УДК 612.135-057.87 DOI: 10.5281/zenodo.20799751 EDN: ANZGWE

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

© 2026. ***Д. Д. Мороз, Т. И. Станишевская***

Статья посвящена исследованию изменений показателей микроциркуляции крови у студентов 17–19 лет под влиянием физических нагрузок. Экспериментальное исследование включало изучение функционального состояния микроциркуляции крови с помощью метода лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ). При интенсивных физических нагрузках наблюдалось значительное увеличение показателей состояния микроциркуляции крови. Динамика показателей микроциркуляции крови показывает, что под влиянием физических нагрузок у человека создаются значительные функциональные резервы для перераспределения тока крови и для улучшения внутриорганного капиллярного кровотока. Морфо-функциональные перестройки сердечно-сосудистой системы человека формируются несколькими компонентами микроциркуляции крови: кровотоком в транспортном направлении, регулирующим кровоснабжение в соответствии с потребностями тканей и обменным компонентом гистохимического барьера.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система; микроциркуляция крови; лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ); физические нагрузки.

Введение. Многочисленные научные работы, опубликованные в последнее десятилетие [1, 2], неопровержимо доказывают, что периферическое кровоснабжение является ключевым фактором, обеспечивающим полноценную работу внутренних органов и систем, а также нормальное функционирование клеток и тканей организма. В связи с этим, изучение реактивности различных отделов системы микроциркуляции крови остается важной задачей. Однако, количество исследований в данной области пока недостаточно для формирования полного представления о динамике микроциркуляции крови у человека в различных физиологических состояниях, как в норме, так и при патологиях. В то же время, полученные результаты [3, 4] позволяют рассматривать микроваскулатуру как неотъемлемую часть сердечно-сосудистой системы, где происходят наиболее значимые процессы адаптации организма к различным воздействиям.

Особый интерес представляет изучение изменений микроциркуляции крови при мышечной активности и целенаправленных физических упражнениях [5, 6]. Микроциркуляция крови играет важную роль в эффективной адаптации организма к мышечным нагрузкам, обеспечивая транспорт кислорода, углекислого газа, молекул-субстратов окисления, гормонов и иммунных клеток. В процессе адаптации к физическим нагрузкам происходит перераспределение кровотока, как на уровне центральной гемодинамики, так и в микроциркуляторном русле, с характерным увеличением кровоснабжения скелетных мышц. При этом кровоток в органах пищеварения существенно снижается, в то время как кровоток в коже, как принято считать [7], остается практически неизменным. Однако выполнение интенсивных физических упражнений с участием больших мышечных групп приводит к повышению температуры тела, что, в свою очередь, требует увеличения микроциркуляции в коже для обеспечения терморегуляции. Можно предположить, что усиление микроциркуляторной перфузии в коже происходит пропорционально интенсивности нагрузки, и, следовательно, механизмы изменения микроциркуляции здесь

соответствуют общей стратегии мобилизации адаптивных возможностей организма при мышечной деятельности.

Таким образом, исследование микроциркуляции крови в коже представляет значительный научный интерес, поскольку позволяет выявить тонкие механизмы, лежащие в основе адаптивных реакций организма на физические нагрузки различной интенсивности, и является актуальной задачей биологических исследований.

Анализируя мировые исследования особенностей микроциркуляции крови, можно отметить, что большинство работ посвящено изучению процессов кровотока при патологических состояниях. Такие ученые, как J. Duranteau, D. De Backer, K. Donadello, N. I. Shapiro, S. D. Hutchings, A. Rovas, M. Legrand, A. Harrois, C. Ince [8] рассматривают генетические особенности параметров микроциркуляторного русла для разработки эффективных методов лечения. Maurizio Cutolo и Vanessa Smith [9] проводят исследования по выявлению микрососудистых изменений при склерозе и других ревматических заболеваний. Среди зарубежных исследователей значительный вклад в изучение коронарной микроциркуляции внес William M. Chilian [10], в работах которого анализируются механизмы ишемии при отсутствии обструктивных заболеваний эпикардиальных артерий, а также разрабатываются подходы к диагностике коронарной микроваскулярной дисфункции. В лаборатории David X. Zhang [11] проводятся исследования механизмов регуляции сосудистой реактивности в норме и при заболеваниях.

В российской науке большой вклад в изучение физиологической микроциркуляции вносит коллектив под руководством П.В. Михайлова, А.В. Замышляева, Ю.Ю. Артеменко и А.В. Муравьева [2]. Их исследования направлены на изучение реактивной гиперемии у здоровых людей и лиц с артериальной гипертензией с помощью портативных лазерных анализаторов, что позволяет разрабатывать новые подходы к ранней диагностике сосудистых нарушений. Работы В.И. Козлова, Ф.Б. Литвина, О.А. Гуровой [12] посвящены обзору онтогенетических особенностей микроциркуляции крови. В работах этих ученых приведены индивидуально-типологические особенности капиллярного кровотока у детей, подростков и юношей, рассматривается динамика микроциркуляторного русла в процессе онтогенеза, изучаются резервные возможности кровотока при различных функциональных пробах.

Значительный интерес представляют работы Т.И. Власовой и Т.Д. Власовой [13] по обобщению современных методов исследования микрососудистого кровотока, позволяющие систематизировать подходы и техники, используемые в фундаментальной и клинической науке. А.А. Федорович [14] анализирует новые тренды в неинвазивной диагностике кожной микроциркуляции, что актуально для создания скрининговых методов оценки здоровья человека. Экспериментальные исследования О.В. Злобиной, С.С. Пахомий, А.Н. Иванова и соавторов [4] посвящены влиянию внешних факторов на регуляторные механизмы микроциркуляторного русла кожи с использованием метода лазерной допплеровской флоуметрии.

Отдельное направление представляют работы, изучающие особенности микроциркуляции в специальных и возрастных аспектах. В исследованиях Г.А. Просекина и В.Н. Ким [15] рассматриваются вопросы эндотелиальной дисфункции и расстройств микроциркуляции у юных спортсменов как проявления синдрома перенапряжения, что имеет важное значение для спортивной медицины. Н.Л. Цапаева и В.Г. Цапаев [1] акцентируют внимание на роли микроциркуляции как терминального компартмента сердечно-сосудистой системы, подчеркивая значение эндотелия и гликокаликса в регуляции тканевого обмена.

Таким образом, стоит подчеркнуть, что, несмотря на широкое применение исследований сердечно-сосудистой системы в клинической практике, особенно при изучении микроциркуляторного русла у людей с различными заболеваниями, существует существенный недостаток исследований, посвященных нормальным параметрам микроциркуляции крови у здоровых людей, особенно с учетом возрастных и половых различий, при проведении различных функциональных проб, а также для создания статистических данных об изменениях микроциркуляции крови у лиц, регулярно занимающихся интенсивными видами спорта.

Поэтому, цель нашего исследования – выявить индивидуально-типологические особенности микроциркуляции крови у молодых людей после физических нагрузок.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявить с помощью метода лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) основные типы ЛДФ-грамм и ритмичные составляющие колебаний тканевого кровотока у обследованных лиц.

2. Проследить динамику показателей микроциркуляции крови после физических нагрузок у студентов-добровольцев.

Материалы и методы исследования. Оценка микроциркуляции осуществлялась с применением лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ). Технология ЛДФ базируется на измерении перфузии тканей кровью путем анализа допплеровского сдвига частоты, с последующей регистрацией излучения, отраженного от двигающихся элементов (эритроцитов). Изменчивая фракция отраженного сигнала детерминируется концентрацией эритроцитов в исследуемой зоне и их скоростью. В рамках настоящего исследования использовался высокоточный компьютерный лазерный допплеровский аппарат LAKK-0.1 (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва).

В эксперименте участвовали студенты-добровольцы факультета естественных наук федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мелитопольский государственный университет», юноши и девушки в возрасте от 17 до 19 лет. На момент обследования все участники были без признаков неврологических нарушений или соматических заболеваний. Все процедуры проводились в соответствии с нормами и принципами биомедицинской этики. Перед началом исследования каждый участник предоставил добровольное письменное согласие на участие и обработку персональных данных.

Разделение испытуемых по гендерному признаку не производилось. При этом при анализе различий в показателях микроциркуляции крови в данной возрастной группе существенных отклонений не обнаружено. Измерения проводились в сидячем положении. Специальный датчик помещался на ладонную сторону дистальной фаланги четвертого пальца на протяжении четырех минут. Регистрация ЛДФ-грамм осуществлялась в первой половине дня с 8 до 13 часов, в соответствии с методическими рекомендациями, изложенными в работе А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова «Лазерная допплеровская флоуметрия микроциркуляции крови» [16].

Одним из доступных и безопасных способов оценки реактивности микроциркуляторного русла является использование дозированной физической нагрузки. В ходе теста испытуемых просили выполнить 30 приседаний в удобном для них темпе. Регистрация показателей микроциркуляции крови выполнялась до начала пробы с физической нагрузкой и сразу после её завершения. Оценка функционального резерва и реактивности микроциркуляторной системы крови проводили на основе анализа интенсивности изменений тканевого кровотока в сравнении с исходными значениями.

Полученные результаты подвергались математической и статистической обработке с помощью программы Biostat 5.0. Для определения нормальности распределения данных применялся критерий Шапиро-Уилка и парный t-критерий Стьюдента. Первичная обработка таблиц и предварительные вычисления выполнялись при помощи стандартного программного обеспечения Microsoft Excel, которое также использовалось для анализа «нормальности выборки». Для количественных данных рассчитывались среднее арифметическое значение (M) и стандартная ошибка среднего (m), среднеквадратическое отклонение, а для качественных признаков – относительные частоты (в процентах).

Анализ результатов. У юношей и девушек в возрасте 17–19 лет, участвовавших в исследовании в качестве добровольцев, были зафиксированы три варианта ЛДФ-грамм, соотносимые с различными типами микроциркуляции (по классификации В.И. Козлова [12]).

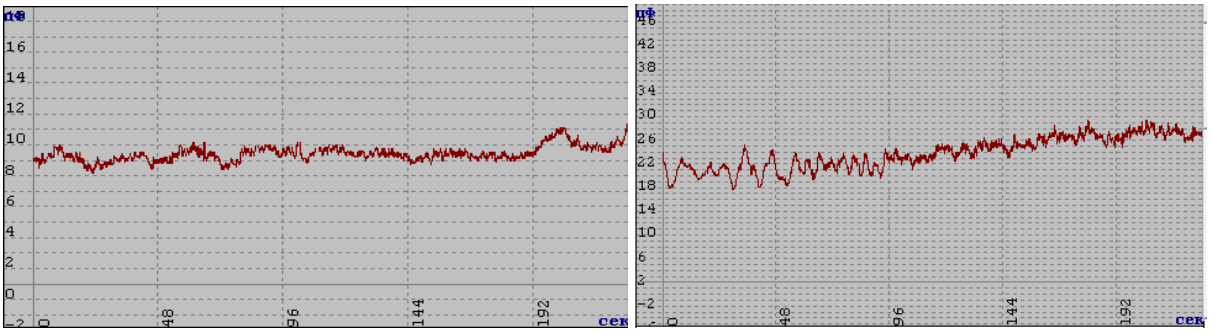
Первый вариант – апериодическая ЛДФ-грамма, отличительной чертой которой являются несистематичные колебания кровотока с заметной амплитудой и выраженными вазомоторными волнами. Данному варианту ЛДФ-граммы соответствовал мезоемический тип микроциркуляции, что указывает на уравновешенное состояние механизмов симпатической и парасимпатической регуляции тканевого кровообращения.

Второй вариант – монотонная ЛДФ-грамма характеризовалась значительной амплитудой показателя микроциркуляции. Этот тип соответствовал гиперемическому типу микроциркуляции, который проявлялся при усилении притока крови и был связан с расширением мелких сосудов, вызванным ослаблением симпатического влияния на регуляцию кровотока в тканях.

Третий вариант – монотонная ЛДФ-грамма с низким значением показателя микроциркуляции соответствовал гипоемическому типу микроциркуляции, отличительной чертой которого было уменьшение притока крови в микроциркуляторное русло и повышенный тонус мелких сосудов, возникающий из-за усиления симпатических нейрогенных воздействий.

В ходе проведения исследования было установлено, что до проведения физической нагрузки у студентов 17–19 лет параметр микроциркуляции крови (ПМ) в среднем составлял 18,6±6,68 перф. ед. (рис. 1, А).

После дозированной физической нагрузки (30 приседаний в произвольном темпе) параметр микроциркуляции крови увеличился на 6 % ($p<0,05$ согласно парного t-критерия Стьюдента) и составил 19,8±6,83 перф. ед. Увеличение показателя микроциркуляции после физической нагрузки объясняется увеличением скорости процесса микроциркуляции крови и вазомоторной активацией микрососудов (рис. 1, Б).



А Б

Рис. 1. ЛДФ-грамма исследуемого студента 18 лет: А – до физической нагрузки, Б – после физической нагрузки

Одним из ключевых параметров ЛДФ-граммы являлась величина среднеквадратичного отклонения (СКО), отражающая степень колебаний кровотока в тканях и, следовательно, функциональную вариативность микроциркуляторного русла. У студентов до выполнения физических упражнений СКО составляло 1,8±0,85 перф. ед., однако после приседаний отмечался значительный рост этого показателя до 2,5±0,91 перф. ед., что соответствует увеличению на 28% ($p<0,05$ согласно парного t-критерия Стьюдента). Подобное повышение обусловлено усилением активности регуляторных механизмов, контролирующих кровоснабжение тканей после физической активности. В процессе адаптации организма к нагрузке физические упражнения способствуют вовлечению резервных капилляров в кровоток, что влияет на вариабельность реакций микрососудов. Ряд исследователей [17, 18] связывают функциональную лабильность микроциркуляции при физических нагрузках с особенностями регуляции сердечно-сосудистой системы гипоталамусом.

Данные исследования свидетельствуют о значительном увеличении коэффициента вариации (Δf) под воздействием физической нагрузки. Исходное значение Δf у студентов до нагрузки составляло 7,2±2,83, а после выполнения приседаний показатель увеличился на 45 % ($p<0,05$ согласно парного t-критерия Стьюдента) и достиг 13,2±5,53. Таким образом, установлено, что при физических нагрузках усиливается симпатическое влияние на микроциркуляцию крови.

Изменения параметров микроциркуляции в ответ на физическую нагрузку различались у обследованных студентов, имеющих разные типы микроциркуляции крови (табл. 1).

Таблица 1

Показатели микроциркуляции крови до и после физических нагрузок у студентов с разными типами микроциркуляции крови (M±m)

Тип микроциркуляции крови	ПМисх., перф. ед.	ПМфиз., перф. ед.	СКО исх., перф. ед.	СКО физ., перф. ед.	Δf исх., %	Δf физ., %
Мезоемический тип (I тип ЛДФ-граммы)	15,41± 3,46	18,87± 0,39*	1,83± 0,99	3,21± 1,11*	10,57± 8,41	16,88± 4,11*
Гиперемический тип (II тип ЛДФ-граммы)	26,62± 4,71	30,47± 0,48*	1,41± 0,99	2,23± 1,63*	6,77± 5,11	11,97± 2,41*
Гипоемический тип (III тип ЛДФ-граммы)	4,89± 0,83	7,82± 0,29*	1,27± 0,52	2,11± 0,85*	4,41± 17,68	10,59± 1,22*

*Примечания: ПМисх. – исходное значение параметра микроциркуляции; ПМфиз. – значение показателя микроциркуляции крови после физической нагрузки; СКОисх. – исходное значение среднего квадратического отклонения, СКОфиз. – значение среднего квадратического отклонения после физической нагрузки; Δf исх. – исходное значение коэффициента вариации; Δf физ. – коэффициент вариации после физической нагрузки, * - достоверно по сравнению с исходными данными, p < 0,05 согласно парного t-критерия Стьюдента*

После выполнения упражнений наиболее заметные перемены происходят в спектральном анализе лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ). У юношей и девушек в возрасте от 17 до 19 лет физическая активность приводит к подъему амплитуды низкочастотных VLF и LF-волн, а именно на 22 % и 24 % соответственно. Если до нагрузки средняя амплитуда VLF-колебаний составляла 4,28±1,71 перф. ед., то после нее – 5,48±1,52 перф. ед. Что касается LF-колебаний, то их амплитуда в среднем увеличилась с 3,13±1,09 перф. ед. до 4,10±1,78 перф. ед.

Также отмечается увеличение амплитуды высокочастотных HF и CF-колебаний, на 33 % и 29 % соответственно. В частности, амплитуда HF-колебаний увеличилась в среднем с 1,03±0,34 перф. ед. до 1,53±0,48 перф. ед., а амплитуда CF-колебаний – с 0,37±0,15 перф. ед. до 0,52±0,14 перф. ед.

Описанные изменения говорят об активации вазомоторных процессов, а также усилении пассивных дыхательных и пульсовых колебаний кровотока. Можно предположить, что реакция микроциркуляторного русла улучшается по мере формирования регуляторных механизмов как локального, так и центрального уровней.

В результате у исследуемых лиц при физических нагрузках наблюдается значительный подъем показателей микроциркуляции крови: увеличение параметра микроциркуляции на 6 %, среднего квадратического отклонения на 28 %, а также коэффициента вариации на 45 % относительно исходного значения. Подобная динамика параметров микроциркуляции демонстрирует, что под воздействием физических нагрузок в организме создаются существенные резервы для перераспределения кровотока и оптимизации внутриорганного капиллярного кровообращения. Данная реакция обусловлена несколькими компонентами микроциркуляции: кровотоком в направлении транспорта, регулирующим кровоснабжение в соответствии с потребностями тканей, и обменным компонентом гистогематического барьера.

Обнаруженные закономерности изменений в микроциркуляторном русле дают основания полагать, что физические нагрузки приводят не только к развитию «спортивного сердца», но и к формированию «спортивной сосудистой системы» [5, 6], которая наиболее ярко проявляется в типологических особенностях реакции микрососудов.

Выводы.

1. В результате анализа данных лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) у молодых людей выявлено три типа микроциркуляции крови: мезоемический тип, отличающийся комплексным наложением ритмических колебаний, что свидетельствует о сбалансированности процессов, регулирующих кровообращение в микроциркуляторном русле; гиперемический тип, характеризующийся равномерной осциллограммой ЛДФ с повышенным уровнем перфузии, что указывает на доминирующую роль метаболических факторов в регуляции микроциркуляции; гипоемический тип, отличающийся однородной осциллограммой ЛДФ с пониженным параметром перфузии, что отражает ослабление вазомоторных механизмов в регуляции микроциркуляции. У значительной части обследованных студентов чаще всего наблюдалась монотонная высокоамплитудная ЛДФ-грамма второго типа (48 %), идентифицированная как гиперемический тип микроциркуляции крови.

2. Согласно результатам ЛДФ-метрии, у обследованных студентов при выполнении интенсивных физических упражнений отмечается выраженное увеличение показателей микроциркуляции: параметр микроциркуляции возрастает на 6 %, среднеквадратическое отклонение увеличивается на 28 %, а коэффициент вариации увеличивается на 45 % относительно начальных значений. Подобная динамика параметров микроциркуляции свидетельствует о том, что под воздействием физических нагрузок в организме человека формируются значительные резервы для оптимизации перераспределения кровотока и улучшения капиллярного кровоснабжения органов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цапаева, Н. Л. Микроциркуляция (часть 1–главные действующие «лица» и их роль в системе кровообращения) / Цапаева Н. Л., Цапаев В. Г. // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные

риски. – 2023. – Т. 7, № 2. – С. 1903-1910. – DOI: 10.51922/2616-633X.2023.7.2.1903. – EDN: CMJXOZ.
2. Постокклюзионная реактивная гиперемия у лиц с артериальной гипертензией по данным портативного двухканального лазерного анализатора микроциркуляции крови / П.В. Михайлов, А.В. Замышляев, Ю.Ю. Артеменко, А.В. Муравьев // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2025. – Т. 24, № 4(96). – С. 32-39. – DOI: 10.24884/1682-6655-2025-24-4-32-39. – EDN: EXZYEC.
3. Horban, D. Changes of capillary blood flow during the local hyperemia // International independent scientific journal. – 2021. – No. 29. – P. 9-12. – EDN: OQVIGO.
4. Реактивность стресс-реализующей системы в условиях изменения светового режима в эксперименте / О.В. Злобина, С.С. Пахомий, И.О. Бугаева и др. // Оптика и спектроскопия. – 2022. – Т. 130, № 6. – С. 890-893. – DOI: 10.21883/OS.2022.06.52631.35-22. – EDN: PCNPRF.
5. Бочарин, И. В. Мониторинг состояния гемодинамики студентов медицинского вуза в условиях тестирования физической нагрузки минимальной мощности / И.В. Бочарин, А.К. Мартусевич, М.С. Гурьянов // Медицинский альманах. – 2021. – № 3(68). – С. 32-36. – EDN: WGFFYK.
6. Артеменко, Ю.Ю. Адаптация системы микроциркуляции к мышечным нагрузкам разной интенсивности и длительности // Естествознание: исследования и обучение. – 2019. – С. 13-18. – EDN: KJSDBE.
7. Козлов, В.И. Развитие системы микроциркуляции. – Москва: РУДН, 2012. – 314 с. – EDN: QKUPVH.
8. Duranteau, J. The future of intensive care: the study of the microcirculation will help to guide our therapies / J. Duranteau, D. De Backer, K. Donadello // Critical Care. – 2023. – No 27. – P. 190. – DOI: 10.1186/s13054-023-04474-x. – EDN: MULDDO.
9. Cutolo, M. Detection of microvascular changes in systemic sclerosis and other rheumatic diseases / M. Cutolo, V. Smith // Nature reviews rheumatology. – 2021. – No 17. – P. 665-677. – DOI: 10.1038/s41584-021-00685-0. – EDN: BKWWKZ.
10. A chronology of basic and clinical research in the coronary microcirculation / W.M. Chilian, T. Ahmed, C.N.B. Merz, Cet al. // Journal of Molecular and Cellular Cardiology. – 2025. – Т. 203. – С. 59-66. – DOI: 10.1016/j.yjmcc.2025.04.004. – EDN: SEVXTU.
11. Prolonged endothelial-dysfunction in human arterioles following infection with SARS-CoV-2 / D.X. Zhang, Y. Nishijima, S.N. Hader et al. // Cardiovascular research. – 2022. – Vol. 118, No. 1. – P. 18-19. –DOI: 10.1093/cvr/cvab339. – EDN: HMKCGI.
12. Лазерная допплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови / В.И. Козлов, Г.А. Азизов, О.А. Гурова, Ф.Б. Литвин. – Москва: РУДН ГНЦ лазерной медицины, 2012. – 32 с. – URL: http://angiologia.ru/specialist/cathedra/recommendations/2012/001.pdf.
13. Власова, Т.И. Современные методы оценки микроциркуляции / Власова Т.И., Власов Т.Д. // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2024. – Т. 23, №. 4. – С. 5-21. – DOI: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-5-21. – EDN: OFFBFB.
14. Федорович, А.А. Новые тренды развития направления по неинвазивному исследованию микроциркуляции в коже человека. Описательный обзор // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2025. – Т. 24, №. 6. – С. 95-105. – EDN: XFFGNI.
15. Просекин, Г.А. Дисфункция эндотелия и нарушение микроциркуляции у юных спортсменов как проявление синдрома перенапряжения: методы оценки и коррекция специализированными продуктами на основе апикомпонентов / Г.А. Просекин, В.Н. Ким // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2025. – Т. 24, № 1. – С. 14-23. – DOI: 10.24884/1682-6655-2025-24-1-14-23. - EDN: AGECGN.
16. Крупаткин, А.И. Лазерная допплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – Москва: Изд-во «Медицина», 2005. – 254 с. – EDN: QLLIIZ.
17. Мавлиев, Ф.А. Особенности микроциркуляции и факторы, её обусловливающие, у спортсменов, тренирующихся на выносливость // Наука и спорт: современные тенденции. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 100-107. – DOI: 10.36028/2308-8826-2019-7-3-100-107. – EDN: WQWOIY.
18. Двурекова, Е.А. Влияние занятий фитнесом на функциональное состояние системы микроциркуляции // Медико-биологические и педагогические основы адаптации, спортивной деятельности и здорового образа жизни. – 2020. – С. 325-328. – EDN: TEWKDF.

REFERENCES

1. Tsapaeva, N. L., & Tsapaev, V. G. (2023). Microcirculation (Part 1 – the main active «players» and their role in the circulatory system). *Emergency Cardiology and Cardiovascular Risks*, 7(2), 1903–1910. (In Russian).

2. Mikhailov, P. V., Zamyshlyaev, A. V., Artemenko, Yu. Yu., & Muravyev, A. V. (2025). Post-occlusive reactive hyperemia in patients with arterial hypertension according to a portable two-channel laser analyzer of blood microcirculation. *Regional Hemodynamics and Microcirculation*, 24(4), 32–39. (In Russian).
3. Horban, D. (2021). Changes of capillary blood flow during the local hyperemia. *International Independent Scientific Journal*, (29), 9–12.
4. Zlobina, O. V., Pakhomiya, S. S., Bugaeva, I. O., Ivanov, A. N., Moskvina, A. O., & Kostromina, E. M. (2022). Reactivity of the stress‐realizing system under conditions of changing light regime in the experiment. *Optics and Spectroscopy*, 130(6), 890–893. (In Russian).
5. Bocharin, I. V., Martusevich, A. K., & Guryanov, M. S. (2021). Monitoring of hemodynamic status of medical university students under minimal power physical load testing. *Medical Almanac*, (3(68)), 32–36. (In Russian)
6. Artemenko, Yu. Yu. (2019). Adaptation of the microcirculation system to muscular loads of different intensity and duration. In *Natural Science: Research and Education* (pp. 13–18). (In Russian)
7. Kozlov, V. I. (2012). *Development of the microcirculation system*. Moscow: RUDN University. (In Russian)
8. Duranteau, J., De Backer, D., & Donadello, K. (2023). The future of intensive care: the study of the microcirculation will help to guide our therapies. *Critical Care*, 27(190). https://doi.org/10.1186/s13054-023-04474-x
9. Cutolo, M., & Smith, V. (2021). Detection of microvascular changes in systemic sclerosis and other rheumatic diseases. *Nature Reviews Rheumatology*, 17, 665–677. https://doi.org/10.1038/s41584-021-00685-0
10. Chilian, W. M., Ahmed, T., Merz, C. N. B., Pepine, C. J., Domingo, C. N., & Mehta, P. K. (2025). A chronology of basic and clinical research in the coronary microcirculation. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 203, 59–66.
11. Zhang, D. X., Nishijima, Y., Hader, S. N., Hanson, A. J., Sparapani, R., Gutterman, D. D., & Beyer, A. M. (2022). Prolonged endothelial dysfunction in human arterioles following infection with SARS-CoV-2. *Cardiovascular Research*, 118(1), 18–19.
12. Kozlov, V. I., Azizov, G. A., Gurova, O. A., & Litvin, F. B. (2012). *Laser Doppler flowmetry in assessment of blood microcirculation state and disorders*. Moscow: RUDN University / State Research Center for Laser Medicine. (In Russian)
13. Vlasova, T. I., & Vlasov, T. D. (2024). Modern methods for evaluating microcirculation. *Regional Hemodynamics and Microcirculation*, 23(4), 5–21. (In Russian)
14. Fedorovich, A. A. (2025). New trends in the development of non-invasive skin microcirculation research: a descriptive review. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 24(6), 95–105. (In Russian)
15. Prosekin, G. A., & Kim, V. N. (2025). Endothelial dysfunction and microcirculation disorders in young athletes as a manifestation of overtraining syndrome: assessment methods and correction with special apicomponent-based products. *Regional Hemodynamics and Microcirculation*, 24(1), 14–23. (In Russian)
16. Krupatkin, A. I., & Sidorov, V. V. (2005). *Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation*. Moscow: Meditsina. (In Russian)
17. Mavliev, F. A. (2019). Features of microcirculation and its determinants in endurance-trained athletes. *Science and Sport: Current Trends*, 24(3), 100–107. https://doi.org/10.36028/2308-8826-2019-7-3-100-107 (In Russian)
18. Dvurekova, E. A. (2020). Influence of fitness training on the functional state of the microcirculation system. In *Medical-biological and pedagogical foundations of adaptation, sports activity and healthy lifestyle* (pp. 325–328). (In Russian)

DYNAMICS OF BLOOD MICROCIRCULATION INDICES FOLLOWING PHYSICAL EXERCISE

D. D. Moroz, T. I. Stanishevska

The article is devoted to the study of changes in blood microcirculation indices in 17–19-year-old students under the influence of physical exercise. The experimental study included assessment of the functional state of blood microcirculation using laser Doppler flowmetry (LDF). Under intense physical exercise, a significant increase in blood microcirculation indices was observed. The dynamics of blood microcirculation indices indicate that physical exercise creates significant functional reserves for the redistribution of blood flow and for the improvement of intra-organ capillary blood flow. Morphofunctional rearrangements of the human cardiovascular system are formed by several components of blood microcirculation: directed (conductive) blood

flow, which regulates blood supply according to tissue demands, and the exchange component of the histochemical barrier.

Keywords: cardiovascular system; blood microcirculation; laser Doppler flowmetry (LDF); physical exercise.

Поступила в редакцию 04.05.2026 г.

Мороз Дарья Дмитриевна
кандидат биологических наук, доцент кафедры здравоохранения и общественного здоровья,
ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», г. Мелитополь, Запорожская обл., РФ.
E-mail: d.moroz@melsu.ru
ORCID: 0000-0002-3921-9232
SPIN-код: 2090-6749

Moroz Daria D.
Candidate of Biological Sciences; Associate Professor of the Department of Health Care and Public Health, Melitopol State University», Melitopol, RF.

Станишевская Татьяна Ивановна
доктор биологических наук, профессор;
профессор кафедры здравоохранения и общественного здоровья,
ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», г. Мелитополь, Запорожская обл., РФ;
E-mail: t.stanishevskaya@melsu.ru.
ORCID: 0000-0002-4012-7335
SPIN-код: 2601-6177

Stanishevska Tatiana I.
Doctor of Biological Sciences, Professor;
Professor of the Department of Health Care and Public Health, Melitopol State University, Melitopol, RF.