

УДК 612.7+796.32

А.В. Кабачкова, Ю.С. Фролова, А.М. Дмитриева, А.И. Булгакова, Е.Е. Дурас, В.В. Фомченко

ИЗМЕНЕНИЕ КРОВОТОКА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ВОЛЕЙБОЛИСТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОДНОМОМЕНТНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРОБЫ

Реакция регионарного кровотока на стандартную нагрузку у спортсменов в значительной степени обусловлена соотношением статических и динамических нагрузок. Преобладание динамических нагрузок в структуре тренировок у волейболистов предопределяет высокую «степень готовности» кровенаполнения регионарных сосудов нижних конечностей к быстрому реагированию на нагрузку (прирост показателей кровенаполнения, изменение соотношения притока и оттока крови) и высокий уровень венозного оттока даже в состоянии покоя.

Ключевые слова: реовазография; степ-эргометрическая нагрузка; регионарное кровообращение; кровенаполнение; спортивные игры; динамическая мышечная работа.

Организм спортсмена в процессе тренировок и соревнований подвергается многим внешним воздействиям, важнейшее из которых – физические нагрузки. Адаптация к ним – это приведение строения и функций организма в соответствии с потребностями спортивной деятельности. В работах В.П. Казначеева (1973), Ф.З. Меерсона (1988) и других исследователей показано, что эти изменения выражаются системным ответом организма, направленным на достижение высокой тренированности с минимальной физиологической ценой. В основе этого динамического процесса лежит формирование новой программы реагирования (Н.А. Бернштейн, 1947; В.С. Фарфель, 1975), которая определяется внешними и внутренними условиями деятельности (П.К. Анохин, 1980). Эффективность формирования долгосрочной адаптации к повторяющимся физическим нагрузкам, а также успешность реализации имеющегося двигательного потенциала зависят от многих факторов [1, 2]. Группой исследователей под руководством проф. В.Л. Карпмана (1978) было доказано, что адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы выступают в качестве лимитирующего звена. Позднее В.И. Козлов (1982) показал, что эффективная микроциркуляция и кровоснабжение мышц во многом предопределяют достижение высоких спортивных результатов.

Особенностям кардиодинамики и системной гемодинамики спортсменов посвящены многочисленные публикации, в то время как разработок по изучению и оценке регионарного кровотока не достаточно. Исследование физиологических механизмов адаптации кровоснабжения мышц в избранных видах спорта имеет огромное значение для экспериментальной и клинической практики, является необходимым для формирования научно-методических рекомендаций по контролю, максимизации и оптимизации системного кровообращения в условиях тренировочной и соревновательной деятельности [3]. В настоящее время имеются сообщения о состоянии мышечного кровотока у спортсменов циклических (легкая атлетика, плавание, лыжные гонки, велоспорт, шорт-трек) и ациклических, преимущественно силовых видов спорта (тяжелая атлетика, пауэрлифтинг) [4–8]. Как правило, исследования периферического кровотока проводят в состоянии относительного покоя, но, как известно, оценить адаптационные изменения у спортсменов высокой квалификации становится воз-

можным только при дополнительном использовании функциональных проб. Именно характер реакции на физическую нагрузку позволяет провести оценку функционального состояния различных систем организма [9]. Учитывая вышесказанное, нами выполнено настоящее исследование, целью которого явилось изучение реакции периферического кровотока нижних конечностей у волейболистов на выполнение степ-эргометрической нагрузки.

В исследовании приняли участие 20 волейболистов (18–20 лет), имеющих спортивные разряды не ниже I взрослого. Спортсмены находились в середине соревновательного периода. Время восстановления с последнего тренировочного занятия составляло 18–20 ч. Жалоб на самочувствие никто не предъявлял. Контролем послужили здоровые лица такого же возраста и пола, не занимающиеся спортом ($n = 20$).

Для оценки кровотока нижних конечностей (сегмент «бедро») был использован программный модуль «Реография» аппаратно-программного комплекса «Валента» (ООО «Компания Нео», Россия). Регистрация показателей была проведена в состоянии относительного покоя (фоновая запись) и после стандартной степ-эргометрической нагрузки (функциональная одномоментная проба). Перед исследованием были проведены измерения артериального давления и подсчет пульса. При выполнении функциональной пробы была использована степ-эргометрическая нагрузка, которая задавалась в виде восхождения на ступеньку (высота 50 см). Темп движений 30 восхождений в минуту устанавливался метрономом – частота 120 уд./мин. Время восхождения – 5 мин.

Статистическая обработка данных была проведена с помощью программы STATISTICA 8.0 и включала расчет описательных выборочных параметров, проверку на нормальность распределения данных (Shapiro-Wilk's test) и сравнительный анализ зависимых (t-test for dependent samples, Wilcoxon matched pairs test) и независимых выборок (t-test for independent samples, Mann-Whitney test). За статистически значимое различие принимали $p \leq 0,05$. Проведенный предварительный анализ между показателями реовазографии на правом и левом бедрах не выявил статистически значимых различий ($p > 0,05$). Поэтому в статье представлены показатели на участке «правое бедро».

Все результаты реовазографии были объединены в четыре группы показателей, характеризующих пери-

ферическое кровообращение: показатели кровенаполнения, характеристики притока крови, характеристики оттока крови, показатели соотношения притока и оттока крови.

Реографические показатели кровенаполнения. В отличие от спортсменов, тренирующихся на развитие скоростных способностей и выносливость, у которых выявлено значительное снижение в состоянии относительного покоя объема крови в исследуемых сегментах [6], у волейболистов аналогичные показатели находятся в пределах физиологической нормы. Несмотря на преобладание динамических нагрузок в тренировочном процессе, при сравнении с таковыми нагрузками в легкой атлетике (спринт, марафонский бег), шорт-треке, велоспорте, лыжных гонках, их объем значительно меньше. Поэтому признаков экономизации работы аппарата кровообращения на уровне артериального сосудистого русла в состоянии относительного покоя нет.

В обеих наблюдаемых группах показатели кровенаполнения после степ-эргометрической нагрузки возросли ($p \leq 0,05$) или имеют тенденцию к возрастанию ($p > 0,05$). Это является адекватным ответом на предъявляемую нагрузку. По данным J.P. Clausen et al. (1973), в процессе работы периферическое сосудистое сопротивление снижается в 4–5 раз по сравнению с покоем, что приводит к увеличению кровотока в работающих мышцах в 10–20 раз. Относительный объемный пульс в исследуемом сегменте в состоянии относительного покоя во всех наблюдаемых группах статистически значимых различий не имеет (у волейболистов в среднем $0,72 \pm 0,13\%$, в контрольной группе – $0,69 \pm 0,15\%$). После нагрузочного теста у спортсменов статистически значимо увеличился пульсовой объем крови (прирост показателя составил 50%). Прирост аналогичного показателя в контрольной группе оказался незначительным и составил 4%. Амплитудные данные, реографический индекс (РИ) и амплитудно-частотный показатель (АЧП) в состоянии относительного покоя не различаются у всех обследуемых лиц, но после выполнения нагрузки отмечено статистически значимое увеличение этих показателей у волейболистов. Зафиксировано статистически значимое увеличение амплитуды максимума артериальной компоненты на 23%, РИ на 19%, АЧП на 28%. В контрольной группе эти показатели статистически значимо не изменились (прирост составил не более 8%).

Таким образом, у спортсменов практически все амплитудные характеристики возросли после выполнения степ-эргометрической нагрузки, это свидетельствует о более интенсивном артериальном кровотоке в исследуемом сегменте. Волейбол относится к ситуационным видам спорта, требующим комплексного проявления физических качеств и двигательных навыков в условиях переменных режимов мышечной деятельности. Во время игры необходимо осуществлять частые действия, характеризующиеся высокой интенсивностью, а также многочисленные прыжки и перемещения тела на коротких отрезках игрового поля [10]. В структуре тренировок у спортсменов преобладают динамические нагрузки аэробного характера

(до 80%). Переменная мощность таких нагрузок позволяет во многом удовлетворить кислородный запрос уже во время работы. Это предопределяет высокую «степень готовности» кровенаполнения регионарных сосудов нижних конечностей к быстрому реагированию на нагрузку по сравнению с нетренированными, что подтверждается приростом величин реографических показателей – амплитуда максимума артериальной компоненты, РИ, АЧП.

Характеристики притока крови. Временные и скоростные показатели наполнения сосудов отражают тонус периферических артерий различного калибра. У всех обследуемых в условиях относительного покоя преобладает тонус мелких артерий, судя по выявленному соотношению времени быстрого и медленного кровенаполнения. Интегральный тонус сосудов артериального русла у волейболистов выше, по сравнению с группой контроля. Так, модуль упругости у нетренированных лиц соответствует нормативному диапазону 11–15%, а средние выборочные значения этого показателя у спортсменов его превосходят – 18%. После выполнения степ-эргометрической нагрузки тонус артерий среднего и мелкого калибра во всех группах статистически значимо не изменился, в то время как повысился тонус артерий крупного калибра у волейболистов. Согласно исследованиям под руководством В.Л. Карпмана [11], жесткость стенок артерий в очень большой степени определяет эффективность ускорения кровотока в этих сосудах. Если бы стенки артерий, особенно крупных, при нагрузке становились более податливыми, чем в покое, то значительная часть энергии сердечного сокращения диссипировалась бы, превращаясь в потенциальную энергию растянутого сосуда. Кинетическая энергия сердечного выброса и, следовательно, непосредственно пропульсивная деятельность левого желудочка снижались бы. Эти сдвиги в сочетании с увеличением объема крови, задерживающейся в аортальной компрессионной камере, неизбежно приводили бы к снижению скорости кровотока в сердечно-сосудистой системе. Транспортные возможности последней по доставке кислорода к мышцам ухудшались бы. Поэтому перестройка гемодинамики при мышечной работе сопровождается рядом целенаправленных сосудистых реакций. Именно благодаря повышению жесткости крупных артерий достигается необходимое увеличение скорости кровотока в сосудистой системе [Там же]. Вероятно, повышение тонуса артериальных сосудов связано с положительным тонотропным действием симпатической нервной системы.

Характеристики оттока крови. Показатели венозного оттока в состоянии относительного покоя соответствовали среднестатистическим нормам. Уровень венозного оттока у спортсменов в состоянии относительного покоя статистически значимо выше по сравнению со здоровыми нетренированными мужчинами. После выполнения степ-эргометрической нагрузки венозный отток у нетренированных увеличился в 1,4 раза, а в группе спортсменов – не изменился. Движению крови по венам способствует скелетная мускулатура, динамическая работа увеличивает скорость крови в венах (сокращаясь и расслабля-

ясь, мышцы влияют на просвет вен, помогая крови продвигаться ближе к сердцу). Тренировочные и соревновательные динамические нагрузки у волейболистов способствуют увеличению растяжимости венозных сосудов и снижению их тонуса, благодаря чему снижается скорость венозного кровотока при сохранении хорошего оттока крови. Предложенная степ-эргометрическая нагрузка для спортсменов является незначительной для выявления адаптационных изменений венозного русла.

Показатели соотношения притока и оттока крови. Периферическое сопротивление сосудов на уровне пре- и посткапилляров отражает диастолический и диастолический индексы соответственно. Эти показатели в контрольной группе соответствуют нормативным значениям и при выполнении стандартной нагрузки статистиче-

ски значимо не изменяются. У волейболистов отмечен статистически значимый прирост этих индексов.

Таким образом, у волейболистов были зафиксированы следующие изменения со стороны периферического кровотока при выполнении степ-эргометрической нагрузки (сегмент «правое бедро»): статистически значимое увеличение всех показателей кровенаполнения (относительный объемный пульс, амплитуда максимума артериальной компоненты, РИ, АЧП и пр.), повышение тонуса артерий крупного калибра, неизменный уровень венозного оттока, увеличение периферического сопротивления сосудов на уровне пре- и посткапилляров. Это свидетельствует о высокой «степени готовности» регионарных сосудов нижних конечностей к быстрому реагированию на нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова Н.В. Факторы, определяющие функциональное состояние кардиореспираторной системы спортсменов, специализирующихся в циклических видах спорта // Слобожанський науково-спортивний вісник. 2013. № 5 (38). С. 108–111.
2. Костюнина Л.И. Особенности адаптации спортсменов к тренировочным нагрузкам // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2011. № 4 (21). С. 55–60.
3. Попова И.Е., Германов Г.Н., Цуканова Е.Г. Особенности региональной гемодинамики у легкоатлетов-бегунов на средние дистанции // Ученые записки. 2010. № 2(60). С. 104–112.
4. Дратцев Е.Ю., Викулов А.Д., Мельников А.А. и др. Состояние регионального кровообращения у спортсменов высокой квалификации // Вестник спортивной науки. 2008. № 3. С. 32–35.
5. Кирьянова М.А., Калинина И.Н., Харитонова Л.Г. Реографические показатели спортсменов циклических видов спорта // Вестник ЮУрГУ. 2010. № 24. С. 125–128.
6. Кудря О.Н., Кирьянова М.А., Капильевич Л.В. Особенности периферической гемодинамики спортсменов при адаптации к нагрузкам различной направленности // Бюллетень сибирской медицины. 2012. № 3. С. 48–52.
7. Огурцова М.Б., Демин А.Н., Мельник Т.В. Сравнительная типологическая характеристика центрального кровообращения и физической работоспособности у спортсменов-пловцов и легкоатлетов-бегунов // Физическое воспитание студентов. 2009. № 1. С. 39–41.
8. Мельников А.А., Викулов А.Д., Дратцев Е.Ю. и др. Сосудистый тонус и регулярные физические нагрузки // Физиология человека. 2009. Т. 35, № 5. С. 127–133.
9. Прокопьев Н.Я., Колунин Е.Т., Гуртовая М.Н. и др. Физиологические подходы к оценке функциональных нагрузочных проб в спорте // Фундаментальные исследования. 2014. № 2. С. 146–150.
10. Freitas V.H., Nakamura F.Y., Miloski B. et al. Sensitivity of physiological and psychological markers to training load intensification in volleyball players // Journal of Sport Science and Medicine. 2014. № 13. P. 571–579.
11. Карпман В.Л. Сердечно-сосудистая система и транспорт кислорода при мышечной работе : актовая речь // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов : сб., посвящ. двадцатипятилетию каф. спорт. медицины им. проф. В.Л. Карпмана / РГАФК. М., 1994. С. 12–39.

Статья представлена научной редакцией «Психология и педагогика» 2 октября 2014 г.

BLOOD FLOW CHANGE IN THE LOWER EXTREMITIES OF VOLLEYBALL PLAYERS DURING FUNCTIONAL TESTS

Tomsk State University Journal, 2014, 388, pp. 219-222.

Kabachkova Anastasiia V., Frolova Yulia S., Dmitrieva Anastasiia M., Bulgakova Anita I., Duras Ekaterina E., Fomchenko Victoriia V. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: avkabachkova@gmail.com; julia.s.frolova@gmail.com; nastenka-dmitrieva92@mail.ru; bylka-93@mail.ru; ekaterina.duras@gmail.com; fomchenko_viktoriya@sibmail.com

Keywords: rheovasography; step-load; regional circulation; blood circulation; sports games; dynamic muscle work.

Features of cardiodynamics and systemic hemodynamics of athletes have been well documented, while the study and evaluation of the regional blood flow is not enough. The study of the physiological mechanisms of adaptation of blood supply to the muscles in selected sports is crucial for experimental and clinical practice. Currently, there are reports on the state of the muscle blood flow of athletes in cyclic and acyclic, mainly power, sports. Typically, peripheral blood flow studies are conducted in relative rest, but to rate adaptations of skilled athletes becomes possible only under the additional use of functional tests. It is the nature of the reaction to physical stress that allows assessing the functional status of the various systems of the body. With this in mind, we performed the present study, the aim of which was to study the reaction of peripheral blood flow in the lower extremities of volleyball players on performing step-load. Volleyball is a situational sport requiring complex manifestations of the physical characteristics and motor skills in variable modes of muscle activity. The structure of training is dominated by dynamic loads of aerobic nature (80%). The variable power of such loads allows to largely satisfy the oxygen need when exercising. This predetermines the high "readiness" of regional lower limb vessels blood supply to rapidly respond to the load, compared to the untrained, as evidenced by an increase of rheographic indicators – the maximum amplitude of arterial components, rheographic index, amplitude-frequency component. After performing step-load the tone of arteries of small and medium caliber in all groups did not change significantly, while the tone of arteries of large caliber increased. According to the research led by V. Karpman (1994), the rigidity of the walls of the arteries determines the efficiency of the acceleration of blood flow in these vessels to a very large extent. The venous outflow of the untrained people increased by 1.4 times, while in the group of athletes it did not change. Training and competition dynamic loads of volleyball players help to increase the extensibility of the veins and reduce their tone, which reduces the rate of venous blood flow while main-

taining good blood outflow. The proposed step-load for athletes is insignificant to identify the adaptive changes of the venous bed. Peripheral vascular resistance at the level of pre- and post-capillaries increased in the group of athletes when performing step-load. Thus, the volleyball players showed the following changes in the peripheral blood flow when performing step-load (the right thigh segment): a statistically significant increase in all indicators of blood supply, an increase of arterial caliber, a constant level of venous outflow, an increased peripheral vascular resistance at the level of pre- and post-capillaries. This indicates a high "level of readiness" of regional blood vessels of the lower limbs to provide rapid response to the load.

REFERENCES

1. Ivanova N.V. Faktory, opredelyayushchie funktsional'noe sostoyanie kardiorespiratornoy sistemy sportsmenov, spetsializiruyushchikhsya v tsiklicheskiy vidakh sporta [Factors determining the functional state of the cardiorespiratory system of athletes specializing in cyclic sports]. *Slobozhans'kiy naukovno-sportivnyy visnik*, 2013, no. 5 (38), pp. 108-111.
2. Kostyunina L.I. Osobennosti adaptatsii sportsmenov k trenirovochnym nagruzkam [Features of adaptation of athletes to training loads]. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta*, 2011, no. 4 (21), pp. 55-60.
3. Popova I.E., Germanov G.N., Tsukanova E.G. Osobennosti regional'noy gemodinamiki u legkoatletov-begunov na srednie distantsii [Features of regional hemodynamics of athletes-middle distance runners]. *Uchenye zapiski*, 2010, no. 2(60), pp. 104-112.
4. Drattsev E.Yu., Vikulov A.D., Mel'nikov A.A. et al. Sostoyanie regional'nogo krovoobrashcheniya u sportsmenov vysokoy kvalifikatsii [State of regional blood flow in highly skilled athletes]. *Vestnik sportivnoy nauki*, 2008, no. 3, pp. 32-35.
5. Kir'yanova M.A., Kalinina I.N., Kharitonova L.G. Reographic indices in cyclic sport athletes. *Vestnik YuUrGU*, 2010, no. 24, pp. 125-128. (In Russian).
6. Kudrya O.N., Kir'yanova M.A., Kapilevich L.V. Characteristics of peripheral hemodynamics athletes with loads of adaptation to a different direction. *Byulleten' sibirskoy meditsiny – Bulletin of Siberian Medicine*, 2012, no. 3, pp. 48-52. (In Russian).
7. Ogurtsova M.B., Demin A.N., Mel'nik T.V. Comparative typological characteristics of central circulation of blood and physical capacity for sportsmen-swimmers and athletes-runners. *Fizicheskoe vospitanie studentov – Physical Education of Students*, 2009, no. 1, pp. 39-41. (In Russian).
8. Mel'nikov A.A., Vikulov A.D., Drattsev E.Yu. et al. Vascular tone and regular physical exercise. *Fiziologiya cheloveka – Human Physiology*, 2009, vol. 35, no. 5, pp. 127-133. (In Russian).
9. Prokop'ev N.Ya., Kolunin E.T., Gurtovaya M.N. et al. Physiological approaches to estimating functional load tests in sports. *Fundamental'nye issledovaniya – Basic Researches*, 2014, no. 2, pp. 146-150. (In Russian).
10. Freitas V.H., Nakamura F.Y., Miloski B. et al. Sensitivity of physiological and psychological markers to training load intensification in volleyball players. *Journal of Sport Science and Medicine*, 2014, no. 13, pp. 571-579.
11. Karpman V.L. [Cardiovascular system and oxygen transport during muscular work]. *Kliniko-fiziologicheskie kharakteristiki serdechno-sosudistoy sistemy u sportsmenov: sb., posvyashch. dvadtsatipyatiletiyu kaf. sport. meditsiny im. prof. V.L. Karpmana* [Clinical and physiological characteristics of the cardiovascular system in athletes: collection to the twenty five years of the Department of Sports Medicine n.a. Prof. V.L. Karpman]. Moscow: RGAFK Publ., 1994, pp. 12-39. (In Russian).

Received: 02 October 2014