

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ГЕМОДИНАМИКА И СОСУДИСТАЯ НАГРУЗКА СЕРДЦА ДО И СРАЗУ ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ

В.Р. Орел, Н.В. Зимирев, Е.М. Калинин, А.А. Качалов, Д.В. Павлов

РГУФКСМиТ, Москва

Рассматривается процесс динамического взаимодействия сердца и сосудов [7, 8, 10, 11, 143, 134, 16] до и после мышечной работы. Исследуются показатели сосудистой нагрузки сердца (эластическое и периферическое сопротивления), под действием которых [3, 5, 6, 10, 12, 15, 17] изменяются базальные показатели кровообращения: частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое артериальное давление (САД), ударный объем крови (УО) и минутный кровоток (МОК). Исследования изменений показателей центральной гемодинамики и сосудистой нагрузки сердца в покое и сразу после выполнения мышечной работы важны для оценки функционального состояния и адаптивных возможностей системы кровообращения спортсменов.

Методика

В исследованиях принимали участие 24 спортсмена различных видов спорта с разрядом не ниже 1-го. Средний возраст испытуемых составлял $22,6 \pm 1,5$ лет (от 19 до 27 лет). Длина тела: $176,3 \pm 3,1$ см (от 171 до 186 см). Масса тела: $79,5 \pm 4,2$ кг (от 73 до 86 кг). Перед началом выполнения нагрузочных тестов на велоэргометре у каждого испытуемого измерялись показатели центральной гемодинамики и артериальное давление в режиме [13] трехмоментной ортопробы (сидя, стоя, лежа). Затем такие же измерения центральной гемодинамики и артериального давления производились сразу после выполнения каждым испытуемым двух нагрузочных процедур: 1) ступенчатая нагрузка на велоэргометре с выведением за 20 минут на ЧСС порядка 165-180 уд/мин; 2) работа на велоэргометре с постоянной мощностью до отказа в течение 5-7 минут (на ЧСС порядка 165-180 уд/мин).

Между нагрузочными процедурами был отдых в течение 30 мин. При выполнении трехмоментной ортопробы [13] артериальное давление измерялось аускультативно. Непрерывно регистрировалась реограмма центрального пульса методом тетраполярной реографии [2]. Архивированные в комплексе РЕОДИН-504 результаты содержали данные о ЧСС, ударном объеме крови, фазах сердечного цикла и артериальном давлении. По этим данным вычислялись эластическое (E_a) и периферическое (R) сопротивления

артериальной системы. Величины E_a и R зависят [4, 6, 7, 11] от пяти показателей гемодинамики: P_d (ДАД) и P_s (САД) – диастолическое и систолическое артериальное давление; Q_s (УО) – ударный объем крови; C , S – длительности сердечного цикла и периода изгнания соответственно.

Результаты и обсуждение

В таблице представлены усредненные результаты измерений показателей центральной гемодинамики и сосудистой нагрузки сердца, полученные до и после выполнения цикла нагрузочных процедур на велоэргометре. В столбце (табл.) «После мышечной работы» приведены общие результаты измерений после двух нагрузок, поскольку средние индивидуальные данные были практически одинаковыми при измерениях показателей после каждой нагрузочной процедуры.

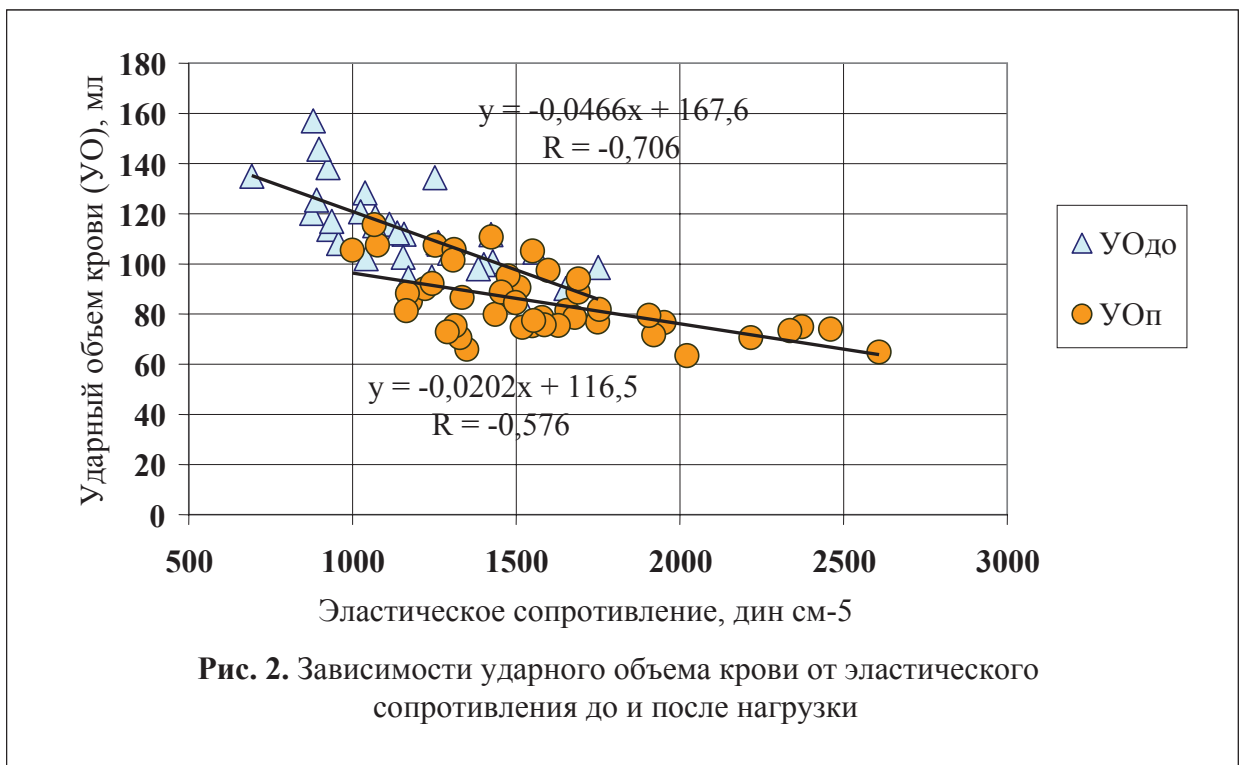
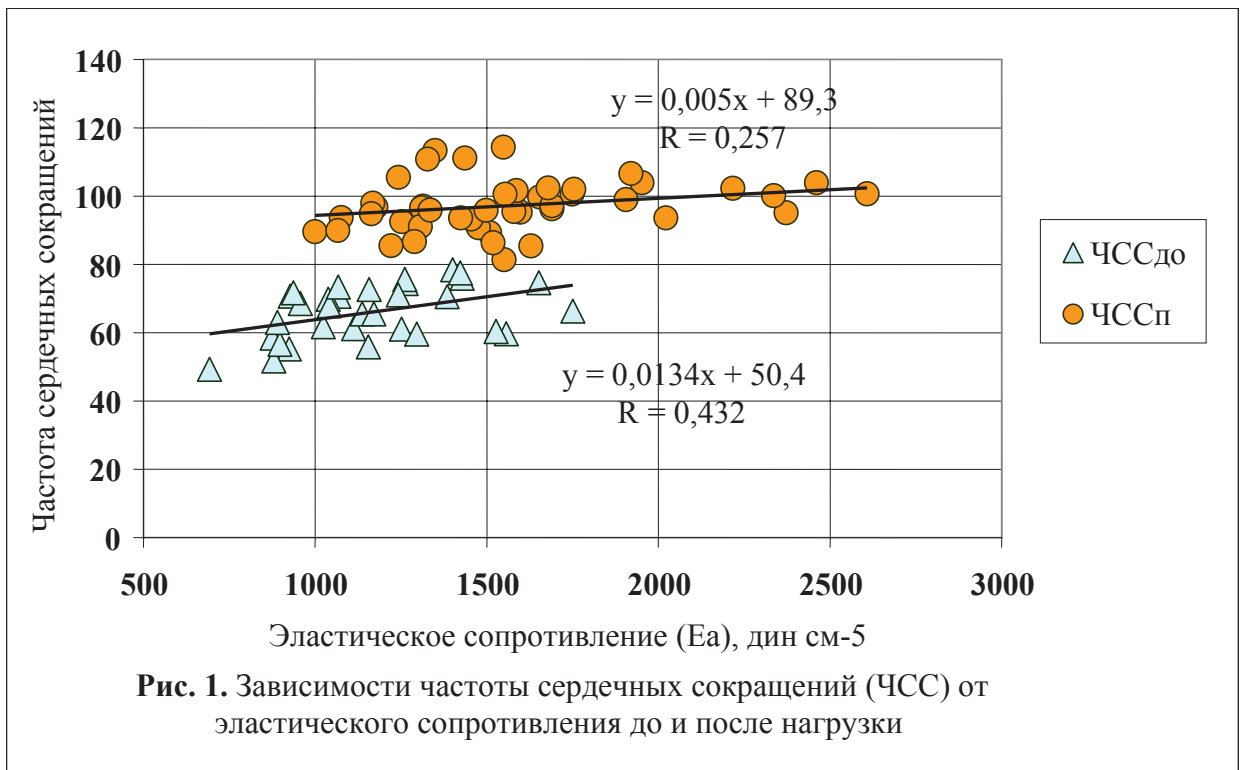
Таблица. Показатели центральной гемодинамики и сосудистой нагрузки сердца в покое при восстановлении после двух видов мышечной работы

Показатель	До мышечной работы	После мышечной работы
Частота сердечных сокращений (ЧСС), уд/мин	66,1 ± 7,8	96,6 ± 9,1
Систолическое артериальное давление, мм рт.ст.	135,8 ± 8,8	138,6 ± 11,2
Диастолическое артериальное давление, мм рт.ст.	76,4 ± 6,5	82,1 ± 6,6
Минутный кровоток (МОК), л/мин	7,4 ± 0,9	8,0 ± 1,2
Ударный объем крови (УО), мл	113,0 ± 16,6	84,7 ± 13,3
Периферическое сопротивление (R), дин·с·см-5	1288,0 ± 197,1	1261,3 ± 235,2
Эластическое сопротивление (E_a), дин·см-5	1168,7 ± 252,2	1577,2 ± 380,6

Достоверные изменения [1] показателей (табл.) после выполнения нагрузочных процедур на велоэргометре наблюдаются для ЧСС (возрастание $p < 0,001$), диастолическое давление (возрастание $p < 0,001$), МОК (возрастание $p < 0,001$), ударный объем крови (убывание $p < 0,001$), эластическое сопротивление (возрастание $p < 0,001$).

На рис. 1 представлены зависимости индивидуальных средних значений ЧСС от эластического сопротивления (E_a) артериальной системы до и после мышечных нагрузок. Частота сердечных сокращений выраженно возросла после мышечных нагрузок в среднем на 30 уд/мин (табл.) и довольно строго связана с величиной эластического сопротивления,

возрастая (рис. 1) с увеличением E_a как в покое (ЧССдо), так и после нагрузок (ЧССп). При этом после мышечной работы эластическое сопротивление также в среднем возросло на 408,5 дин см-5 (табл.).



На рис. 2 представлены изменения индивидуальных средних величин ударного объема

крови в зависимости эластического сопротивления до и после выполнения мышечной работы. Величины (рис. 2) УО достоверно снижаются с ростом эластического сопротивления как в покое, так и после выполнения мышечной работы.

При этом (рис. 2) ударный объем крови принимает наибольшие значения именно при сниженных величинах жесткости E_a артериальной компрессионной камеры, что вполне согласуется с данными таблицы, а также работ [8, 13].

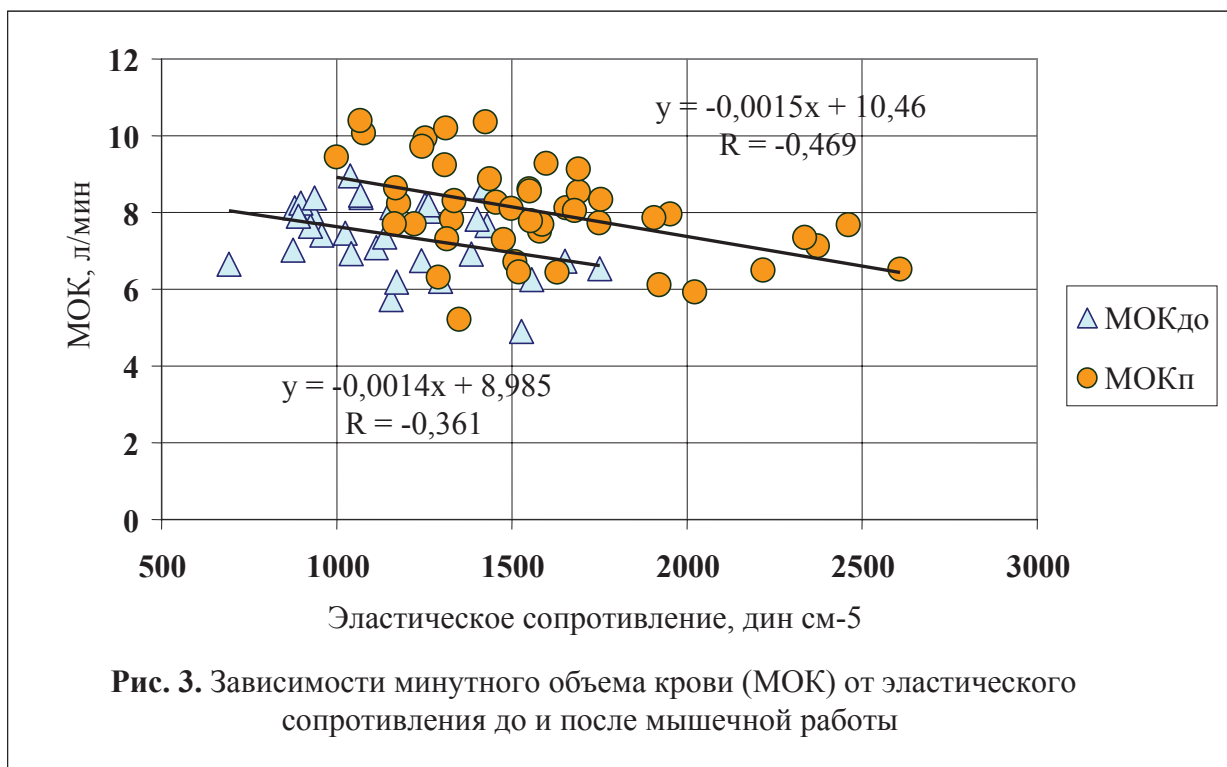
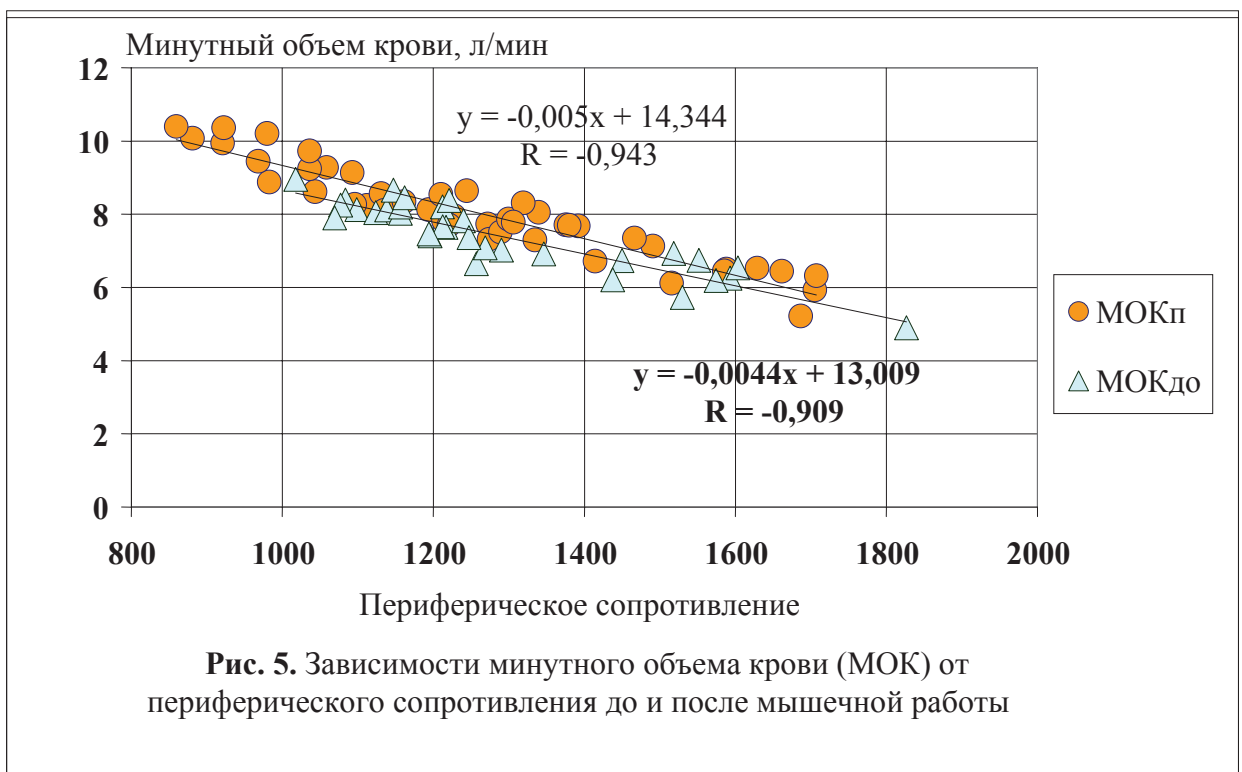
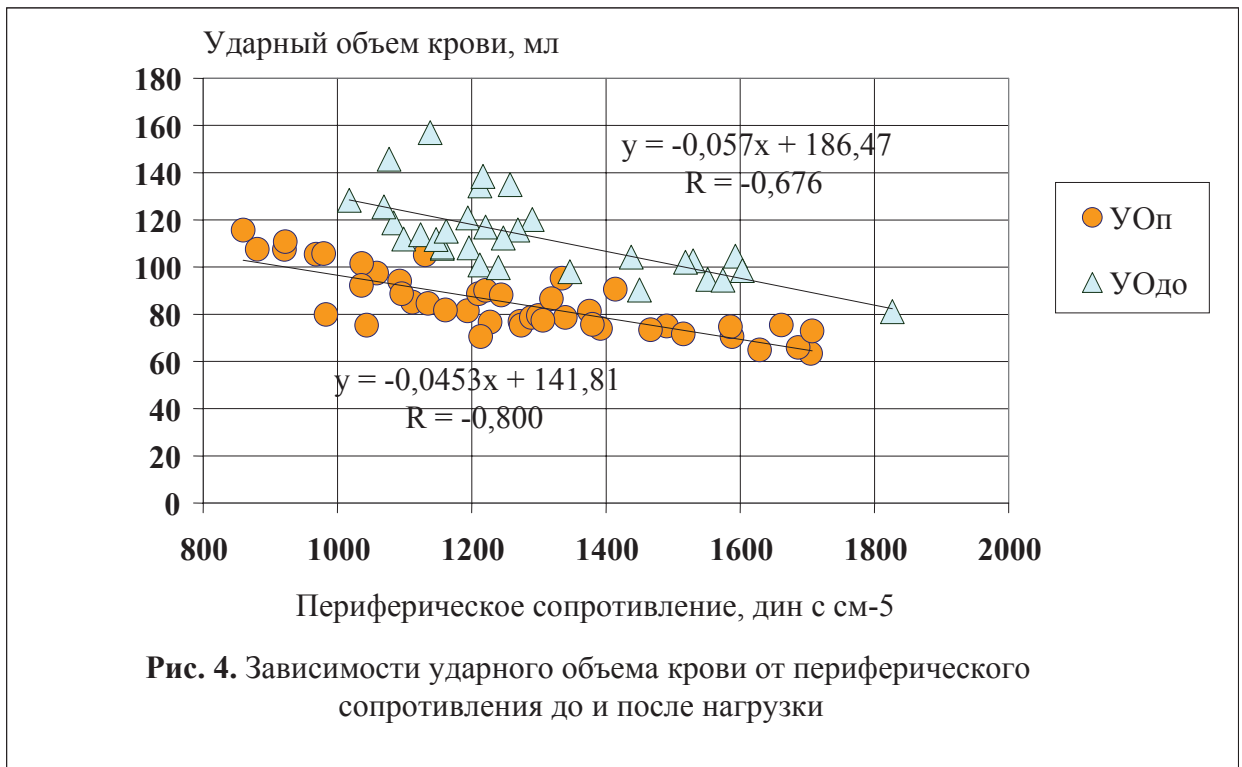


Рис. 3. Зависимости минутного объема крови (МОК) от эластического сопротивления до и после мышечной работы

На рис. 3 представлены зависимости минутного кровотока (МОК) от эластического сопротивления артериальной системы до и после выполнения мышечной работы. Аналогично данным рис. 2 для ударного объема крови, наибольшие значения МОК в среднем достигаются при наименьших величинах эластического сопротивления. Регрессионная зависимость МОКдо от E_a до нагрузки расположена (рис. 3) строго под регрессионной зависимостью МОКп от E_a после выполнения мышечной работы.

Снижение минутного кровотока при увеличении (рис. 3) эластического сопротивления, как до выполнения мышечной работы, так и после ее выполнения, связано с тормозящим, демпфирующим влиянием E_a на величину ударного объема крови, достоверно снижающим величину УО (табл., рис. 2). Несмотря на то, что рост E_a все же сопряжен в этих условиях с увеличением ЧСС (рис. 1), снижение УО оказывается более существенным (рис. 2), вследствие чего и реализуется соответствующее уменьшение МОК (рис. 3).



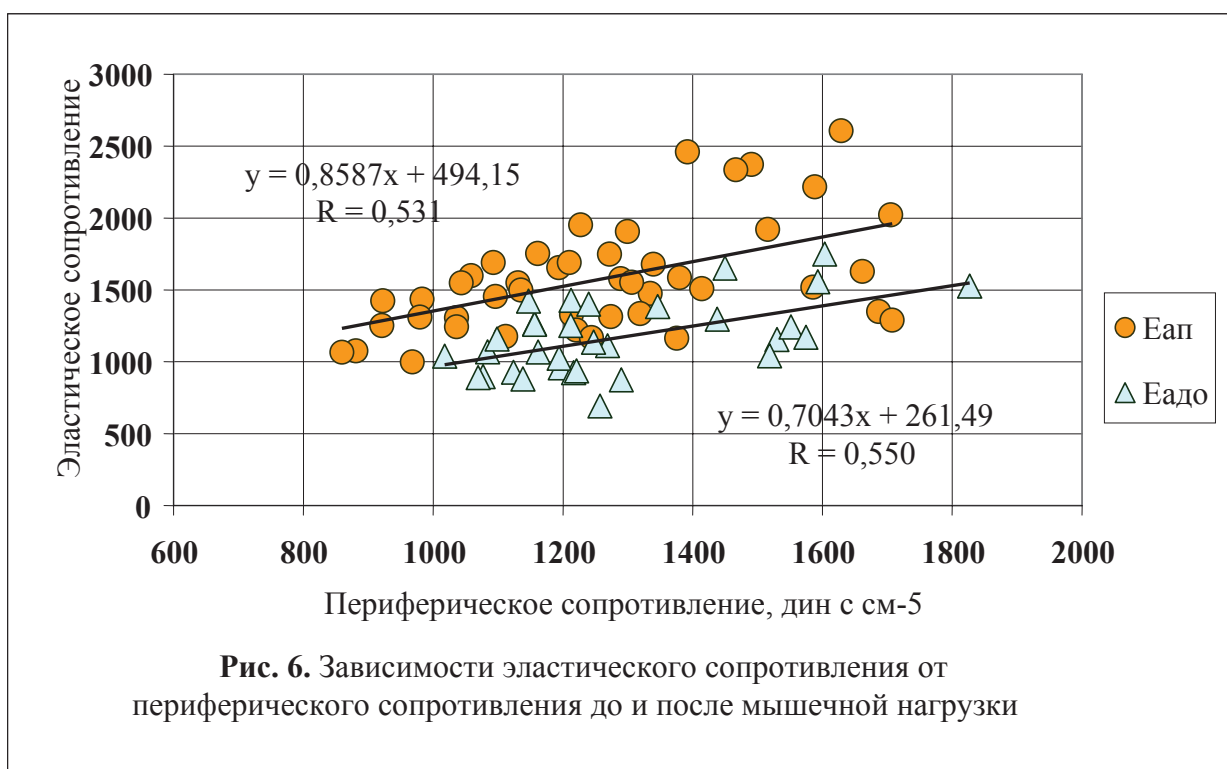
Заметим также, что демпфирование УО и МОК с ростом эластического сопротивления (рис. 2, 3) не производится непосредственно за счет упругих свойств сосудов артериальной системы [5, 7, 16, 17]. Тормозящее воздействие на сердечный выброс УО и минутный кровоток МОК осуществляется вязкостным периферическим

руслом, противодействие которого капиллярному потоку крови определяется величиной (табл.) периферического сопротивления R [6, 8, 14, 17] артериальной системы.

На рис. 4 представлены зависимости ударного объема крови (УО) от периферического сопротивления (R) артериальной системы до выполнения интенсивной мышечной работы на велоэргометре и непосредственно после ее окончания.

В отличие от подобной зависимости УО от эластического сопротивления (рис. 2) наблюдается достаточно строгая связь данных с двумя почти параллельными регрессионными прямыми (рис. 4), отстоящими друг от друга приблизительно на 30 мл, что вполне согласуется с разностью между средними значениями УОдо и УОп (табл.).

При этом, как и в случае зависимостей УО от эластического сопротивления (рис. 2) наименьшим значениям периферического сопротивления отвечают наибольшие величины ударного объема крови (рис. 4).



На рис. 5 представлены зависимости МОК от периферического сопротивления артериальной системы до и после выполнения мышечной работы. Две регрессионные прямые (рис. 5), отвечающие данным МОК до и после интенсивной мышечной работы, практически совпадают, а индивидуальные средние значения МОК и периферического сопротивления отражают весьма тесную регрессионную связь между ними. Это вполне согласуется с большими (по абсолютной величине) значениями (рис. 5) коэффициентов корреляции ($|R| > 0,9$). Расположение точек (рис. 5) вдоль прямых отвечает превышению

среднего МОКп после мышечной работы над МОКдо до выполнения работы на 0,6 л/мин (табл.).

На рис. 6 представлены зависимости эластического сопротивления от периферического до выполнения мышечной работы Ea -до и после ее выполнения Ea -п. Регрессионные кривые, отвечающие зависимостям Ea -до и Ea -п (рис. 6) от периферического сопротивления, являются возрастающими: увеличение R в покое и при восстановлении сопряжено с ростом эластического сопротивления артериальной системы.

При этом регрессионная зависимость Ea -п расположена строго выше регрессионной кривой для Ea -до (рис. 6), что согласуется с данными таблицы, поскольку (табл.) среднее значение Ea -п превышает среднее Ea -до на 408,5 дин·с·см⁻⁵.

Заметим, что диапазоны изменения средних значений периферического сопротивления до и после выполнения интенсивной мышечной работы практически одинаковы (рис. 6). Диапазоны изменения средних значений эластического сопротивления (рис. 6) до и после выполнения мышечной работы (рис. 6) оказались различными: от 700 до 1700 дин·с·см⁻⁵ перед мышечной работой и от 1000 до 2600 дин·с·см⁻⁵ – после мышечной работы. Увеличение максимальных значений эластического сопротивления после выполнения интенсивной мышечной работы, отвечающих также максимальным значениям периферического сопротивления (рис. 6), носит компенсаторный характер с целью обеспечения прохождения в этих условиях должного минутного кровотока (рис. 3,5).

Выводы

1. Рост эластического сопротивления в покое и при восстановлении сопряжен с увеличением как ЧСС, так и систолического артериального давления.
2. Рост эластического и периферического сопротивлений в покое и при восстановлении сопряжен со снижениями величин ударного объема крови (УО) и минутного кровотока (МОК).
3. Увеличение периферического сопротивления (R) в покое и при восстановлении сопряжено с достоверным ростом эластического сопротивления артериальной системы.

Литература

1. Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика: Учебное пособие. 2-е изд. СПб.: ООО «Издательство ФОЛИАНТ» . 2006. 432с.
2. Импеданская плетизмография (реография). С.81–90 // В сб.: Инструментальные методы исследования в кардиологии / Под научн. ред. Г.И. Сидоренко. Минск, 1994. 272с.

3. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов. М.: ФиС, 1982. 135с.
4. Карпман В.Л., Орёл В.Р. Импеданс артериальной системы и сердечная деятельность // Физиология человека. 1985. №4. С.628-633.
5. Карпман В.Л., Орел В.Р. Исследование артериального импеданса у человека / В сб.: Кардиореспираторная система. Количественные характеристики. Таллин: Валгус. 1986. С.42-80.
6. Карпман В.Л., Орел В.Р. Исследование входного импеданса артериальной системы у спортсменов // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов. М.: РГАФК, 1994. С.92-116.
7. Карпман В.Л., Орел В.Р., Кочина Н.Г. и др. Эластическое сопротивление артериальной системы у спортсменов / Клиникофизиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов. М.: РГАФК, 1994. С.117-129.
8. Орел В.Р. Адаптивные эффекты взаимодействия сердца и сосудов у спортсменов // Спортмен в междисциплинарном исследовании. Монография. / Под ред. М.П. Шестакова. М.: ТВТ Дивизион, 2009. С.210-258.
9. Орел В.Р. Минутный кровоток, мощность сердечного выброса и физическая работоспособность у спортсменов / В сб.: Сост. и перспективы развития медицины в спорте высш. достижений. Спортмед-2007. М.: ФК, 2007. С.37-40.
10. Орёл В.Р., Амнуэль Л.Ю., Орёл В.В., Травинская А.Г. Уровень артериального давления и сосудистые сопротивления // В сб.: Спортивная медицина и исследования адаптации к физическим нагрузкам. Научные чтения, посвященные 80-летию со дня рождения проф. В.Л.Карпмана. М.: РГУФК, 2005. С.49-58.
11. Орел В.Р., Ростовцева М.Ю., Головина Л.Л. и соавт. Гемодинамические особенности упражнений гимнастики «Пилатес» // В сб.: Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы. XI-я научно-практическая конференция. М.: ГКГ МВД РФ, 2009. С.303-310.
12. Орел В.Р., Травинская А.Г. Модельные оценки эффективной упругости левого желудочка сердца и артериальной эластичности / В сб.: Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы. Шестая научно-практ. конференция. М.: АО НТЦ «МЕДАСС». 2004. С.151-156.
13. Орел В.Р., Шиян В.В., Щесюль А.Г., Червяков Д.М. Показатели центральной гемодинамики и сосудистой нагрузки сердца в покое (регрессионные соотношения) // Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы. XII-я научно-практическая конференция. М.: ГКГ МВД РФ, 2010. С.82-93.
14. Парашин В.Б., Иткин Г.Н. Биомеханика кровообращения / Под ред. С.И.Щукина. М.: Изд-

во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. 224с.

15. Karpman V.L. Cardiovascular system and physical exercise. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1987.
16. Karpman V.L., Orel V.R. Compliance of the arterial system and aortic input impedance // Med. Razgl. V.30. Suppl.1. 1991. P.109-111.
17. Noordergraaf A. Hemodynamics, in: Biological engineering. V.9. Ed. H.P.Schwan. N-Y: McGraw-Hill, 1969. P.391-545.