

ЛАЗЕРНАЯ ДОППЛЕРОВСКАЯ ФЛОУМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ТКАНЕВОЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЛЕГКОЙ АТЛЕТИКИ

Е.А. Дзурекова

Воронежский государственный институт физической культуры, г. Воронеж, Россия

Цель. Изучить функциональные особенности тканевой микроциркуляции спортсменов на разных этапах тренировочного цикла. **Материал и методы.** В исследовании участвовали 10 спортсменов, представителей легкой атлетики с аэробной направленностью тренировочного процесса (бегуны на средние и длинные дистанции) в возрасте 19–22 лет. Спортивная квалификация – КМС, средний стаж занятий спортом – 8 лет. Исследования тканевой микрогемодинамики проводили методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с помощью лазерного анализатора капиллярного кровотока ЛАКК-01 (НПП «Лазма», Россия). **Результаты.** В подготовительном периоде у легкоатлетов наблюдался низкий уровень перфузии ($3,38 \pm 0,21$ п.е.), шунтового кровотока ($1,27 \pm 0,08$) резервного капиллярного кровотока (525 ± 55 %) по сравнению с контрольной группой. В начале соревновательного периода регистрировалось значительное повышение уровня перфузии (на 81 %) и снижение резервного кровотока (на 32 %), нейрогенного (на 16,7 %) и миогенного (на 15,4 %) тонуса микрососудов относительно подготовительного периода. Длительные соревновательные нагрузки способствовали повышению нейрогенного (на 21,3 %) и миогенного (на 38,4 %) тонуса, шунтового кровотока и T1/2 (в среднем на 22 секунды). **Заключение.** Установлено, что регулярные физические нагрузки приводят к снижению числа функционально активных капилляров в состоянии покоя; основной ток крови осуществляется через нутритивные капилляры. В начале соревновательной деятельности уровень перфузии увеличивается. С ростом соревновательных нагрузок жесткость микрососудов повышается, что способствует снижению их чувствительности к вазодилатирующим факторам.

Ключевые слова: адаптация, лазерная доплеровская флоуметрия, легкоатлеты, система микроциркуляции, тонус микрососудов.

Введение. Контроль функционального состояния спортсменов имеет важное значение для определения уровня физической работоспособности, выявления факторов, ее лимитирующих, а также рисков, связанных со спортивной деятельностью [1, 5]. В настоящее время многие факторы, лимитирующие работоспособность спортсменов, остаются малоизученными. Так, например, практически не уделяется внимание диагностике функционального состояния микроциркуляторного русла, которое является весьма лабильным и чувствительным к действию нервных и гуморальных факторов. От интенсивности микрогемодинамики зависит уровень оксигенации крови, скорость транскапиллярного обмена и утилизации лактата [3]. Несмотря на возросший интерес к исследованиям микроциркуляции у спортсменов [2, 4, 9, 10], морфофункциональные изменения микроциркуляторного русла при действии тренировочных и соревновательных нагрузок остаются малоизучен-

ными. Диагностика микрогемодинамики позволила бы не только существенно расширить представления об адаптационных резервах микроциркуляторного русла, но и определить степень напряженности регуляторных систем при действии физических нагрузок на разных этапах годичного тренировочного цикла.

В связи с вышесказанным целью исследования явилось изучение функциональных особенностей тканевой микроциркуляции у легкоатлетов на разных этапах тренировочного цикла.

Материал и методы. В исследовании участвовали 10 спортсменов, представителей легкой атлетики с аэробной направленностью тренировочного процесса (бегуны на средние и длинные дистанции) в возрасте 19–22 лет. Спортивная квалификация – КМС, средний стаж занятий спортом – 8 лет. Исследования тканевой микрогемодинамики проводили методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с помощью лазерного анализатора ка-

пиллярного кровотока ЛАКК-01 (НПП «Лазма», Россия) в зоне Захарьина-Геда в красном диапазоне лазерного излучения ($\lambda = 630$ нм) при соблюдении стандартных условий [3]. О резервных возможностях системы микроциркуляции судили по результатам окклюзионной пробы. После прекращения окклюзии развивалась постокклюзионная гиперемия, обусловленная накоплением в тканях метаболитов вазодилататорного действия [6, 8].

Для определения функционального состояния микроциркуляторного русла использовались следующие ЛДФ-показатели:

- показатель микроциркуляции, выраженный в перфузионных единицах (ПМ, п.е.); величина ПМ определяется усредненной линейной скоростью кровотока и концентрацией эритроцитов в исследуемом объеме ткани;
- нейрогенный тонус артериол и артериоло-венулярных анастомозов, зависящий от активности симпатических нервов-вазоконстрикторов;
- миогенный тонус метартериол и прекапиллярных сфинктеров;
- показатель шунтирования, отражающий соотношение нутритивного и шунтового кровотока;
- резерв капиллярного кровотока (РКК, %),

характеризующий общее количество микрососудов в тестируемой области;

– время полувосстановления кровотока ($T_{1/2}$, с), характеризующее реактивность микрососудов прекапиллярного звена [3].

ЛДФ-диагностику проводили на подготовительном и соревновательном этапах годового тренировочного цикла. Контрольную группу составили здоровые, не занимающиеся спортом лица в возрасте 18–21 года без нарушений микрогемодинамики. Результаты подвергали статистической обработке с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты. В таблице представлены данные экспериментальных исследований.

Анализ ЛДФ-показателей, полученных на подготовительном этапе тренировочного цикла, позволяет выявить адаптационные изменения системы микроциркуляции у легкоатлетов в ответ на регулярные физические нагрузки. Наблюдается достоверное увеличение РКК на 71 %, нейрогенного тонуса – на 19 % и снижение показателя шунтирования – на 22 % относительно контрольной группы (см. таблицу). Это свидетельствует о хорошо развитой капиллярной сети с преобладанием нутритивного кровотока, при этом относительно невысокие значения исходного уровня перфузии

Основные показатели микроциркуляции легкоатлетов
The main indicators of microcirculation in athletes

Показатели / Indicators	Контроль Control $X_1 \pm m_1$	Спортсмены / Athletes		
		Подготовительный период Preparatory period $X_2 \pm m_2$	Соревновательный период Competitive period	
			Начало / Beginning $X_3 \pm m_3$	Конец / End $X_4 \pm m_4$
Показатель микроциркуляции, п.е. Laser Doppler perfusion, p.u	$5,12 \pm 0,37$	$3,38 \pm 0,21^*$	$6,14 \pm 0,34^{**}$	$5,89 \pm 0,42$
Нейрогенный тонус Neurogenic tone	$2,7 \pm 0,11$	$3,22 \pm 0,15^*$	$2,68 \pm 0,1^{**}$	$3,25 \pm 0,12^\wedge$
Миогенный тонус Myogenic tone	$4,39 \pm 0,39$	$4,07 \pm 0,23$	$3,44 \pm 0,39^{**}$	$4,76 \pm 0,29^\wedge$
Показатель шунтирования Microvascular bypass index	$1,63 \pm 0,1$	$1,27 \pm 0,09^*$	$1,2 \pm 0,12$	$1,47 \pm 0,07^\wedge$
Резервный капиллярный кровоток, % Reserve capillary blood flow, %	307 ± 32	$525 \pm 55^*$	$398 \pm 28^{**}$	$242 \pm 21^\wedge$
$T_{1/2}$, с / $T_{1/2}$, s	$27,4 \pm 3,3$	$17,2 \pm 2,4^*$	$23,8 \pm 4$	$45,8 \pm 6,5^\wedge$

Примечание. * – достоверность различий между показателями X_1 и X_2 , $p < 0,05$; ** – достоверность различий между показателями X_2 и X_3 , $p < 0,05$; $^\wedge$ – достоверность различий между показателями X_3 и X_4 , $p < 0,05$.

Note. * – significance of differences between indicators X_1 and X_2 , $p < 0.05$; ** – significance of differences between indicators X_2 and X_3 , $p < 0.05$; $^\wedge$ – significance of differences between indicators X_3 and X_4 , $p < 0.05$.

($3,38 \pm 0,21$ п.е.) указывают на снижение доли функционирующих капилляров в покое [3]. Снизилось время полувосстановления кровотока ($T_{1/2}$) в среднем на 37 %, что обусловлено, по-видимому, повышенной чувствительностью микрососудов к вазодилаторным метаболическим стимулам [6].

ЛДФ-диагностика, проведенная в соревновательном периоде, позволяет оценить влияние соревновательных нагрузок на микрогемодинамику спортсменов. В начале соревновательного периода отмечено значительное увеличение уровня перфузии (на 81 %) на фоне уменьшения РКК (на 32 %) относительно подготовительного периода, что свидетельствует об усилении притока крови в микроциркуляторное русло. Нейрогенный и миогенный тонус снизился на 16,7 % и 15,4 % соответственно; нутритивный кровоток остался на прежнем уровне (см. таблицу).

В конце соревновательного периода зарегистрировано увеличение нейрогенного и миогенного компонента сосудистого тонуса на 21,3 % и 38,4 % соответственно, что, по всей видимости, связано с повышенной активностью симпатических нервов-констрикторов, а также с активностью прекапиллярных сфинктеров. Это может привести к уменьшению диаметра микрососудов, снижению скорости кровотока и развитию нарушений микрогемодинамики застойно-стазического характера [3]. ЛДФ-показатели подтверждают это предположение: ПМ остается высоким – $5,89 \pm 0,42$ п.е., а РКК снизился 33 % по сравнению с началом соревновательного периода. Аналогичные изменения резервного капиллярного кровотока в ответ на аэробные интенсивные физические нагрузки отмечены в работе Н.Н. Zhang [10]. При действии соревновательных нагрузок происходит перераспределение кровотока между нутритивными сосудами и артериоло-венулярными анастомозами в пользу шунтирования. Отмечено увеличение $T_{1/2}$ (в среднем на 22 секунды), что указывает на снижение реактивности микрососудов вследствие преобладания вазоконстрикторных факторов над вазодилатирующими [7].

Заключение. Установлено, что регулярные физические нагрузки аэробной направленности способствует созданию развитой сети капилляров, но в состоянии покоя большинство капилляров остаются функционально неактивными. Основной ток крови в микрососудах осуществляется через нутритивные капилляры.

В течение соревновательного периода микроциркуляторное русло претерпевает ряд изменений, которые затрагивают структуру и уровень чувствительности микрососудов к действию нервных и гуморальных факторов. В начале соревновательного периода наблюдается увеличение числа функционирующих капилляров, обусловленное, по всей видимости, возросшими потребностями мышечных клеток в метаболических продуктах. С ростом нагрузок отмечаются наиболее выраженные изменения микрогемодинамики, связанные с увеличением жесткости микрососудов, нарастанием шунтового кровотока, снижением их чувствительности на действие вазодилатирующих факторов. ЛДФ-показатели указывают на наличие гемодинамических нарушений застойно-стазического характера.

Таким образом, лазерная доплеровская флоуметрия является важным диагностическим методом, позволяющим не только изучить морфофункциональные особенности системы микроциркуляции у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса, но и выявить ранние нарушения микрогемодинамики и вовремя внести коррекцию в тренировочный процесс.

Литература

1. *Актуальные вопросы медико-биологического контроля в процессе подготовки спортсменов / И.С. Марченко, С.А. Мороховец // Материалы I Международной научной конференции «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности», 2016. – С. 362–366.*
2. *Борисевич, С.А. Изменение функциональных характеристик кожи спортсменов после тренировок циклического характера / С.А. Борисевич // Теория и практика физ. культуры. – 2015. – № 9. – С. 77.*
3. *Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / под ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова. – М.: Изд-во «Медицина», 2005. – 256 с.*
4. *Скедина, М.А. Исследование параметров кровотока в микроциркуляторном русле у подростков футбольных команд в ходе тренировочного процесса / М.А. Скедина, А.А. Ковалева // Региональное кровообращение и микроциркуляция. – 2017. – Т. 16, № 3 (63). – С. 56–61.*
5. *Федоров, С.С. Возможности медико-биологического контроля в спорте (краткий*

литературный обзор) / С.С. Федоров, А.П. Токарев // Вестник новых мед. технологий. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 294–298.

6. Fromy, B. Mechanisms of the coetaneous vasodilator response n local external pressure application in rats: involvement of CGRP, neuropeptides, prostaglandins and NO / B. Fromy, S. Merzeau, P. Abraham, J.L. Saumet // *British Journal of Pharmacology*. – 2000. – Vol. 131. – P. 1161–1171.

7. Mayer, M.F. Impaired 0.1 – Hz vasomotion assessed by laser Doppler anemometry as an early index of peripheral sympathetic neuropathy in diabetes / M.F. Mayer, C.J. Rose, J.O. Hulsmann // *Microvascular Research*. – 2003. – Vol. 65. – P. 88–95.

8. Microvascular dilator function in ath-

letes: a systematic review and meta-analysis / D. Montero, G. Walther, C. Diaz-Canestro et al. // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. – 2015. – Vol. 47 (7). – P. 1485–1494.

9. Stupin, M. Acute exhaustive rowing exercise reduces skin microvascular dilator function in young adult rowing athletes / M. Stupin, A. Stupin, L. Rasic et al. // *European Journal of Applied Physiology*. – 2018. – Vol. 118 (2). – P. 461–474.

10. Zhang, H.N. The relationship between reserve capacity of microcirculatory blood perfusion and related biochemical indices of male rowers in six weeks' pre-competition training / H.N. Zhang, B.H. Gao, H. Zhu // *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi*. – 2017. – Vol. 33 (2). – P. 112–116.

Двурекова Евгения Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических, естественно-научных и математических дисциплин, Воронежский государственный институт физической культуры. 394036, г. Воронеж, ул. Карла Маркса, 59. E-mail: evgenia.dvurekova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5630-3735.

Поступила в редакцию 17 ноября 2018 г.

DOI: 10.14529/hsm18s06

LASER DOPPLER FLOWMETRY IN THE DIAGNOSTICS OF TISSUE MICROCIRCULATION IN TRACK-AND-FIELD ATHLETES

E.A. Dvurekova, *evgenia.dvurekova@yandex.ru*, ORCID 0000-0002-5630-3735

Voronezh State Institute of Physical Culture, Voronezh, Russian Federation

Aim. The article deals with establishing functional peculiarities of tissue microcirculation in athletes during the different stages of the training cycle. **Materials and methods.** We examined 10 track-and-field athletes aged 19–22 (middle- and long-distance running) involved in aerobic trainings. All athletes possess the rank of Candidate for Master of Sport and the average training experience of 8 years. We studied tissue microhemodynamics with the help of laser doppler flowmetry using LAKK-01 (Lazma, Russia) laser analyzer of blood microcirculation. **Results.** At the preparatory period, we registered a low level of perfusion (3.38 ± 0.21 p.u.) and shunt blood flow (1.27 ± 0.08) and a high level of reserve capillary blood flow (525 ± 55 %) in comparison with the control group. At the beginning of the competitive period, we revealed a significant increase in perfusion (by 81 %) and a decrease in reserve blood flow (by 32 %) and neurogenic (by 16.7 %) and myogenic (by 15.4 %) tone of microvessels in comparison with the preparatory period. Prolonged competitive activities contributed to the increase in neurogenic (by 21.3 %) and myogenic (by 38.4 %) tone, shunt blood flow and T1/2 (by 22 seconds on the average). **Conclusions.** We established that regular physical loads result in a decrease in the number of functionally active capillaries at rest. The main blood flow passes through nutritive capillaries. At the beginning of the competitive activity, there is an increase in perfusion. As loads increase during the competitive period, microvessel stiffness increases. This contributes to a decrease of their sensitivity to vasodilating factors.

Keywords: adaptation, laser Doppler flowmetry, athletes, system of microcirculation, microvascular tone.

References

1. Marchenko I.S., S.A. Morokhovets S.A. [Actual Issues of Medical and Biological Control in the Process of Training Athletes]. *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Donetskiye chteniya 2016. Obrazovaniye, nauka i vyzovy sovremennosti"* [Proceedings of the I International Scientific Conference Donetsk Readings 2016. Education, Science and Modern Challenges], 2016, pp. 362–366. (in Russ.)
2. Borisevich S.A. [Changes in the Functional Characteristics of the Skin of Athletes after Cyclic Training Sessions]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2015, no. 9, p. 77. (in Russ.)
3. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. *Lazernaya dopplerovskaya floumetriya mikrotsirkulyatsii krovi* [Laser Doppler Flowmetry of Microcirculation of Blood]. Moscow, Medicine Publ., 2005. 256 p.
4. Skedina M.A., Kovaleva A.A. [Investigation of Blood Flow Parameters in the Microvasculature in Adolescent Football Teams During the Training Process]. *Regional'noye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya* [Regional Blood Circulation and Microcirculation], 2017, vol. 16, no. 3 (63), pp. 56–61. (in Russ.)
5. Fedorov S.S., Tokarev A.R. [Opportunities of Medical and Biological Control in Sport]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of New Medical Technologies], 2016, vol. 23, no. 4, pp. 294–298. (in Russ.)
6. Fromy B., Merzeau S., Abraham P., Saumet J.L. Mechanisms of the Coetaneous Vasodilator Response n Local External Pressure Application in Rats: Involvement of CGRP, Neurokinins, Prostadlandins and NO. *British Journal of Pharmacology*, 2000, vol. 131, pp. 1161–1171. DOI: 10.1038/sj.bjp.0703685
7. Mayer M.F., Rose C.J., Hulsmann J.O. Impaired 0.1 – Hz Vasomotion Assessed by Laser Doppler Anemometry as an Early Index of Peripheral Sympathetic Neuropathy in Diabetes. *Microvascular Research*, 2003, vol. 65, pp. 88–95. DOI: 10.1016/S0026-2862(02)00015-8
8. Montero D., Walther G., Diaz-Canestro C., Pyke K.E., Padilla J. Microvascular Dilator Function in Athletes: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2015, vol. 47 (7), pp. 1485–1494. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000567
9. Stupin M., Stupin L., Rasic L., Cosic A., Kolar L., Seric V., Lenasi H., Izakovic K., Drenjanecvic I. Acute Exhaustive Rowing Exercise Reduces Skin Microvascular Dilator Function in Young Adult Rowing Athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 2018, vol. 118 (2), pp. 461–474. DOI: 10.1007/s00421-017-3790-y
10. Zhang H.N., Gao B.H., Zhu H. The Relationship Between Reserve Capacity of Microcirculatory Blood Perfusion and Related Biochemical Indices of Male Rowers in Six Weeks' Pre-Competition Training. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi*, 2017, vol. 33 (2), pp. 112–116.

Received 17 November 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Двурекова, Е.А. Лазерная доплеровская флоуметрия в диагностике тканевой микроциркуляции у представителей легкой атлетики / Е.А. Двурекова // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № S. – С. 41–45. DOI: 10.14529/hsm18s06

FOR CITATION

Dvurekova E.A. Laser Doppler Flowmetry in the Diagnostics of Tissue Microcirculation in Track-and-Field Athletes. *Human. Sport. Medicine*, 2018, vol. 18, no. S, pp. 41–45. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm18s06