

Исследование параметров кровотока в микроциркуляторном русле у подростков футбольных команд в ходе тренировочного процесса

Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем РАН
123007, Россия, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А
e-mail: skedina@imbp.ru

Статья поступила в редакцию 15.06.17 и принята к печати 06.07.17.

Реферат

Лимитирующая роль сердечно-сосудистой системы при выполнении спортивных нагрузок связана не только с центральной гемодинамикой, но значительную роль играют периферические механизмы, регулирующие кровоток, одним из показателей которых является скорость капиллярного кровотока. С помощью метода высокочастотной ультразвуковой доплерографии проводили изучение особенностей кровотока в микроциркуляторном русле у 53 подростков в возрасте 9–15 лет с разным спортивным стажем в покое и после тренировочного процесса. В ходе исследований было показано, что фоновые значения скорости кровотока в артериальном и капиллярном русле ($p \leq 0,05$) выше, а тонус сосудов ниже у подростков 14–15 лет и имеющих более длительный спортивный стаж, по сравнению с подростками 9–13 лет. Показатели кровотока в микроциркуляторном русле у старшей возрастной группы ближе к значениям, регистрируемым у взрослых. После тренировочного процесса выявлены различные механизмы, направленные на поддержание оксигенации мышц в ходе тренировки. Визуально (на доплерограмме) и количественно подтверждено, что у менее тренированных подростков (9–13 лет) в ходе тренировки включаются механизмы, увеличивающие приток крови к мышцам. В старшей возрастной группе прослеживаются более экономичные механизмы: перераспределение кровотока и увеличение числа функционирующих капилляров.

Ключевые слова: микроциркуляция, спорт, подростки, высокочастотная ультразвуковая доплерография

Для цитирования: Скедина М. А., Ковалёва А. А. Исследование параметров кровотока в микроциркуляторном русле у подростков футбольных команд в ходе тренировочного процесса. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2017; 16(3):56–61. doi: 10.24884/1682-6655-2017-16-3-56-61

Введение

В области спортивной медицины основополагающим фактором, лимитирующим интенсивность выполняемой физической нагрузки, являются функциональные возможности сердечно-сосудистой системы (ССС) спортсмена. Сердечно-сосудистая система – это чувствительный индикатор адаптационных реакций целостного организма. Поэтому большое внимание уделяется исследованию регуляции ССС, возможности ее адаптироваться к различным стрессорным условиям, выявлению донозологических изменений в механизмах регуляции.

В физиологии спорта и в спортивной медицине преимущественное внимание в процессе тренировок уделяется изучению центральной гемодинамики показателям сердца и артериального давления. Однако лимитирующая роль ССС связана не только с производительностью самой сердечной мышцы. Не менее важны периферические механизмы, влияющие на кровоток в микроциркуляторном русле. Интенсивность кровотока по нутритивным капиллярам оказывает существенное влияние на макроперенос кислорода из эритроцитов к митохондриям мышечных клеток. Следовательно, среди факторов, ограничивающих максимальную аэробную мощность необходимо рассматривать как центральные, так и периферические механизмы гемодинамики. От того, насколько мобильна система

микроциркуляции (МЦР) во время тренировочного процесса, во многом зависит поддержание тканевого гомеостаза при различных режимах физических тренировок.

Известно, что при физической работе функционирование МЦР направлено на поддержание оптимального уровня оксигенации скелетных мышц. При этом параметры, характеризующие состояние ССС и, в частности, МЦР, могут достигать предельно допустимых значений. После прекращения нагрузки в организме вновь осуществляется перестройка кровотока в МЦР, и поэтому переходный режим от нагрузки к покою является хорошей моделью для изучения морфофункциональных изменений в системе МЦР [8]. Его морфофункциональная перестройка является одним из ключевых пунктов в изучении механизмов срочной и долговременной адаптации организма спортсмена к физическим нагрузкам.

Несмотря на достаточно высокую информативность о состоянии капиллярного кровотока, только в последнее время появились попытки дать четкую количественную характеристику состоянию кровотока в МЦР у спортсменов как в покое, так и при физических нагрузках различного характера. В настоящее время только начали предприниматься попытки проведения системного анализа реактивности отдельных звеньев системы МЦР у спортсменов [3].

Исследования, посвященные изучению кровотока в МЦР у подростков в ходе спортивных тренировок, единичны [1, 13].

Целью работы являлось изучение особенностей кровотока в МЦР у подростков разного возраста и спортивного стажа в покое и после тренировочного процесса.

Материал и методы исследования

В исследовании приняли участие члены футбольных команд, тренирующихся на стадионе «Спартак-овец» (Москва). Всего были обследованы 53 подростка в возрасте 9–15 лет, спортивный стаж которых составлял от 1,5 до 8 лет. Тренировка футбольных команд проходила в период подготовки к городским соревнованиям.

Для исследования показателей МЦР использовался высокочастотный ультразвуковой доплерограф «Минимакс-Допплер-К» (ООО СП «Минимакс», Санкт-Петербург, Россия) с рабочей частотой датчика 20 МГц. Проба проводилась в нормальных условиях при температуре окружающей среды 23–25 °С, после акклиматизации в положении сидя, рука обследуемого находилась на столе на уровне сердца. Измерение проводили на коже ногтевого валика большого пальца правой руки после нанесения на датчик акустического геля, без сдавления кожи. Правильность установки датчика контролировали по характерному звуковому сигналу и визуальному сигналу на мониторе прибора, представляющему монофазную кривую, не синхронизированную с фазами сердечного цикла.

В основу данного метода положена регистрация доплеровского сдвига частот, вызванного отражением ультразвукового сигнала от форменных элементов крови. Данные представляются на экране монитора в виде цветной доплерограммы, по которой можно визуально определить тип преобладающего кровотока. В ходе исследования регистрировались абсолютные значения линейных скоростей в исследуемом объеме ткани по кривым максимальной скорости, отражающей артерио-венулярный кровоток: V_s – максимальная систолическая скорость, V_m – средняя скорость, V_d – конечная диастолическая скорость (см/с); и средней скорости (показатели, рассчитанные по этой кривой соответствуют преимущественно капиллярному кровотоку): V_{as} – максимальная систолическая скорость, V_{am} – средняя скорость, V_{akd} – конечная диастолическая скорость (см/с); индекс пульсации (PI), индекс периферического сопротивления (RI). Глубина прохождения ультразвукового сигнала составляет порядка 1,5 см.

Исследования показателей кровотока проводили перед тренировкой и сразу после ее завершения.

Измерения выполнялись после вечерней тренировки, которая состояла в возрастной группе 9–13 лет из 15 мин разминочного бега, 25 мин отработки технических приемов (ведение мяча, жонглирующие упражнения, игровые эстафетные упражнения), 20 мин отработки тактических приемов в уменьшенном составе (2×2, 3×3, 4×4 человека). В возрастной группе 14–15 лет длительность этапов совершенствования индивидуальной техники владения

Таблица 1

Количество обследуемых подростков в зависимости от возраста и спортивного стажа			
Группа, количество человек	Возраст, лет		
	9–13		14–15
	Спортивный стаж, лет		
	менее 2	более 2	более 5
До тренировки	6	19	14
После тренировки	2	5	7

мячом, командной тактики игры и групповых взаимодействий составляла 40 мин каждый. Температура на улице в этот период колебалась в пределах –7, –6 °С в марте и +1,6, +4,5 °С в апреле.

Статистическая обработка полученных данных производилась с помощью программы «Stat Soft Statistica v6.0». Для определения различий между группами использовался непараметрический критерий Манна–Уитни. С целью оценки достоверности внутригрупповой динамики параметров микроциркуляции использовали непараметрический критерий Вилкоксона, данные представленные как медианы. Для статистического анализа частоты сердечных сокращений (ЧСС) использовался критерий Стьюдента. Принятый уровень значимости при всех расчетах составил $p=0,05$.

Результаты исследования

В табл. 1 приведены данные по количеству обследуемых подростков в зависимости от возраста (наступления пубертатного периода) и спортивного стажа.

Сравнение показателей кровотока в МЦР до тренировки у подростков одной возрастной группы (9–13 лет) независимо от спортивного стажа не выявило каких-либо различий. При сравнении показателей кровотока двух возрастных групп получены результаты, приведенные в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, показатели скорости кровотока в МЦР у подростков 9–13 лет ниже, а капиллярного кровотока (V_{as}) достоверно ($p=0,0372$) по сравнению с возрастной группой 14–15 лет. Индекс

Таблица 2

Показатели кровотока в МЦР у подростков разных возрастных групп до тренировки			
Показатель	Медиана		Значимость различий p-level
	9–13 лет (n=25)	14–15 лет (n=14)	
V_s	1,206	1,895	0,126612
V_{as}	0,564	1,12	0,037243*
V_m	0,785	1,068	0,458903
V_{am}	0,149	0,1915	0,379115
V_d	0,172	0,3445	0,458903
V_{akd}	0,109	0,2455	0,643429
PI	1,28	1,49	0,578559
RI	0,91	0,82	0,594486

Примечание: здесь и далее * – $p \leq 0,05$.

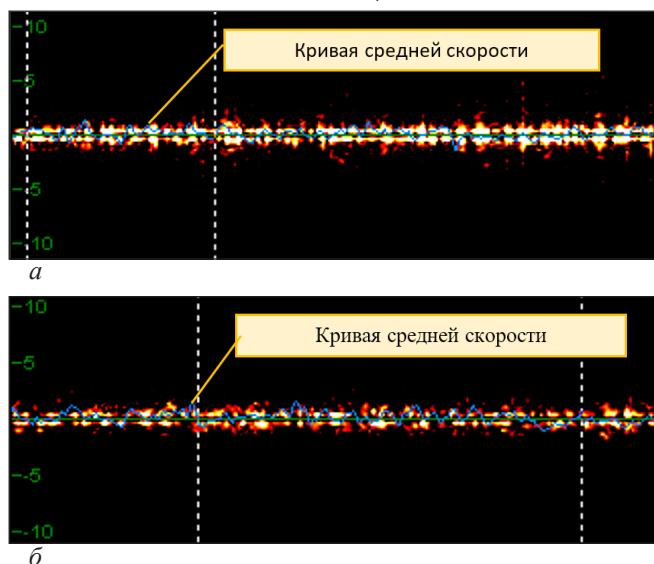


Рис. 1. Примеры фоновых доплерограмм:
 а – подросток 10 лет, спортивный стаж – 1,5 года;
 б – подросток 15 лет, спортивный стаж – 8 лет

периферического сопротивления (RI), который отражает миогенный тонус микрососудов, несколько выше в возрастной группе 9–13 лет. Таким образом, линейные скорости кровотока в МЦР у группы 14–15 лет, особенно по показателям, характеризующим артериолярный кровоток, ближе к значениям, регистрируемым у взрослых [2].

Визуально на доплерограммах (рис. 1) отмечают различия в плотности и яркости спектров сигналов. Кривая средней скорости кровотока у подростка 10 лет находится преимущественно в границах спектра (рис. 1, а), тогда как у подростка старшего возраста (рис. 1, б) наблюдаются пики за пределами спектра и амплитуда их больше, чем у подростка младшего возраста. Разница амплитуд обуславливает различия в значениях линейных скоростей у подростков разных возрастов (табл. 2).

После тренировки, которая характеризовалась как средняя по классификации В. П. Губа и др. [5], в возрастной группе 9–13 лет отмечался достоверный рост показателей, отвечающих за артериолярный и

капиллярный кровоток, с небольшим приростом диастолической составляющей, индексы PI и RI практически не изменились (табл. 3). В возрастной группе 14–15 лет динамика показателей кровотока в МЦР была иной. Линейные скорости артериолярного и капиллярного кровотока несколько снизились, но увеличилась скорость кровотока в дистальном отделе (венулярная составляющая) на фоне снижения тонуса микрососудов и периферического сопротивления.

На доплерограмме у подростков 9–13 лет после тренировки отчетливо прослеживается наличие артериолярной составляющей и присутствие шунтирующего кровотока (открытие артерио-венулярных шунтов), что отражает нормальные физиологические процессы, направленные на отведение избыточного тепла из организма после тренировки (рис. 2, а) [14]. У подростков 14–15 лет и имеющих более длительный спортивный стаж на доплерограмме не отмечается наличия шунтирующего кровотока (рис. 2, б). Это подтверждает тот факт, что у более тренированных лиц произошла морфофункциональная перестройка сосудистого русла и физическая работа ими выполняется более экономично [6]. Во время физической нагрузки у подростков 9–13 лет преобладают механизмы, направленные на улучшение кровотока в работающих мышцах путем притока крови, а у подростков 14–15 лет включаются механизмы перераспределения тока крови путем изменения тонуса микрососудов и увеличения общего числа функционирующих капилляров (ФК). Как известно, увеличение числа ФК приводит к снижению скорости кровотока в капиллярах [9]. Этот факт подтверждается и нашими исследованиями.

В ходе тренировочного процесса у спортсменов контролируют динамику основных гемодинамических показателей – ЧСС и артериальное давление (АД). ЧСС – самый простой и адекватный метод контроля за функциональным состоянием ССС и управления тренировками индивидуально для каждого спортсмена [5]. В фоновых исследованиях ЧСС у подростков 9–13 лет составляла $75 \pm 6,3$ уд./мин, 14–15 лет – $66 \pm 4,57$ уд./мин, что соответствует возрастной норме [4]. После тренировки у подрост-

Таблица 3

Динамика показателей кровотока в МЦР у подростков разных возрастных групп в ходе тренировочного процесса

Показатель	9–13 лет			14–15 лет		
	медиана		значимость различий p-level	медиана		значимость различий p-level
	до тренировки (n=25)	после тренировки (n=7)		до тренировки (n=14)	после тренировки (n=7)	
Vs	1,206	2,2395	0,008355*	1,895	1,51	0,487454
Vas	0,57800	0,775	0,009182*	1,12	0,5675	0,247161
Vm	0,804	1,0885	0,049767*	1,068	1,1235	1,0
Vam	0,149	0,073	0,509672	0,1915	0,2095	1,0
Vd	0,172	0,2585	0,376431	0,3445	0,7665	0,105194
Vakd	0,103	0,074	0,181949	0,2455	0,272	0,643429
PI	1,264	1,453	0,147799	1,49	0,6005	0,164916
RI	0,91	0,87	0,530538	0,82	0,445	0,105194

ков 9–13 лет ЧСС – $100 \pm 7,0$ уд./мин, 14–15 лет – $90 \pm 5,4$ уд./мин.

Обсуждение результатов

Одной из основных задач спортивной медицины является оценка уровня функциональной готовности спортсмена и адекватности процесса тренировки. Особенно это относится к здоровью детей и подростков, поскольку их организм находится еще в процессе развития, и функциональные возможности ССС и дыхательной системы значительно ниже, чем у взрослых. Вследствие этого физическая нагрузка выполняется ими менее экономично, и возможно проявление быстрой утомляемости и слабости. Поэтому стратегией современной спортивной медицины является привлечение высокотехнологичных средств обеспечения тренировочного процесса, применение доступных и достоверных методик, отражающих готовность спортсмены к выполнению определенных нагрузок. Как отмечалось ранее, лимитирующая роль ССС при выполнении спортивных нагрузок связана не только с центральной гемодинамикой, но значительную роль играют периферические лимитирующие механизмы, к которым относятся содержание кислорода в капиллярной крови; сродство кислорода к гемоглобину; скорость капиллярного кровотока; число функционирующих нутритивных капилляров [9].

Проведенные исследования скорости кровотока в МЦР методом высокочастотной ультразвуковой доплерографии хорошо подтверждаются результатами, полученными Н. В. Бабошиной и др. (2016), которые проводили исследования периферического кровотока методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) у подростков 8–10 лет. Исследования проводились на дистальной фаланге второго пальца правой кисти. В течение 2-летнего наблюдения было показано, что кровотоки в МЦР с возрастом увеличивается, а показатели миогенного тонуса снижаются. Это отражено и в наших исследованиях: в фоновых исследованиях кровотоков в артериолярном и капиллярном русле выше, а показатели тонуса сосудов ниже у подростков 14–15 лет по сравнению с более младшей возрастной группой (9–13 лет).

Визуально на доплерограммах отмечено, что плотность и яркость спектров сигналов выше у подростков младшего возраста. Яркость сигнала находится в прямой зависимости от объемного тканевого кровотока (интенсивности микроциркуляции), который, согласно следствию, из закона Пуазейля [7], обратно пропорционален тонузу сосудов (PI). Более низкий сосудистый тонус у подростков младшего возраста обуславливает высокую интенсивность кровенаполнения объема ткани, что подтверждает наличие возрастных особенностей сосудистого русла: более короткая длина сосудов, более широкий их просвет (особенно артериол), более слабые противодействующие кровяному току силы [10].

После тренировочного процесса визуально (на доплерограмме) и количественно подтверждено, что у менее тренированных подростков (9–13 лет) для поддержания оксигенации мышц в ходе тренировки включаются механизмы, увеличивающие приток крови к

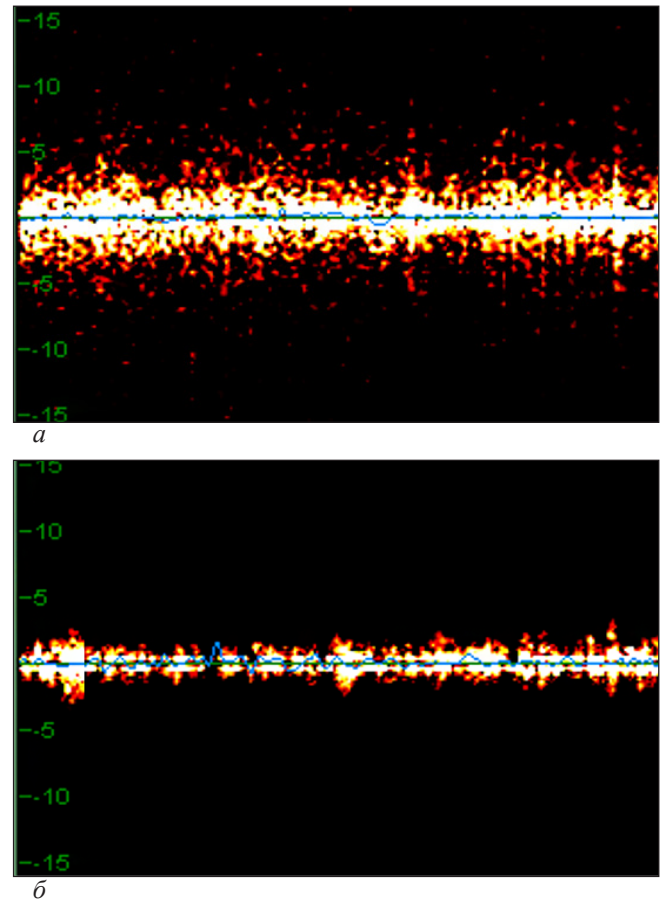


Рис. 2. Примеры доплерограмм после тренировки:
а – подросток 12 лет, спортивный стаж – 1,5 года;
б – подросток 14 лет, спортивный стаж – 8 лет

мышцам. В более старшей возрастной группе прослеживаются более экономичные механизмы: перераспределение кровотока и увеличение ФК. Этот факт хорошо известен и подтвержден многочисленными исследованиями в области спортивной медицины [11, 12], однако визуально наблюдать этот процесс стало возможно только при использовании метода высокочастотной ультразвуковой доплерографии.

Выводы

С помощью метода высокочастотной ультразвуковой доплерографии показано, что в покое скорость кровотока в артериолярном и капиллярном русле выше, а тонус сосудов ниже у подростков старшей возрастной группы и имеющих более длительный спортивный стаж.

Объективно показаны различные механизмы, направленные на поддержание оксигенации мышц при выполнении физической нагрузки у разных возрастных групп подростков с различным спортивным стажем.

Метод высокочастотной ультразвуковой доплерографии отражает количественные и качественные показатели кровотока в различных звеньях системы МЦР.

Такие характеристики кровотока в МЦР, как скорость, интенсивность, наличие или отсутствие спазмов, шунтирующего кровотока, вазоконстрикций, их чередование, демонстрируют индивидуальные особенности ССС спортсмена и отражают такие качества, как выносливость, предрасположенность к

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

различным видам нагрузок, степень отдачи во время тренировки или нагрузочного теста, степень тренированности.

Сочетание метода высокочастотной ультразвуковой доплерографии и традиционных методов диагностики позволит объективно оценивать функциональное состояние спортсменов, их физические, психоэмоциональные возможности и ресурсы.

Литература

1. Бабошина Н. В., Тихомирова И. А., Малышева Ю. В. Возрастные особенности микроциркуляции у детей // Вестник Сев. (Аркт.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2016. № 1. С. 13–21.

2. Безруких М. М., Сонькин В. Д., Фарбер Д. А. Возрастная физиология: физиология развития ребенка: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. завед. М.: Академия, 2002. 416 с.

3. Борисевич С. А. Особенности микроциркуляции и транскутанного парциального давления кислорода у спортсменов с разной направленностью физических нагрузок // Современные проблемы науки и образования: электрон. науч. журн. 2012. № 3. С. 305.

4. Возрастные особенности организации спортивных занятий детей и подростков. URL: <https://mednorma.org/article/vozzrastnye-osobennosti-organizacii-sportivnykh-zanjatii-detei-i-podrostkov> (дата обращения 08.02.2017).

5. Губа В. П., Лексаков А. В., Антипов А. В. Интегральная подготовка футболистов: учеб. пособие. М.: Советский спорт, 2010. 208 с.

6. Загородный Г. М., Пристром С. Л., Лосицкий Е. А. Программа комплексного тестирования спорт-

сменов. Инстр. на метод. БелМАПО и РДСМ. Минск, 2003. 26 с.

7. Козлов В. А., Артюшенко Н. К., Шалак О. В. и др. Ультразвуковая доплерография в оценке состояния гемодинамики в тканях шеи, лица и полости рта в норме и при некоторых патологических состояниях. СПб.: Мед. академия последипломного образования; СП Минимакс, 2000. 32 с.

8. Козлов В. И., Тупицин И. О. Микроциркуляция при мышечной деятельности. М.: Физкультура и спорт, 1982. 135 с.

9. Методические рекомендации по исследованию сердечно-сосудистой системы спортсменов с применением методов математического моделирования для выявления ограничивающих спортивный результат факторов. URL: <http://csp-athletics.ru/images/doc/metod/control/metod-control-13.pdf> (дата обращения 17.01.2017).

10. Савченков Ю. И., Шилов С. Н., Солдатова О. Г. Возрастная физиология (физиологические особенности детей и подростков): учеб. для вузов. М.: ВЛАДОС, 2013. 143 с.

11. Fritzsche R. G., & Coyle E. F. Cutaneous blood flow during exercise is higher in endurance-trained humans // J. Appl. Physiol. 2000. Vol. 88. № 2. P. 738–744.

12. Lenasi H. Assessment of human skin microcirculation and its endothelial function using laser dopplerflowmetry // Med. Imaging Edited by Dr. Okechukwu Felix Erondy. 2011. P. 271–296.

13. Roche D. M., Rowland T. W., Garrard M. et al. Skin microvascular reactivity in trained adolescents // Eur. J. Appl. Physiol. 2010. Vol. 108. P. 1201–1208.

14. Rossi M., Santoro G., Maurizio S., & Carpi A. Spectral analysis of skin blood flow motion before and after exercise in healthy trained subjects // Int. J. Sports Med. 2006. Vol. 27. № 7. P. 540–545. DOI:10.1055/s-2005-865825.

UDC 612.1

Skedina M. A., Kovaleva A. A.

Investigation of blood flow parameters in the microvasculature in adolescents football teams during the training process

Federal State Budgetary Establishment of Science, State Scientific Center of the Russian Federation, Institute for Bio-Medical Problems of RAS

123007, Russian Federation, Moscow, Horoshevskoye street, 76A

e-mail: skedina@imbp.ru

Received 15.06.17; accepted 06.07.17.

Abstract

The limiting role of the cardiovascular system when performing sports loads is associated not only with central hemodynamics, but peripheral mechanisms, regulating blood flow. One of the indicators playing a significant role is a velocity of capillary blood flow. Using the method of high-frequency ultrasound dopplerography, the study of blood flow characteristics in a microvasculature at rest and after exercise session was conducted in 53 adolescents at the age of 9–15 years with different sport experience. During these studies it was found that background blood flow velocity values in the arteriolar and capillary bed ($p \leq 0.05$) are higher, and vascular tone is lower in adolescents of 14–15 years and adolescents having a longer sport experience, compared with adolescents of 9–13 years. Blood flow indicators in a microvasculature of the older age group are closer to the values recorded in adults. Various mechanisms aimed at maintenance of muscle oxygenation during exercise, are revealed after exercise session. It is confirmed visually (on the dopplerogram) and quantitatively that mechanisms increasing blood flow to muscles are activated at less-trained adolescents (9–13 years old) during exercise. More efficient mechanisms are observed at the older age group: redistribution of blood flow and increase in number of functioning capillaries.

Key words: microcirculation, sport, adolescents, high-frequency ultrasound dopplerography

References

1. Baboshina N.V., Tihomirova I.A., Malysheva YU.V. *Vozrastnye osobennosti mikrocirkulyacii u detej // Vestn. Sev. (Arktich.) feder. un-ta Ser.: Med.-biol. nauki.* – 2016. - № 1, S. 13-21.
2. Bezrukih M. M., Son'kin V. D., Farber D. A. *Vozrastnaya fiziologiya: (Fiziologiya razvitiya rebenka) // Ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ped. ucheb. zavedenij – M.: Akademiya, 2002. – 416 s.*
3. Borisevich S.A. *Osobennosti mikrocirkulyacii i transkutannogo parcial'nogo davleniya kisloroda u sportsmenov s raznoj napravlennoy fizicheskikh nagruzok // EHL. Nauchnyy zhurnal «Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya».* – 2012. - № 3, S. 305.
4. *Vozrastnye osobennosti organizacii sportivnykh zanyatij detej i podrostkov [Ehlektronnyj resurs].* 2013. 01 iyulya. URL: <https://mednorma.org/article/vozrastnye-osobennosti-organizacii-sportivnykh-zanyatii-detei-i-podrostkov> (data obrashcheniya: 08.02.2017).
5. Guba V.P., Leksakov A.V., Antipov A.V. *Integral'naya podgotovka futbolistov. Ucheb. pos. M.: Sovetskij sport.* - 2010. – 208 s.
6. Zagorodnyj G.M., Pristrom S.L., Losickij E.A. *Programma kompleksnogo testirovaniya sportsmenov. Instr. nametod. BelMAPOi RDSMMn., 2003. – 26 s.*
7. Kozlov V.A., Artyushenko N.K., SHalak O.V., Girina M.B. *i dr. Ul'trazvukovaya dopplerografiya v ocenke sostoyaniya gemodinamiki v tkanyahshei, lica i polosti rta v norme i pri nekotorykh patologicheskikh sostoyaniyah - SPb.: Medicinskaya akademiya posle diplomnogo obrazovaniya, OOO «SP Mini-maks», 2000 g. - 32 s.*
8. Kozlov V.I., Tupicin I.O. *Mikrocirkulyaciya pri myshechnoj deyatelnosti.* – M.: Fizkul'turai sport, 1982. - 135 s.
9. *Metodicheskie rekomendacii po issledovaniyu serdechno-sosudistoj sistemy sportsmenov s primeneniem metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya vyyavleniya ogranichivayushchih sportivnyj rezul'tat faktorov [Ehlektronnyj resurs].* M. 2013. URL: <http://csp-athletics.ru/images/doc/metod/control/metod-control-13.pdf> (data obrashcheniya: 17.01.2017).
10. Savchenkov YU.I., SHilov S.N., Soldatova O.G. *Vozrastnaya fiziologiya (fiziologicheskie osobennosti detej i podrostkov) // Uchebnik dlya avuzov. M.: VLADOS, 2013. - 143 s.*
11. Fritzsche, R.G., & Coyle, E.F. *Cutaneous blood flow during exercise is higher in endurance-trained humans. J Appl Physiol.* –2000. -V.88. -№2. -P. 738-44.
12. Lenasi H. *Assessment of human skin microcirculation and its endothelial function using laser doppler flowmetry // Medical Imaging Edited by Dr. Okechukwu Felix Erundu.* - 2011. - P.271 – 296.
13. Roche, D.M., Rowland, T.W., Garrard, M., Marwood, S., & Unnithan, V.B. *Skin microvascular reactivity in trained adolescents. Eur J Appl Physiol-* 2010. -V.108.- P. 1201-1208.
14. Rossi, M., Santoro, G., Maurizio, S., & Carpi, A. (2006). *Spectral analysis of skin blood flow motion before and after exercise in healthy trained subjects. Int J Sports Med,* – 2006. – V. 27. – №. 7. – P. 540-545. DOI:10.1055/s-2005-865825.