

УДК 612.146.1

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ МИНИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НА РЕАКЦИЮ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**© Н. Н. Шаяхметов^{1*}, Р. Г. Ардеев², Е. В. Ардеева³**

¹Нефтекамский филиал Башкирского государственного университета
Россия, Республика Башкортостан, 452683 г. Нефтекамск, ул. Тракторная, 1.

Тел./факс: +7 (34783) 217 10.

E-mail: profkom-nfbgu@yandex.ru

²Бирская государственная социально-педагогическая академия
Россия, Республика Башкортостан, 452452 г. Бирск, ул. Интернациональная, 10.

Тел./факс: +7 (34784) 404 713.

³Бирский медико-фармакологический колледж
Россия, Республика Башкортостан, 452684 г. Бирск, ул. Интернациональная, 10.

Тел./факс: +7 (34784) 400 18.

Статья посвящена изучению адаптации сердечно-сосудистой системы к физической нагрузке минимальной мощности. Особое внимание уделяется первой минуте, где анализируются данные, полученные на 15, 30 секундах и первой минуты. Наблюдающееся увеличение ударного объема крови в начале физической нагрузки связано с ростом венозного возврата, активированного мышечным насосом.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, ударный объем крови, минутный объем крови, общее периферическое сопротивление сосудов, физическая нагрузка.

Введение

При различных воздействиях на организм система кровообращения, особенно центральное ее звено – сердце, реагирует одной из первых, определяя приспособительные возможности всего организма, что делает актуальными подобные исследования [1]. В спортивной медицине в настоящее время хорошо изучена реакция сердечно-сосудистой системы (ССС) на нагрузки максимальной, субмаксимальной, большой и умеренной мощности [2–4]. Влияние же нагрузки минимальной мощности на сердечно-сосудистую систему исследовано недостаточно, поскольку имеет место венозный возврат крови за счет мышечного насоса.

Поэтому, целью данного исследования явилось изучение влияния физической нагрузки мощностью 0.25 Вт/кг на показатели центральной гемодинамики и сосудистой системы.

Методы исследования

Нами было обследовано 30 студентов 3–5 курса в возрасте 20–24 года. Средний возраст составил 22 года, средний вес – 70 кг.

В качестве физической нагрузки мы использовали велоэргометрическую нагрузку мощностью 0.25 Вт/кг, длительность нагрузки – 3 мин. Для того чтобы подробнее изучить влияние физической нагрузки (ФН) на сердечно-сосудистую систему, регистрацию изучаемых показателей производили на 15, 30, 60 секундах.

Для записи дифференциальной реограммы использовали реограф «Диаманд» с аналого-цифрового преобразователем в комплексе с компьютером Pentium. При записи реограммы нами использовались дисковые электроды, закрепленные на эластичной резиновой ленте, которые накладывались на нижнюю часть шеи и на область мечевидного отростка грудины. Они дают возможность

выполнения реографического исследования в движении, не смещаются во время выполнения велоэргометрической пробы, не создают помех трением грудных электродов при дыхательных движениях грудной клетки.

Для вычисления ударного объема крови (УОК) использовали формулу:

$$\text{УОК} = p \times A_d \times t_n \times L^2 / Z^2,$$

где p – удельное сопротивление крови, равное 150 Ом/см; L – межэлектродное расстояние, см; Z – межэлектродное сопротивление, Ом; A_d – амплитуда дифференциальной реограммы, Ом/с; t_n – время изгнания крови из сердца, с.

Минутный объем крови вычисляли произведением частоты сердечных сокращений (ЧСС) на УОК. При этом ЧСС определялась по КИГ, записанной в одном из стандартных отведений. Общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, $\text{дин} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-5}$) рассчитывали по формуле:

$$\text{ОПСС} = 79980 \times A_{\text{дср}} / \text{МОК},$$

где 79980 – коэффициент перевода мм рт. ст. в $\text{дин} \cdot \text{см}^{-2}$; $A_{\text{дср}}$ – среднее артериальное давление $(A_{\text{дс}} + 2A_{\text{дд}})/3$, мм рт. ст. ($A_{\text{дс}}$ и $A_{\text{дд}}$ – систолическое и диастолическое АД), МОК – увеличение минутного объема крови.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась в соответствии с общепринятыми методами вариационной статистики [5] при помощи компьютера Pentium с применением пакета программ Microsoft Excel 2007. Для оценки достоверности различий использовались стандартные значения критерия Стьюдента.

Результаты исследования

Было установлено, что на физическую нагрузку реакция сердечно-сосудистой системы сопровождалась увеличением показателей гемодинамики (рис. 1–7), степень которого зависела от мощности

* автор, ответственный за переписку

физической нагрузки. Отмечен рост ЧСС, повышение АД, увеличение МОК и, как следствие, снижение общего ОПСС. Деятельность же выше перечисленных показателей сердечно-сосудистой системы направлена на поддержание среднего артериального давления. Уровень АД_{ср} выполняет роль функционального индикатора, показывающего в какой мере согласованы между собой работа сердца и система прекапилляров, а также адекватность реакции одного из этих компонентов на изменение другого [6, 7]. Более низкое значение ОПСС у девушек объясняется тем, что артериальное давление (систолическое и диастолическое) у них ниже, аналогичная тенденция проявляется и по УОК, а большее значение в ЧСС в конечном счете не дает им более высоких показателей в минутном объеме крови, чем у юношей. Вышесказанное указывает на то, что у обследуемого нами контингента ОПСС вполне адекватно МОК в результате которого сформировано АД_{ср}. Однако, в литературе нами не было найдено данных, которые показывали бы возрастные нормы по ОПСС.

Было установлено, что в ответ на физическую нагрузку наблюдается увеличение показателей гемодинамики. Полученное повышение ЧСС, изменение артериального давления, рост МОК и как следствие – снижение периферического сопротивления сосудов вполне согласуется с ранее полученными данными [8, 9]. Вместе с тем, регистрация изучаемых показателей в течение первой минуты позволило расширить представление о механизмах реакции сердечно-сосудистой системы на велоэргометрическую нагрузку минимальной мощности.

Проведенный анализ данных показал, что наибольшее реагирование на физическую нагрузку произошло в ЧСС и УОК (рис. 1–2), степень их реакции имеет некоторые зависимости от пола. В течение первой минуты наибольшее повышение гемодинамики нами было установлено на 15 с. На 30 с и к первой минуте велоэргометрической нагрузки нами также подтверждалось дальнейшее повышение движения крови, но темпы роста снижались. На 15 с процентное соотношение роста ЧСС и УОК имеют одинаправленный характер, так, у юношей ЧСС повышается на 7.2%, а УОК на 14.2%, у девушек – 8.1% (ЧСС) и 12.1%, соответственно УОК. К 30 с у юношей соотношение между показателями следующее: 2.7% и 4.1% в пользу УОК; у девушек – 7.6% для ЧСС и УОК. Как видно из цифровых значений, на 15–30 секундах физической нагрузки увеличение гемодинамики осуществлялось за счет УОК. К концу первой минуты процентное соотношение роста между ЧСС и УОК стабилизируется, не превышая 3%.

Вышеуказанное показывает, что уже к 15 с физической нагрузки обнаруживается повышение гемодинамики, несмотря на то что физическая нагрузка находится в зоне минимальной мощности [3]. Кроме того, в первоначальном реагировании на физическую нагрузку в большей степени преобладает инотропная функция сердца, что выражается в росте

УОК (15–30 с), а к концу первой минуты наблюдается смещение баланса в формировании минутного объема крови к ЧСС. Суммарное изменение ЧСС к первой минуте физической нагрузки составило у юношей 9 уд./мин (69–78 уд./мин), а девушек – 15 уд./мин (74–89 уд./мин). Аналогичная динамика для УОК выглядит следующим образом: юноши 13 мл (63–76 мл); девушки – 13.5 мл (57.5–71 мл).

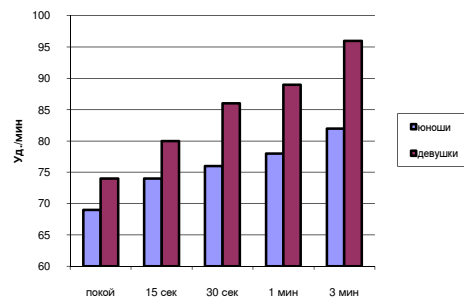


Рис. 1. Динамика ЧСС на физическую нагрузку минимальной мощности.

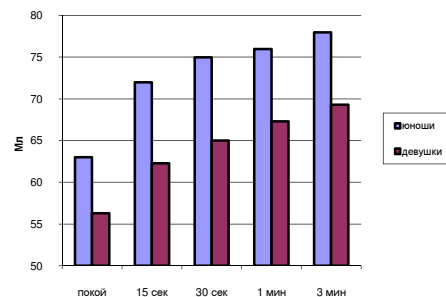


Рис. 2. Динамика УОК на физическую нагрузку минимальной мощности.

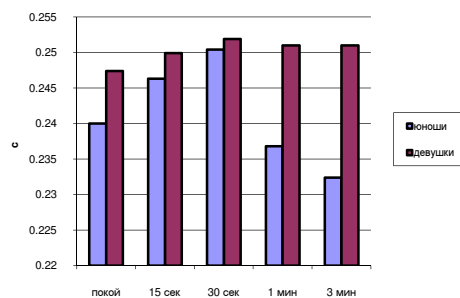


Рис. 3. Динамика времени изгнания крови на физическую нагрузку минимальной мощности.

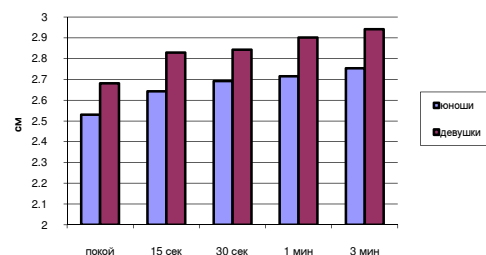


Рис. 4. Динамика амплитуды дифференциальной реограммы на физическую нагрузку минимальной мощности.

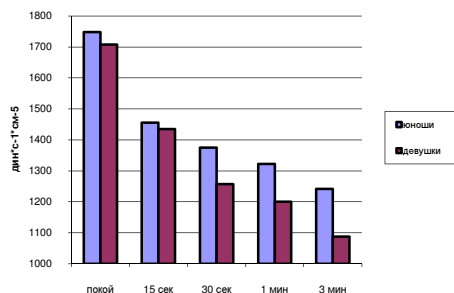


Рис. 5. Динамика ОПСС на физическую нагрузку минимальной мощности.

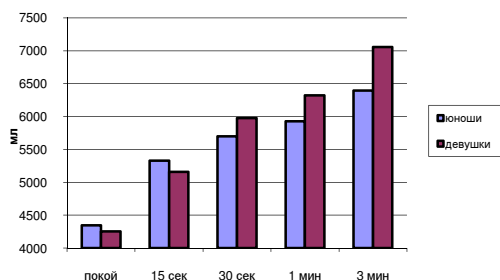


Рис. 6. Динамика МОК на физическую нагрузку минимальной мощности.

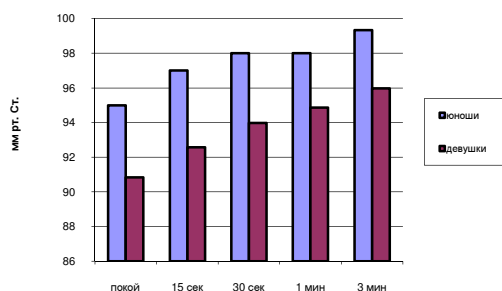


Рис. 7. Динамика АД ср. на физическую нагрузку минимальной мощности.

Рост УОК возможно связан с тем, что сокращения мышц нижних конечностей даже при неотягощенном педалировании активизируют работу «мышечного насоса», благодаря чему растет венозный возврат [6], в результате чего включается закон Франка–Старлинга, обеспечивающий увеличение ударного объема крови. Повышение УОК, должно вызывать необходимость снижения время изгнания крови (t_n) (рис. 3). В нашем исследовании, показатель – t_n , динамика, которой в течение первой минуты наоборот показывает не понижение, а повышение на 0.01 с. Аналогичные данные в своих исследованиях при минимальных физических нагрузках получили ряд авторов [3, 10]. В своих исследованиях данный факт объясняли наличием пропорциональности между величинами периода изгнания и ударного объема крови при нестимулированной систоле. Известно, что диастола обеспечивает интенсивность систолической работы сердца [11, 12],

а мощность физической нагрузки на начальной стадии ее выполнения не вызывает необходимых возмущений со стороны сердечно-сосудистой системы. Поэтому компенсаторные механизмы, адаптирующие деятельность сердца при физической нагрузке необходимые для удлинения фазы диастолы не активируются.

Повышение сердечного выброса в наших исследованиях сопровождается увеличением амплитуды дифференциальной реограммы (Ад) (рис. 4). Увеличение данного показателя не столь заметное в сравнении с ЧСС и УОК, наибольший его рост отмечен вначале физической нагрузки (15 с – 4.4%), на 30 и 60 с средние значения Ад не имели явных изменений. В пользу преобладания инотропного компонента вначале физической нагрузки также служат положительные корреляционные связи между УОК и Ад. Степень их тесноты мы определяли по следующей шкале: $r < 0.55$ указывает на слабую связь; при $r = 0.55–0.70$ связь считается средней; $r = 0.70–0.85$ – сильной; при $r = 0.85–0.10$ – тесной [13, 14]. Теснота данных связей является средней ($r = 0.61$), к 30 с и к первой минуте корреляционные связи между данными показателями исчезают, однако, в этот промежуток времени отсутствующая корреляция между ЧСС и Ад перешла в разряд средних отрицательных ($r = -0.56$).

Увеличение МОК (рис. 6) на первой минуте имело незначительный сдвиг систолического артериального давления на 8–9 мм рт. ст. как у юношей, так, и у девушек. Также были установлены постоянные значения диастолического артериального давления, а среднее артериальное давление осталось практически неизменным (рис. 7). Общее периферическое сопротивление сосудов (рис. 5) к 15, 30 и 60 с имело следующую динамику снижения: –16.6%, –5.6% и –3.82% (юноши), у девушек прослеживается аналогичная картина: –16%, –12.35% и –4.53. Стоит отметить то, что темпы роста МОК превышают таковые снижения ОПСС. Так, большее повышение МОК отмечено на 15 с: 22.5% – юноши, 21.27% – девушки. Дальнейший рост (30–60 с) МОК составил 6.9% и 4% у юношей и 15.8% и 5.7% у девушек. Вышеуказанное позволяет объяснить незначительный рост АД систолического при существенном повышении МОК снижением тонуса сосудов, которое расширяет суммарный просвет сосудов, что в свою очередь облегчает движение крови по сосудам, не создавая перегрузку для сердца [4, 15].

К завершению физической нагрузки (3 мин) отмечается стабилизация некоторых показателей, за исключением ЧСС и УОК и ОПСС. Изменения в них происходят не значительные. Так, ЧСС повышается на 1 уд/мин, а УОК на 2 мл (юноши). У девушек в УОК проявляются аналогичные изменения, а ЧСС растет на 7 уд/мин. Отмеченная динамика по отношению к первой минуте весьма незначительна, возможно, это связано с увеличением притока крови к сердцу за счет работающих мышц. Вышеуказанное

показывает, что формирование МОК главным образом протекает за счет ЧСС. Стоит отметить то, что на рост гемодинамики отмечается дальнейшее снижение ОПСС, а стабилизация изучаемых нами показателей свидетельствует о благоприятном реагировании сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку мощностью 0.25 Вт/кг. Более высокие значения ЧСС у девушек подтверждает более низкий уровень адаптивных возможностей сердечно-сосудистой системы относительно юношей.

Выводы

1. Первоначальное повышение гемодинамики при физической нагрузке мощностью 0.25 Вт/кг связано с ростом венозного возврата, при этом насосная функция сердца активирована ударным объемом крови.

2. На увеличение ударного объема крови при физической нагрузке 0.25 Вт/кг отмечается удлинение периода изгнания крови, что объясняется наличием пропорциональности между величинами периода изгнания и ударного объема крови при нестимулированной систоле, вызванное венозным возвратом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абзалов Р. А., Ситдилов Ф. Г. Развивающееся сердце и двигательный режим. Казань: КГПУ, 1998. 96 с.
2. Вагапова А. М. Влияние способов плавания на показатели насосной функции сердца юных пловцов: Автореф. дисс. канд. биол. наук / А.М. Вагапова. Казань, 2009. 22с.
3. Карпман В. Л., Белоцерковский З. Б., Любина Б. Г. и др. Динамика кровообращения при минимальных физических нагрузках // Физиология человека. 1994. Т.20. №1. С. 84–89.
4. Меерсон Ф. З., Берсенева З. В. Влияние адаптации к физической нагрузке на возрастную динамику сократительной функции и массы левого желудочка сердца человека // Кардиология. 1982. Т.22. №1. С. 85–90.
5. Лакин Г. Ф. Биометрия. Учебное пособие для биологических специальностей вузов. 4-е издание, переработанное и дополненное. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
6. Савицкий Н. Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. Л.: Медицина, 1974. 307 с.
7. Назаренко А. С. Влияние вестибулярного раздражения на сердечно-сосудистую систему и двигательные функции в разных видах спорта: Автореф. дисс. канд. биол. наук / А. С. Назаренко. Казань, 2010. 22 с.
8. Asmussen E. Muscular exercise // Handbook of physiology. Sect. 3. Respiration. Washington. 1965. V.2. P. 939–978.
9. Shepherd R. J. The maximum sustained voluntary ventilation in exercise // Clin. Sci. 1967. V.32. P. 167–176.
10. Любина Б. Г. Динамика кровообращения у спортсменов. М.: Физкультура и спорт, 1982. 135 с.
11. Аршавский И. А. Основы возрастной периодизации // Возрастная физиология. Л., 1975. С. 5–67.
12. Вульфсон И. Н. Тетраполярная реография в исследовании ударного объема сердца у детей // Педиатрия. 1977. Т.4. С. 57.
13. Ванюшин Ю. С. Компенсаторно-адаптационные реакции кардиореспираторной системы: дисс. ... докт. биол. наук. Казань, 2001.
14. Ванюшин М. Ю., Ванюшин Ю. С. Адаптация кардиореспираторной системы спортсменов разных видов спорта и возраста к физической нагрузке. Казань: Печать-Сервис-XXI век, 2011. 138 с.
15. Куприянов С. В. Физиологическая роль сосудистых рефлексогенных зон в интегративной регуляции функций дыхания и кровообращения Казань, 2009. Дисс. докт. мед. наук, 317 с.

Поступила в редакцию 28.12.2010 г.