninvasive diagnostics of the conditions of compartments of the microcirculatory-tissue system of human skin]. *Medicinskaya tekhnika* [Medical equipment], 2021, no. 4(328), pp. 4–6. (In Russ).

9. Tihomirova I.A. Reologiya krovi i mikrocirkulyaciya [Blood rheology and microcirculation]. *Uspekhi*

fiziologicheskih nauk [Advances in the physiological sciences], 2023, vol. 54, no. 1. pp. 3–25. (In Russ).

10. Bocharin I., Guryanov M., Orazbekov B., Dzhooshbekova Z., Vorozheikin A., Ryzhkova L., Arkhipova A., Radchenko D., Rib Y., Maukayeva S., Metelev A., Vasilyeva V., Usenok S., Anisimov M. Relationship between physical fitness, blood microcirculation activity, and nervous system function. *Journal of physical education and sport*, 2025, vol. 25, is. 5, pp. 969–967. (In Engl.).

11. Guryanov M., Bocharin I., Romanova E., Pozdeeva A., Kolokoltsev M., Limarenko O., Balashkevich N., Faleeva E., Tyupa P., Aganov P. Blood micro-circulation state as a marker of the human body reserve capabilities to perform physical activity. *Journal of physical education and sport*, 2023, vol. 23, iss. 5, pp. 1086–1091.

12. Martusevich A., Bocharin I., Guryanov M., Romanova E., Kolokoltsev M., Vyazovichenko Y., Lobastova L., Smirnov S., Balashkevich N., Redi E. Metabolic monitoring to assess the response of the body to physical loads. *Journal of physical education and sport*, 2023, vol. 23, iss. 6, pp. 1401–1406.

Information about the authors

Bocharin Ivan Vladimirovich — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Culture and Sports, Privolzhsky Research Medical University, Novgorod; Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Psychology, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia. **ORCID ID**: 0000-0002-4961-5351. **SPIN code**: 4586-6828. **Author ID**: 1023369. **E-mail**: bocharin.ivan@mail.ru

Guryanov Maxim Sergeevich — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Physical Culture and Sports, Volga Region Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia. **ORCID ID**: 0000-0001-9910-5141. **SPIN code**: 2386-1670. **Author ID**: 609183. **E-mail**: msg210411@yandex.ru

Ivanovich Metalnikov Anton — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Associate Professor of Surgical Diseases of Childhood, Altai State Medical University, Barnaul, Russia. **ORCID ID**: 0000-0001-5383-0225. **SPIN code**: 6634-4086. **Author ID**: 1110695. **E-mail**: ametalnickov@yandex.ru

Zolotukhina Inna Anatolyevna — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Education, Altai State Pedagogical University, Barnaul, Russia. **ORCID ID**: 0000-0003-3605-5073. **SPIN code**: 1562-5703. **Author ID**: 574481. **E-mail**: zolotuxina_1979@inbox.ru

Radchenko Dmitry Gennadievich — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Culture and Health, Siberian State University of Science and Technology named after M. F. Reshetnev. Krasnoyarsk, Russia. **ORCID ID**: 0000-0003-4753-6059. **SPIN code**: 5931-1220. **Author ID**: 721112. **E-mail**: dimytch111168@mail.ru

Cherdantseva Inna Vladimirovna — Doctor of Philosophy, Associate Professor, Head of the Department of Philosophy and Political Science, Altai State University, Barnaul, Russia. **ORCID ID**: 0000-0003-3445-8071. **SPIN code**: 8579-2579. **Author ID**: 790477. **E-mail:** innacherd@mail.ru

Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attribution-NonCommercial» («Атрибуция — Некоммерческое использование») 4.0 Всемирная — https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/