ПСИХОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИКА

УДК 612.216.2-796.42

Е.А. Баранова, Л.В. Капилевич

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АДАПТАЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У СПОРТСМЕНОВ, ТРЕНИРУЮЩИХСЯ В ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА

Исследовались особенности функциональной адаптации сердечно-сосудистой системы у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта. По данным велоэргометрии, у спортсменов наблюдается повышение индекса инотропного резерва, а индекс хронотропного резерва, напротив, снижается. Выявлено снижение суммарной работы и коэффициента расходования резервов миокарда. В то же время индекс двойного произведения не различался у спортсменов и нетренированных лиц. Исследование лактата в крови обеих групп показало его достоверное увеличение после нагрузки. Однако в группе ОФП он увеличивается в 3,8 раза, а у спортсменов – лишь в 1,8 раза. Таким образом, у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта, сердечно-сосудистая система гораздо эффективнее справляется с задачей обеспечения кислородного запроса – об этом свидетельствует меньшая концентрация молочной кислоты, а следовательно, меньшая величина кислородного долга. Однако эта эффективность не связана с величиной коронарного кровотока – об этом свидетельствует величина двойного произведения. При этом работа сердца у тренированных лиц построена экономичнее, что подтверждают показатели хронотропного резерва, суммарной работы и коэффициента расходования резервов миокарда. В то же время у спортсменов в большей степени выражена мобилизация симпатического звена, доказательством чего является возрастание инотропного резерва.

Ключевые слова: дыхание; кровообращение; физическая нагрузка; спортсмены.

Влияние физической нагрузки на сердце изучается давно, но очень много вопросов спортивной кардиологии остаются нерешенными. Кроме того, рост спортивных достижений постоянно ставит перед спортивной медициной, в том числе перед спортивной кардиологией, новые задачи. Помимо более тщательной диагностики различных морфологических изменений сердечной мышцы, речь идет об изучении сдвигов, возникающих в сердечно-сосудистой системе при адаптации к возрастающим физическим нагрузкам и заключающихся как в определенных морфологических изменениях, так и в перестройках системы регуляции. Очень важны исследования возможных негативных изменений сердечно-сосудистой системы при неправильно построенном тренировочном процессе [1, 2]. Чрезмерная физическая нагрузка в спорте, а также физическая нагрузка на фоне очагов хронической инфекции вызывают патологические изменения и нарушения функции сердца спортсменов [3, 4].

Органы и системы организма спортсмена по мере увеличения нагрузок и степени адаптации к ним претерпевают различные морфофункциональные перестройки. В процессе спортивной тренировки развиваются функциональные приспособительные изменения в работе сердечно-сосудистой системы, которые подкрепляются морфологической перестройкой («структурный след») аппарата кровообращения и некоторых внутренних органов. Эта перестройка обеспечивает сердечно-сосудистой системе высокую работоспособность, которая позволяет спортсмену переносить интенсивные и длительные физические нагрузки [5, 6].

В литературе постоянно дискутируется вопрос об анатомических и функциональных характеристиках так называемого спортивного сердца, о пределе физиологической адаптации и переходе ее в патологическую. Лимитирующая роль деятельности сердца в обеспечении спортивной подготовки объясняет, почему именно этот орган чаще других подвергается перенапряжениям [7, 8].

Немаловажно, что в ряде видов спорта, в которых требования к транспорту кислорода особенно высоки (циклические, скоростно-силовые, игровые), тренировка спортсмена сводится в определенной мере к тренировке самого сердца [1]. Высокая работоспособность тренированного спортсмена обусловлена совершенствованием механизмов адаптации и регуляции на всех уровнях функционирования. Адаптация предполагает индивидуальный оптимальный уровень и сбалансированность регулирующих систем, обеспечивающих гемодинамические, метаболические и энергетические реакции [Там же].

В процессе адаптации к мышечным нагрузкам в результате систематической, правильно организованной физической тренировки в организме происходит расширение функциональных возможностей сердечно-сосудистой, дыхательной систем, развивается комплекс структурно-функциональных изменений, направленных на оптимизацию деятельности отдельных систем и всего организма в целом. Особенности кардиореспираторной системы при регулярных физических тренировках сводятся к росту кислородтранспортной способности, а следовательно, и росту физической работоспособности [2, 9].

Необходимость сведений о закономерностях перестройки кровообращения, вегетативной регуляции сердечного ритма спортсменов, о формировании функциональных резервов в зависимости от степени подготовки и специфики мышечной деятельности требует проведения комплексных исследований, позволяющих оценивать и контролировать текущее состояние, морфофункциональные сдвиги в деятельности кардиореспираторной системы при адаптации к повышенным физическим нагрузкам.

В то же время известно, что высокая работоспособность предполагает индивидуальный оптимальный уровень и сбалансированность регулирующих систем, обеспечивающих гемодинамические, метаболические и энергетические реакции при мышечной деятельности [4].

Цель исследования: изучить особенности функциональной адаптации сердечно-сосудистой системы у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта.

Объект исследования. В исследовании принимали участие 40 мужчин в возрасте от 18 до 20 лет. 20 человек, регулярно тренирующихся в циклических видах спорта и имеющих разряд кандидата или мастера спорта, составили основную группу (группу спортсменов). Группу контроля (ОФП) составили 20 юношей, не занимающихся профессиональным спортом и не имеющих спортивных разрядов. Все обследованные относились к основной медицинской группе, не имели хронических заболеваний.

Методы исследования. Изучение физической работоспособности и оценка адаптационной способности сердечно-сосудистой системы проводились на аппаратно-программном комплексе «Валента».

Данный комплекс позволяет провести методику теста PWC170 с автоматическим контролем, определением в реальном времени элементов QRS-комплекса и расчетом его параметров для автоматического управления нагрузочным устройством. Определение лактата в венозной крови проводилось с помощью биохимического портативного экспресс-анализатора «Аккутренд Плюс» до и после теста PWC170.

Результаты обрабатывались методами вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. По данным велоэргометрии, у спортсменов наблюдается повышение индекса инотропного резерва на 57,3% ($p < 0,001$) по сравнению с группой ОФП (рис. 1). А индекс хронотропного резерва, напротив, в группе спортсменов снижается на 49,5% ($p < 0,01$). Индекс двойного произведения достоверного различия в группах не имеет. У спортсменов выявлено достоверное снижение суммарной работы на 28,7% ($p < 0,05$) и коэффициента расходования резервов миокарда на 16,4% ($p < 0,05$).

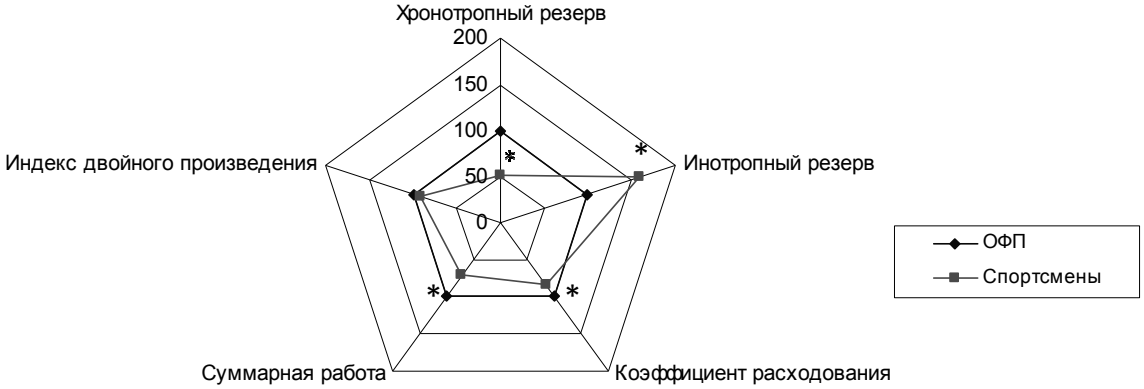


Рис. 1. Характеристики реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку у спортсменов (показатели в группе ОФП приняты за 100%). * Достоверность различий между группами ($p < 0,05$)

Индекс хронотропного резерва сердца (ИХР) – отношение ЧСС порогового к исходному, в норме ИХР составляет 75–90 ударов в минуту; индекс инотропного резерва сердца (ИИР) – отношение систолического порогового АД к исходному, в норме ИИР достигает 70–75 мм рт. ст.; индекс «двойное произведение» (ДП) – произведение ЧСС и систолического АД при пороговой нагрузке, уменьшенное в 100 раз, у здоровых мужчин этот индекс равен 290–310 единиц.

Темп прироста ЧСС у спортсменов при увеличении нагрузки ниже, чем в группе ОФП. Повышение индекса инотропного резерва происходит в результате активации симпатического отдела ВНС и увеличения сократительной функции миокарда. Более выгодно достичь нужного минутного объема при низкой частоте сердечных сокращений и большом ударном объеме, чем при высокой частоте сердечных сокращений и небольшом ударном объеме. Так как относительно большое количество энергии затрачивается в фазу развития давления сердечного цикла, чем реже это происходит, тем это более выгодно.

Изменения сократительной способности миокарда могут существенно повлиять на потребление кислорода для основного обмена, развития изометрического напряжения в стенке и внешней работы. Клетки мышцы сердца используют больше энергии при быстром достижении заданного напряжения и заданного укорочения, чем если они делают то же самое в более медленном темпе. При усилении сокращений большее количество энергии используется для активного транспорта Ca^{2+}. Конечный результат данных воздействий часто называют энергоемким эффектом увеличения сократительной способности.

Эквивалентом поглощения кислорода миокардом принято считать индекс двойного произведения. Доказано, что величина двойного произведения коррелирует с величиной максимального потребления кислорода (МПК): чем больше двойное произведение, тем выше МПК (мл / мин / кг веса) и, следовательно, выше физическая работоспособность. Индекс двойного произведения отражает состояние коронарного кровотока.

Исследование лактата в крови обеих групп показало его достоверное увеличение после нагрузки. Однако в группе ОФП он увеличивается в 3,8 раза, а у спортсменов – лишь в 1,8 раза. Достоверных различий уровня лактата в крови респондентов обеих групп до нагрузки не выявлено (рис. 2).

Содержание молочной кислоты в крови во время выполнения мышечной работы зависит от трех основных факторов: способности кислородтранспортной системы удовлетворять потребности работающих мышц в кислороде; возможности работающих мышц для аэробной и анаэробной (гликолитической) энергопродукции и способности организма утилизировать молочную кислоту, поступающую из работающих мышц в кровь.

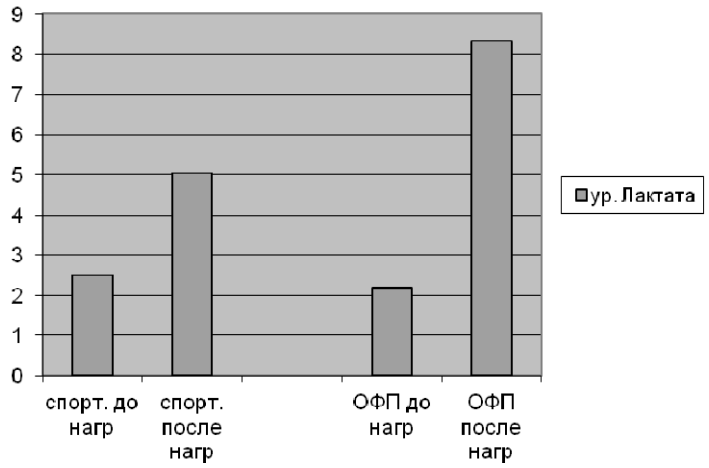


Рис. 2. Изменение концентрации лактата в венозной крови после теста PWC170, ммоль/л.
* Достоверность различий в группах до и после нагрузочного теста PWC170 ($p < 0,05$)

Аэробный потенциал скелетных мышц спортсменов выше, чем у нетренированных, поэтому в мышцы у них продуцируется меньше молочной кислоты, чем у нетренированных людей, так как в большей степени используется аэробный путь энергообразования.

У спортсменов происходит более быстрое врабатывание кислородтранспортной системы. Как известно, при длительных аэробных упражнениях наибольшая концентрация лактата в крови обнаруживается в первые минуты работы, что связано с кислородным дефицитом [5]. По сравнению с нетренированными респондентами у выносливых спортсменов повышение концентрации лактата в крови в начале работы значительно меньше.

Усиленной утилизации образующейся в мышцах спортсменов молочной кислоты способствует повышенный аэробный потенциал всех мышечных волокон и высокий процент медленных мышечных волокон, а также увеличенная масса сердца. Медленные мышечные волокна, как и миокард, способны активно использовать молочную кислоту в качестве энергетического субстрата. Кроме того, при одинаковых аэробных нагрузках кровоток через печень у спортсменов выше, чем у нетренированных, что также может способствовать более интенсивной экстракции печенью молочной кислоты из крови и ее дальнейшему превращению в глюкозу и гликоген (цикл Кори) [4, 5].

Увеличенный объем циркулирующей крови у спортсменов снижает концентрацию лактата, поступающего из мышц в кровь, за счет большего разведения, чем у нетренированных лиц.

Заключение. По данным велоэргометрии у спортсменов наблюдается повышение индекса инотропного резерва, а индекс хронотропного резерва, напротив, снижается. У спортсменов выявлено снижение суммарной работы и коэффициента расходования резервов миокарда. В то же время индекс двойного произведения не различался у спортсменов и нетренированных лиц. Исследование лактата в крови обеих групп показало его достоверное увеличение после нагрузки. Однако в группе ОФП он увеличивается в 3,8 раза, а у спортсменов – лишь в 1,8 раза. Достоверных различий уровня лактата в крови обеих групп до нагрузки не выявлено.

Таким образом, у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта, сердечно-сосудистая система гораздо эффективнее справляется с задачей обеспечения кислородного запроса; об этом свидетельствует меньшая концентрация молочной кислоты, а следовательно, меньшая величина кислородного долга. Однако эта эффективность не связана с величиной коронарного кровотока, что подтверждает величина двойного произведения. При этом работа сердца у тренированных лиц построена экономичнее, об этом свидетельствуют величины хронотропного резерва, суммарной работы и коэффициента расходования резервов миокарда. В то же время у спортсменов в большей степени выражена мобилизация симпатического звена, поскольку возрастает инотропный резерв.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А.* Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 1990. 224 с.
2. *Морман Д., Хеллер Л.* Физиология сердечно-сосудистой системы / пер. с англ. Г.А. Лапис ; ред. Р.В. Болдырев. СПб. : Питер, 2000. 256 с.
3. *Сердце* в условиях спортивной деятельности: физиологические и врачебно-педагогические аспекты Текст.: пособие для физиологов и врачей, работающих в области физической культуры и спорта / В.А. Якобашвили [и др.]. М. : Советский спорт, 2006. 234 е.: ил.
4. *Уилмор Дж.Х., Костил Д.Л.* Физиология спорта и двигательной активности. Киев : Олимпийская литература, 2000. 366 с.
5. *Волков Н.И.* Биоэнергетические процессы при мышечной деятельности // Физиология человека: учебник для вузов физ. культуры и фак. физ. воспитания пед. вузов. М., 2001. С. 259–308.
6. *Аулик И.В.* Определение физической работоспособности в клинике и спорте. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Медицина, 1990. 192 с.
7. *Капилевич Л.В., Пеккер Я.С., Баранова Е.А.* Влияние капнографической тренировки с биологической обратной связью на физическую работоспособность и гемодинамику у спортсменов // Бюллетень сибирской медицины. 2012. Т. 11, № 4. С. 39–43.
8. *Капилевич Л.В., Пеккер Я.С., Баранова Е.А.* Характеристика регионарного кровотока и физической работоспособности спортсменов при капнографической тренировке с биологической обратной связью // Теория и практика физической культуры. 2012. № 8. С. 31–34.
9. *Баевский Р.М., Берсенева А.П.* Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний. М. : Медицина, 1997. 265 с.

Статья представлена научной редакцией «Психология и педагогика» 21 мая 2014 г.

FUNCTIONAL ADAPTATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF ATHLETES EXERCISING IN CYCLIC SPORTS

Tomsk State University Journal. No. 383 (2014), 176-179.

Baranova Elena A. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: elena4408@yandex.ru
Kapilevich Leonid V. Tomsk State University, Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: kapil@yandex.ru

Keywords: respiration; circulation; exercise; athletes.

Peculiarities of functional adaptation of the cardiovascular system in athletes exercising in cyclic sports are described. The study involved 40 men aged 18 to 20. 20 people regularly practicing cyclic sports and having a degree of candidate or master of sports made up the main group. The control group comprised 20 boys not involved in professional sports and having no sports categories. All subjects belonged to the mainstream medical group and had no chronic diseases. The study of the physical performance and evaluation of the adaptive capacity of the cardiovascular system was conducted on hardware-software complex "Valenta". This technique allows conducting a complex test PWC170 with automatic control, real-time determination of elements of the QRS-complex and the calculation of its parameters for automatic control of the load device. Determination of lactate in venous blood was performed using the portable biochemical express analyzer "Accutrend Plus" before and after the PWC170 test. The results were processed by methods of variation statistics using Student's t-test. Organs and systems of the athlete undergo various morphological and functional reorganizations with increasing loads and degree of adaptation. In the process of sports training functional adaptive changes develop in the cardiovascular system which are supported by morphological restructuring ("structural trace") of the circulatory apparatus and some internal organs. This restructuring provides the cardiovascular system with high availability , which allows the athlete to endure intense and prolonged exercise. According to veloergometry athletes showed an increase in the index of inotropic reserve, while the index of chronotropic reserve decreases. Athletes showed a reduction in the total work and the ratio of spending of myocard reserves. At the same time, the index of double product did not differ for athletes and untrained persons. The study of blood lactate in both groups showed a significant increase after loads. However, in the control group it increases by 3.8 times, while in the main one – by only 1.8 times. No significant differences in blood lactate levels in both groups before the load is revealed. Thus, sportsmen training in cyclic sports have acardiovascular system which is much more efficient in providing for oxygen need, which is proved by the lower concentration of lactic acid and, consequently, they have a smaller degree of oxygen debt. However, this efficiency is not related to the magnitude of coronary blood flow, which is proved by the amount of the double product. The heart of trained individuals works more economically, which is proved by the amount of the chronotropic reserve, and the coefficient of the total spending of myocard reserves. At the same time athletes have more pronounced mobilization of the sympathetic component, which is proved by the increase in inotropic reserve.

REFERENCES

1. Garkavi L.Kh., Kvakina E.B., Ukolova M.A. *Adaptatsionnye reaktsii i rezistentnost' organizma* [Adaptation reactions and resistance of organism]. Rostov-on-Don: Rostov State University Publ., 1990. 224 p.
2. Morman D., Heller L. *Fiziologiya serdechno-sosudistoy sistemy* [Physiology of the cardiovascular system]. Translated from English by G.A. Lapis. St. Petersburg: Piter Publ., 2000. 256 p.
3. Yakobashvili V.A. et al. *Serdtse v usloviyakh sportivnoy deyatel'nosti: fiziologicheskie i vrachebno-pedagogicheskie aspekty* [Heart in the conditions of sports activity: physiological and medical and pedagogical aspects]. Moscow: Sovetskiy sport Publ., 2006. 234 p.
4. Wilmore J.H., Costill D.L. *Fiziologiya sporta i dvigatel'noy aktivnosti* [Physiology of sports and physical activity]. Translated from English. Kiev: Olimpiyskaya literatura Publ., 2000. 366 p.
5. Volkov N.I. *Bioenergeticheskie protsessy pri myshechnoy deyatel'nosti* [Bioenergy process and muscular activity]. In: Smirnov V.M. (ed.) *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. Moscow: Meditsina Publ., 2001, pp. 259-308.
6. Aulik I.V. *Opredelenie fizicheskoy rabotosposobnosti v klinike i sporte* [Determination of physical working capacity in clinic and sports]. Moscow: Meditsina Publ., 1990. 192 p.
7. Kapilevich L.V., Pekker Ya.S., Baranova E.A. Influence of capnographic training with biological feedback on the physical performance and hemodynamics in sportsmen. *Byulleten' sibirskoy meditsiny – Bulletin of Siberian Medicine*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 39-43. (In Russian).
8. Kapilevich L.V., Pekker Ya.S., Baranova E.A. Characteristics of Regional Blood Flow and Athletes' Exercises Performance at Capnographic Training with Biofeedback. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury – Theory and Practice of Physical Culture*, 2012, no. 8, pp. 31-34. (In Russian).
9. Baevskiy P.M., Berseneva A.P. *Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostey organizma i riska razvitiya zabolevaniy* [Assessment of adaptation opportunities of an organism and risk of development of diseases]. Moscow: Meditsina Publ., 1997. 265 p.

Received: