

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ И ФАКТОРЫ, ЕЕ ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ, У СПОРТСМЕНОВ, ТРЕНИРУЮЩИХСЯ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

Ф.А. Мавлиев, В.А. Демидов, А.С. Назаренко, Н.Х. Давлетова, А.А. Набатов

ФГБОУ ВО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», Казань, Россия
Для связи с авторами: fanis16rus@mail.ru

Аннотация

Цель – выявить особенности микроциркуляции и ее зависимость от уровня VEGF и гематологических показателей у спортсменов с различной спортивной квалификацией, специализирующихся в циклических видах спорта на выносливость.

Материалы и методы исследования. Были исследованы спортсмены в возрасте 18-22 лет, занимающиеся легкой атлетикой (средние и длинные дистанции, от 1-го разряда до МС РФ), плаванием (средние дистанции, от 1-го разряда до МС РФ), лыжными гонками (от 1-го разряда до МС РФ), и лица, не занимающиеся спортом. Был использован лазерный диагностический аппарат «ЛАЗМА СТ», фиксирующий периферический кровоток и амплитуду флуоресценции тканей.

Результаты исследования и их обсуждение. Установлено, что статистически значимые отличия в показателях микроциркуляции были зафиксированы у представителей лыжных гонок и легкой атлетики: у лыжников отмечается низкое значение средней перфузии, тогда как у легкоатлетов – почти двукратное её преобладание по сравнению с лыжниками. При этом на втором этапе фиксации данных с применением охлаждения исследуемого участка различий между группами не обнаружено. На третьем этапе в ходе применения нагрева статистически значимые изменения наблюдались между группами лыжников в сравнении с легкоатлетами и пловцами, а также между группой пловцов в сравнении с легкоатлетами и неспортсменами. В то же время фактор роста сосудов VEGF имел корреляции с показателями микрососудистого русла у спортсменов-легкоатлетов и зафиксированы они только с показателем НАДН на втором ($r=0,89$ при $p=0,019$) и третьем этапах ($r=0,94$ при $p=0,005$).

Заключение. Выявлены признаки долговременной адаптации периферического кровотока у атлетов, обусловленные видом и условиями спортивной деятельности, что выражается в различиях перфузии исследованного участка кожи.

Ключевые слова: терморегуляция, микроциркуляция, сосуды, кровоток, VEGF, выносливость, спортсмены.

PARTICULARITIES OF MICROCIRCULATION OF ATHLETES TRAINING FOR ENDURANCE, AND ITS FACTORS

F.A. Mavliev, V.A. Demidov, A.S. Nazarenko, N.Kh. Davletova, A.A. Nabatov

Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia

Abstract

The aim is to reveal the features of microcirculation of athletes with various sport qualifications practicing cyclic endurance sports, as well as its dependence on the VEGF (vascular endothelial growth factor) level and hematological parameters.

Research materials and methods. The study involved athletes aged 18-22 practicing track-and-field (middle and long distances, from 1st rank to Master of Sports of the Russian Federation), swimming (middle distances, from 1st rank to Master of Sports of the Russian Federation), skiing (from 1st rank to Master of Sports of the Russian Federation), and non-athletes. We utilized a laser detection to record parameters of peripheral blood flow and tissue fluorescence amplitudes.

Research results and discussion. We recorded significant difference in microcirculation parameters for skiers and field athletes. Skiers demonstrated a lower value of average perfusion, while field athletes showed its double predominance in contrast with skiers. At the same time, cooling of the studied area caused no difference between the studied groups. Heating of the studied area resulted in the statistically significant changes in microcirculation between groups of skiers in contrast with field athletes and swimmers, as well as swimmers, in contrast with field athletes and non-athletes. At the same time, the VEGF level had correlations with the

microcirculation of field athletes, and it was recorded with the NADN parameter under the cooling ($r = 0.89$; $p = 0.019$) and heating ($r = 0.94$; $p = 0.005$) conditions.

Conclusion. We revealed the signs of long-term adaptation of peripheral blood flow of athletes conditioned by the type and conditions of sport activities. It results in difference in perfusion of the studied skin area.

Keywords: thermoregulation, microcirculation, blood vessels, blood flow, VEGF, endurance, athletes.

ВВЕДЕНИЕ

Во время физической нагрузки большая часть химической энергии в мышцах превращается в тепло, а мощность этого процесса может достигать 1000 Вт [14]. Следовательно, любая физическая нагрузка (ФН) вызывает повышение температуры тела, которая прямо пропорционально зависит от количества вовлеченных двигательных единиц и/или интенсивности. Эти два внутренних фактора в различных сочетаниях являются первопричиной выделения метаболической теплопродукции, за исключением случаев несократительного термogenesis. При этом активируются механизмы, участвующие в регуляции температуры тела, эффективность которых сильно зависит от внешних факторов. Они же, в свою очередь, могут как способствовать, так и препятствовать теплоотдаче, реализуемой в значительной степени интенсивностью кожного кровотока путем излучения, конвекции, испарения и кондукции. Развертывание данных процессов является очень актуальным в видах спорта, требующих развития выносливости, где имеет место длительная мышечная активность с последующей повышенной теплопродукцией. В целом проблема терморегуляции как во время, так и после ФН является актуальной, особенно в тех видах спорта, где чаще всего необходимо избавление от избытка метаболического тепла [22, 11, 12]. Традиционные системы классификации ФН, основанные на видах локомоций, количестве вовлеченных двигательных единиц и т.д., требуют добавления нового классификационного фактора – внешних условий, в которых реализуется спортивная деятельность. В наиболее упрощенном виде можно выделить внешние условия, где имеется:

- **низкоэффективная теплоотдача** (например, легкая атлетика в условиях высокой температуры и влажности и т.д.), когда в процесс теплоотдачи активно включается кожа

посредством активации кожного кровотока и, при необходимости, происходит усиление потовыделения;

- **высокоэффективная теплоотдача** (плавание, лыжный спорт и т.д.), где благодаря наличию низких температур или же специфической среды (вода) терморегуляция осуществляется более успешно.

Следовательно, в зависимости от указанных условий в организме атлета возникает разнонаправленный сигнальный каскад от центральных и периферических терморепцепторов к гипоталамусу. В условиях **низкоэффективной теплоотдачи** идет информация как с кожных, так и с центральных рецепторов, находящихся в гипоталамусе, вынуждающая организм более интенсивно реализовывать процесс, направленный на нормализацию температуры тела. В условиях же **высокоэффективной теплоотдачи** информация преимущественно поступает из центральных рецепторов из-за повышения температуры крови, поступающей от вовлеченных в двигательную активность мышц. При этом, кроме изменения объективных показателей, возникают и субъективные проявления, опосредованные колебаниями теплового статуса, оцениваемого субъективно посредством таких категорий, как «комфортно» и «некомфортно» [1].

С учетом функций терморегуляции необходимо отметить, что сердечно-сосудистая система (ССС) представляет собой не только транспортную магистраль для энергообеспечения физической деятельности, но и магистраль для теплоотдачи. Это приводит к повышению требований к ССС, особенно при существенных потребностях организма в терморегуляции на фоне ФН [12]. Исходя из этих позиций виды спорта можно дифференцировать, например, на предъявляющие повышенные требования к ССС (виды спорта на выносливость) в условиях высокоэффек-

тивной теплоотдачи (группа № 1) и на те, где, наоборот, имеется низкоэффективная теплоотдача (группа № 2). Поэтому к классическим представлениям об адаптации к нагрузкам на выносливость, наряду с активным развитием центрального (ударный и минутный объем крови) и периферического кровообращения (развитие капиллярной сети в рабочих мышцах), необходимо добавить аспект, связанный с развитием сети микрососудов кожных покровов. Известно, что кожный кровоток может занимать около 6% минутного объема кровообращения (МОК) с определенной вариативностью, обусловленной потребностями терморегуляции местного и общего характера [4]. Несомненно, все это не отменяет классические представления об адаптации со стороны сердечно-сосудистой системы к ФН на выносливость в виде увеличения объема циркулирующей крови на фоне повышения ударного объема и капилляризации рабочих мышц. Однако следует заметить, что в группе № 2 параллельно будет происходить одновременное разворачивание двух процессов: развитие капиллярной¹ сети в мышцах (как функция обслуживания метаболических потребностей тканей) и в коже (как функция теплоотдачи).

В связи с вышеизложенным становится понятной актуальность исследований, направленных на изучение особенностей кожного кровотока спортсменов, который может зависеть как от характера долгосрочной адаптации и температуры окружающей среды, так и от индивидуально-типологических особенностей человека [2, 20, 13, 10, 18, 10].

Взаимосвязь микрососудистого обеспечения мышц со спецификой спортивной деятельности довольно обширно представлена в научной литературе как фактор, обеспечивающий адекватную трофику в процессе выполнения упражнений в ходе краткосрочного и долгосрочного восстановления, особенно у

спортсменов, тренирующих выносливость [9, 6].

В связи с развитием микроциркуляции в коже и в мышцах возникает ряд вопросов:

1. Насколько адаптированность (как конечный результат адаптации) к физическим нагрузкам в разных условиях будет проявляться в микрососудистом русле кожи² и мышц?

2. Будет ли развитие тренированности (как показателя спортивного мастерства) или же уровень выполняемой физической нагрузки (как показатель объема и интенсивности) определять развитие кожного и мышечного кровотока?

Для исследования кожного кровотока и оценки процессов, происходящих в микрососудах (их развитие), часто используют лазерную доплеровскую флоуметрию. Данная методика основана на зондировании ткани лазерным излучением с последующей обработкой отраженного от ткани сигнала с выделением доплеровского сдвига частоты, который пропорционален скорости движения эритроцитов [3, 16]. Глубина подобного сканирования составляет около одного миллиметра.

Исследование процессов микроциркуляции в мышцах – более сложная задача. В то же время имеются весьма доступные и простые для регистрации способы, применение которых позволяет определить степень разворачивания процессов роста сосудов в мышцах [5]. Наиболее известный способ – это определение в крови VEGF (англ. Vascular endothelial growth factor) – фактора роста эндотелия сосудов, который представляет собой белок, долгоживущий в гипоксических условиях и вырабатываемый тканями в ответ на недостаток кислорода. Гипоксия же, применительно к физической нагрузке, может быть локализована в рабочих мышцах, и ради ликвидации «очага» гипоксии организму требуется в ближайшей перспективе развить достаточную локальную микрососудистую сеть в про-

¹ Для большей терминологической ясности в дальнейшем необходимо уточнить, что в нашем случае наиболее подходящим вместо понятия «капилляр» будет использование понятий «микроциркуляторное или микрососудистое русло», «микрососуды», которые будут являться более емкими определениями применительно к кровообращению как в мышцах, так и в коже.

² Микрососудистое русло включает множество образований, таких как мелкие артерии, капилляры, венулы и анастомозы между ними и т.д., что в мерном выражении будет колебаться примерно от 400 до 7 мкм, в которых будут происходить процессы микроциркуляции [3].

блемном участке. Поэтому наличие в крови VEGF будет говорить, с одной стороны, о развернутом процессе строительства сосудов, а с другой – о наличии непропорциональности между функцией доставки и утилизацией кислорода в мышцах. Несомненно, есть и другие способы исследования, которые позволяют определить процессы развертывания микроциркуляторного русла, но требуют непосредственного вмешательства (биопсии). Существуют неинвазивные способы фиксации некоторых особенностей гемодинамики мышц, но при этом подкожно-жировая клетчатка может как затруднять процесс регистрации, так и искажать получаемые данные, например, при применении систем, использующих зондирующее излучение, близкое к инфракрасному диапазону [14].

Цель данного исследования – выявить особенности микроциркуляции у спортсменов с различной спортивной квалификацией, специализирующихся в циклических видах спорта на выносливость, а также их зависимость от уровня VEGF и гематологических показателей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были исследованы спортсмены в возрасте 18-22 лет, занимающиеся легкой атлетикой (средние и длинные дистанции, от 1-го разряда до МС РФ), плаванием (средние дистанции, от 1-го разряда до МС РФ), лыжными гонками (от 1-го разряда до МС РФ), и лица, не занимающиеся спортом. Был использован лазерный диагностический аппарат «ЛАЗМА СТ», включающий в себя анализатор периферического кровотока, лимфотока и коферментов ткани «ЛАЗМА-Д» и блок для температурных и электростимуляционных функциональных проб «ЛАЗМА-ТЕСТ». Для снятия показаний была использована зона кожи подушечки большого пальца ноги, куда крепился волоконный оптический зонд с пробником. Вопрос крепления датчиков для атлетов различных специализаций является дискуссионным, но для возможности сопоставления данных, полученных у представителей разных спортивных специализаций,

нами был выбран именно такой способ. Очевидно, в дальнейших исследованиях будет применяться дифференцированный подход, так как имеются данные о существенных изменениях кожного кровотока рядом с активными мышцами у спортсменов в отличие от неспортсменов [13]. Протокол тестирования включал три этапа: первый этап – запись в течение 8 минут с исходной температурой исследуемой области; второй этап – запись в течение одной минуты с охлаждением исследуемой области до 10°C; третий этап – запись в течение 4 минут с нагревом исследуемой области до 35°C.

Фиксировались показатели периферического кровотока (ПМ – показатель микроциркуляции, в пф.ед. – перфузионные единицы) и амплитуды флуоресценции ткани на длинах волн 460 нм и 510 нм для оценки таких коферментов, как восстановленный никотинамид-адениндинуклеотид (НАДН) и флавин-аденин-динуклеотид (ФАД), которые являются биомаркерами состояния окислительного метаболизма в ткани исследуемого участка. Интегральные показатели метаболизма были подсчитаны следующим образом: показатель окислительного метаболизма (в уе. – усл. единицы) – ПОМ = ПМ / (НАДН + ФАД); резерв окислительного метаболизма (у.е.) – РОМ = (ПОМ3 - ПОМ1) / ПОМ1, при этом ПОМ1 и ПОМ3 – показатели на первом и третьем этапе.

Уровень VEGF в сыворотке венозной крови спортсменов определялся методом иммуноферментного анализа (ИФА) с помощью соответствующего набора реагентов фирмы Вектор-Бест (Россия) по инструкции, прилагаемой к набору. Результаты ИФА регистрировались с помощью анализатора иммуноферментного микропланшетного автоматического INFINITE F50 (Tecan).

Гематологические показатели получали с помощью цитофлюориметра МЕК (Япония) для венозной крови после ее инкубации с антикоагулянтом (ЭДТА).

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программы SPSS 20. Все данные были проверены на нормальность распределения с помощью критерия

Колмогорова-Смирнова. Для определения статистически значимых различий использовались Т-критерий Стьюдента (для связанных и несвязанных выборок с нормальным распределением), критерий Колмогорова-Смирнова (для несвязанных выборок с ненормальным распределением) и критерий Уилкоксона (для связанных выборок с ненормальным распределением). Корреляционный анализ был проведен с использованием методик Брауэ-Пирсона и Спирмена (в зависимости от характеристики выборки).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Статистически значимые отличия в показателях микроциркуляции на первом этапе были зафиксированы у представителей лыжных гонок и легкой атлетики (рисунок 1), где у первых отмечается низкое значение средней перфузии, а у вторых – почти двукратное её преобладание. Согласно нашему подходу, изложенному выше, это виды спорта, где значительная нагрузка приходится на нижние конечности. Однако у представителей лыжных гонок отмечается это на фоне низких температур и, по всей видимости, долговременная адаптация приводит к изменениям перфузии кожи конечностей (большой палец ноги). Это может быть обусловлено тем, что длительные тренировки в условиях эффективной охлаждающей среды приводят к снижению теплоотдачи. Данный феномен наблюдается у этих спортсменов и в комфортных услови-

ях, проявляющихся в уменьшении перфузии исследуемого участка кожи. Подобное явление было отмечено и у любителей зимнего плавания [7]. В целом у представителей данного вида отмечается большой спектр адаптивных реакций, включающих и центральные механизмы [23]. На наш взгляд, это не является негативным явлением, а представляет собой лишь особенность, наблюдаемую в состоянии покоя. У легкоатлетов же ситуация обратная, и обусловлена она, возможно, тем, что при ФН происходит преимущественно не охлаждение, а нагрев кожных покровов, в том числе и в исследуемом нами участке.

На втором этапе фиксации данных с применением охлаждения различий между исследуемыми группами не выявлено. На третьем этапе, в процессе применения нагрева исследуемого участка, статистически значимые изменения (рисунок 2) наблюдались между группами лыжников в сравнении с легкоатлетами и пловцами, а также группой пловцов в сравнении с легкоатлетами и неспортсменами. Низкие значения перфузии исследуемого участка, наблюдаемые на первом и втором этапах, кроме всего прочего, можно объяснить тем, что у атлетов, часто занимающихся в гипотермических условиях, наблюдается пониженная активность терморегуляторных систем, связанная с измененной реактивностью терморепцепторов кожи и, как следствие, ведущая к смещению «нейтральной» зоны в сторону более низких температур. Это можно рассматривать как защитный механизм от по-

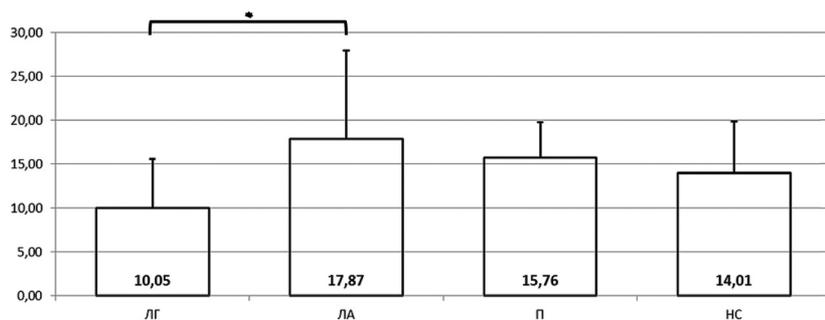


Рисунок 1 – Показатели микроциркуляции у исследуемых групп на первом этапе (п.ф.ед.)
Figure 1 – Indicators of microcirculation of the studied groups at the first stage

Примечание: здесь и далее ЛГ – лыжные гонки, ЛА – легкая атлетика, П – плавание, НС – неспортсмены; * – статистически значимые отличия

Note: hereinafter ЛГ – skiing, ЛА – track-and-field, П – swimming, НС – non-athletes; * – statistically significant difference

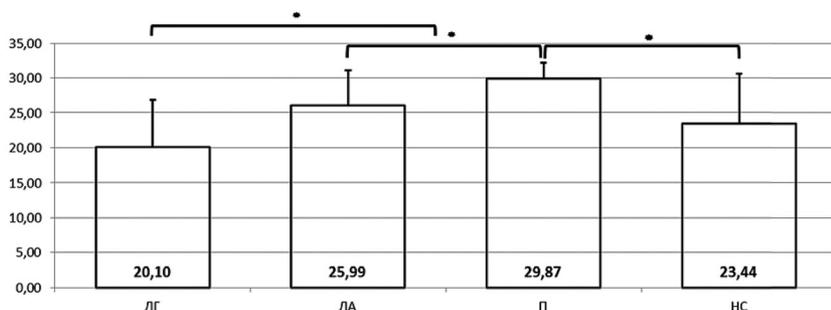


Рисунок 2 – Показатели микроциркуляции у исследуемых групп на третьем этапе (пф.ед.)
Figure 2 – Indicators of microcirculation of the studied groups at the third stage

тери тепла [23, 17] или как индивидуальную особенность атлета, лежащую в основе «естественного отбора» и проявляющуюся у большинства атлетов с хорошими достижениями в избранном виде спорта. На сегодняшний день многие вопросы адаптации к различным температурным режимам и молекулярные механизмы их регуляции не имеют ответов [21]. Однако факт определенной адаптации кожного кровотока, а в нашем случае к взаимному влиянию ФН и внешних условий, не вызывает сомнений. Исследователи, применявшие эндотелийзависимые факторы вазодилатации в исследовании кожного кровотока атлетов, показали, что имеется большая реактивность сосудов на ацетилахлин у атлетов в сравнении с неспортсменами [19], другие же авторы фиксируют подобные реакции на оксид азота и не наблюдают повышенной реактивности на использование ацетилахолина [10]. Полученные нами данные и данные других исследователей свидетельствуют о том, что у тренированных спортсменов в отличие от нетренированных лиц перфузия кожи может существенно адаптироваться.

При рассмотрении интегральных показателей микроциркуляции, таких как показатель окислительного метаболизма и его резерв, обнаружено, что ПОМ на третьем этапе у лыжников и пловцов имеет различный характер. У пловцов он статистически значимо завышен (27,34 у.е. против 17,64 у.е. у лыжников), как следствие, лыжники обладают большим резервом окислительного метаболизма, что, несомненно, требует своего корректного объяснения в дальнейшем. Неспортсмены и легкоатлеты имели сходные значения, значи-

мо не различающиеся как между собой, так и с остальными подгруппами исследуемых (21,84 у.е. и 22,24 у.е. соответственно).

VEGF имел корреляции с показателями микрососудистого русла лишь у спортсменов-легкоатлетов, и зафиксированы они только с показателем НАДН на втором ($r=0,89$ при $p=0,019$) и третьем этапах ($r=0,94$ при $p=0,005$). Возможно, это связано с тем, что пальцы ног у легкоатлетов являются частью «рабочей поверхности» и лучше васкуляризируются. Уровень VEGF в крови, возможно, в значительной степени обусловлен различными сочетаниями условий локальной или глобальной гипоксии. В некоторой степени это может быть связано со спецификой тренировок или с нахождением человека в условиях среднегорья и выше. В этой связи необходимо выполнить отдельные исследования с применением упражнений локального характера, ухудшающих местный кровоток (применять подходы в упражнениях без расслабления мышц), с изучением динамики перфузии кожи над рабочей мышцей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, имеются признаки долговременной адаптации периферического кровотока у атлетов, обусловленные как видом, так и условиями спортивной деятельности, выражающиеся в различиях перфузии исследованного участка кожи.

Показатели перфузии, окислительного метаболизма, интегральные показатели, так же как и VEGF, не имели каких-либо корреляций с уровнем спортивного мастерства и со спортивным стажем.

ЛИТЕРАТУРА

- Бочаров, М.И. Терморегуляция организма при холодных воздействиях (обзор) / М.И. Бочаров // Журнал медико-биологических исследований. – 2015. – №. 2. – С.5-16.
- Гребенюк, Л.А. Анализ влияния повышенных физических нагрузок на микроциркуляцию и механо-акустические свойства кожи конечностей человека / Л.А. Гребенюк // Физиология человека. – 2014. – Т. 40. – №. 4. – С. 132-132.
- Крупаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Либриком, 2016. – 496 с.
- Морман, Д. Физиология сердечно-сосудистой системы / Д. Морман, Л. Хеллер. – СПб.: Питер. – 2000. – 256 с.
- Набатов, А.А. Капилляры, эндотелий и аэробная тренировка / А.А. Набатов, А.С. Назаренко, Н.Х. Давлетова, Ф.А. Мавлиев // Наука и спорт: современные тенденции. – 2018. – Т. 21. – №. 4. – С. 30-36.
- Попов, Д.В. Аэробная работоспособность человека / Д.В. Попов, О.Л. Виноградова, А. И. Григорьев. – М.: Наука, 2012. – 111 с.
- Пулина, В.В. Функциональное состояние системы терморегуляции в процессе адаптации организма человека к мышечной деятельности и низкой температуре окружающей среды / В.В. Пулина. – Владимир, 2000. – 142 с.
- Сышко, Д.В. Кожный кровоток у женщин, тренирующихся в беге на средние и длинные дистанции / Д.В. Сышко, К.Д. Савина, В.Ф. Кровяков // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2012. – № 7. – С. 103-106.
- Уилмор, Д.Х. Физиология спорта. Пер. с англ / Д.Х. Уилмор, Д.Л. Костилл. – Киев: Олимпийская литература, 2001. – 503 с.
- Boegli Y. et al. Endurance training enhances vasodilation induced by nitric oxide in human skin // Journal of investigative dermatology, 2003, no. 5, pp.1197-1204.
- Chalmers S. et al. Brief in-play cooling breaks reduce thermal strain during football in hot conditions // Journal of science and medicine in sport, 2019, iss. 8, pp. 912-917.
- Crandall C.G., Gonzalez-Alonso J. Cardiovascular function in the heat-stressed human // Actaphysiologica, 2010, no. 4, pp. 407-423.
- Ducloux G., Ducloux H., Conri C. Cutaneous circulation in sportsmen. A laser Doppler study // Archives des maladies du coeur des vaisseaux, 1989, iss.82, pp. 35-37.
- Gleeson M. Temperature regulation during exercise // International Journal of Sports Medicine, 1998, no. 2, pp. 96-99.
- Homma S., Fukunaga T., Kagaya A. Influence of adipose tissue thickness on near infrared spectroscopic signal in the measurement of human muscle // Journal of biomedical optics, 1996, no. 4, pp. 418-425.
- Humeau A. et al. Laser Doppler perfusion monitoring and imaging: novel approaches // Medical & biological engineering & computing, 2007, no. 5, 421 p.
- Jansky L. Physiologic basis of human adaptation to cold // Ceskoslovenska fysiologie, 2003, no. 3, pp. 107-117.
- Johnson J. M. Physical training and the control of skin blood flow // Medicine and science in sports and exercise, 1998, no. 3, pp. 382-386.
- Lenasi H., Strucl M. Effect of regular physical training on cutaneous microvascular reactivity // Medicine and science in sports and exercise, 2004, no. 4, pp. 606-612.
- Lenasi H., Strucl M. Regular physical activity alters the postocclusive reactive hyperemia of the cutaneous microcirculation // Clinical hemorheology and microcirculation, 2010, no. 2-4, pp. 365-374.
- Mori Y., Voets T. Sensors and regulatory mechanisms of thermal physiology // Pflügers Archiv-European Journal of Physiology, 2018, no. 5, pp. 703-704.
- Poppendieck W. et al. Cooling and performance recovery of trained athletes: a meta-analytical review // International Journal of Sports Physiology and Performance, 2013, no. 3, pp. 227-242.
- Vybiral S. et al. Thermoregulation in winter swimmers and physiological significance of human catecholamine thermogenesis // Experimental physiology, 2000, no. 3, pp. 321-326.

REFERENCES

- Bocharov M.I. [Body thermoregulation during cold exposure (review)]. Journal of Biomedical Research [Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy], 2015, no.2, pp. 5-16 (in Russ.).
- Grebeniuk L.A. [Analysis of the effect of increased physical exertion on microcirculation, mechanic and acoustic properties of the skin of human limbs]. Fiziologiya cheloveka [Human physiology], 2014, iss. 40, no.4, pp. 132-132 (in Russ.).
- Krupatkin A.I., Sidorov V.V. [Functional diagnostics of status of microcirculatory-tissue systems: fluctuations, information, and nonlinearity: guidelines for doctors]. Moscow, Librikom Publ., 2016. – 496 p.
- Morman D., Kheller L. [Physiology of cardiovascular system]. St. Petersburg, Piter Publ., 2000, 256 p.
- Nabatov A.A., Nazarenko A.S., Davletova N.Kh., Mavliev F.A. [Capillaries, endothelium and aerobic training]. Science and sport: current trends, 2018, iss. 21, no 4, pp. 30-36 (in Russ.).
- Popov D.V., Vinogradova O.L., Grigorev A.I. Aerobnaya rabotosposobnost' cheloveka [Human aerobic performance]. Moscow, Science Publ., 2012, 111 p.
- Pulina V.V. Funktsional'noe sostoyanie sistemy termoregulatsii v protsesse adaptatsii organizma cheloveka k myshechnoy deyatelnosti i nizkoj temperature okruzhayushchej sredy [The functional state of thermoregulation system in the process of adaptation of human body to muscle activity and low ambient temperature]. Vladimir, 2000, 142 p.
- Syshko D.V., Savina K.D., Krovviakov V.F. [Cutaneous blood flow of women practicing middle-long distance running]. Pedagogika, psikhologiya i mediko-biologicheskie problemy fizicheskogo vospitaniia i sporta [Pedagogy, psychology and biomedical problems of physical education and sport], 2012, no 7, pp. 103-106 (in Russ.).
- Uilmor D.Kh., Kostill D.L. Fiziologiya sporta. Per. s angl [Physiology of sport]. Kiev, Olympic literature Publ., 2001, 503 p.
- Boegli Y. et al. Endurance training enhances vasodilation induced by nitric oxide in human skin. Journal of investigative dermatology, 2003, no. 5, pp. 1197-1204.
- Chalmers S. et al. Brief in-play cooling breaks reduce ther-

- mal strain during football in hot conditions. *Journal of science and medicine in sport*, 2019, iss. 8, pp. 912-917.
12. Crandall C.G., Gonzalez-Alonso J. Cardiovascular function in the heat-stressed human. *Actaphysiologica*, 2010, no. 4, pp. 407-423.
 13. Ducloux G., Ducloux H., Conri C. Cutaneous circulation in sportsmen. A laser Doppler study. *Archives des maladies du coeur et des vaisseaux*, 1989, iss.82, pp. 35-37.
 14. Gleeson M. Temperature regulation during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 1998, no. 2, pp. 96-99.
 15. Homma S., Fukunaga T., Kagaya A. Influence of adipose tissue thickness on near infrared spectroscopic signal in the measurement of human muscle. *Journal of biomedical optics*, 1996, no. 4, pp. 418-425.
 16. Humeau A. et al. Laser Doppler perfusion monitoring and imaging: novel approaches. *Medical & biological engineering & computing*, 2007, no. 5, 421p.
 17. Janský L. Physiologic basis of human adaptation to cold. *Ceskoslovenska fysiologie*, 2003, no. 3, pp. 107-117.
 18. Johnson J.M. Physical training and the control of skin blood flow. *Medicine and science in sports and exercise*, 1998, no. 3, pp. 382-386.
 19. Lenasi H., Strucl M. Effect of regular physical training on cutaneous microvascular reactivity. *Medicine and science in sports and exercise*, 2004, no. 4, pp. 606-612.
 20. Lenasi H., Štrucl M. Regular physical activity alters the postocclusive reactive hyperemia of the cutaneous microcirculation. *Clinical hemorheology and microcirculation*, 2010, no. 2-4, pp. 365-374.
 21. Mori Y., Voets T. Sensors and regulatory mechanisms of thermal physiology // *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 2018, no. 5, pp. 703-704.
 22. Poppendieck W. et al. Cooling and performance recovery of trained athletes: a meta-analytical review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2013, no. 3, pp. 227-242.
 23. Vybiral S. et al. Thermoregulation in winter swimmers and physiological significance of human catecholamine thermogenesis. *Experimental physiology*, 2000, no. 3, pp. 321-326.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства спорта РФ (приказ № 1078 от 14.12.2017 г.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Мавлиев Фанис Азгатович (Mavliev Fanis Azgatovich) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Учебно-научного центра технологий подготовки спортивного резерва; Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; e-mail: fanis16rus@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8981-7583.

Демидов Виктор Александрович – доктор медицинских наук, профессор кафедры медико-биологических дисциплин; Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; e-mail: va-demidov@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-9216-0428.

Назаренко Андрей Сергеевич – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин; Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; e-mail: hard@inbox.ru; ORCID: 0000-0002-3067-8395.

Давлетова Наиля Ханифовна. – кандидат медицинских наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин; Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; e-mail: davletova0681@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2014-1746.

Набатов Алексей Анатольевич – доктор биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин; Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; e-mail: rastoska@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7932-1445.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Мавлиев Ф.А. Особенности микроциркуляции и факторы, ее обуславливающие, у спортсменов, тренирующихся на выносливость / Ф.А. Мавлиев, В.А. Демидов, А.С. Назаренко и др. // *Наука и спорт: современные тенденции*. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 100-107. DOI: 10.36028/2308-8826-2019-7-3-100-107

FOR CITATION

Mavliev F.A., Demidov V.A., Nazarenko A.S., Davletova N.Kh., Nabatov A.A. Particularities of microcirculation of athletes training for endurance, and its factors. *Science and sport: current trends*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 100-107 (in Russ.). DOI: 10.36028/2308-8826-2019-7-3-100-107