

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ У СПОРТСМЕНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Система периферического кровообращения состоит из артерий, капилляров и вен. Артерии транспортируют обогащенную кислородом кровь и питательные вещества в работающие мышцы и контролируют давление крови. Вены – это емкостные сосуды, в которых в условиях покоя хранится от 65 до 75% общего объема крови в организме. В результате спортивной тренировки, когда, как показал Ф.З. Меерсон [7], происходит долговременная адаптация организма к физическим нагрузкам, имеют место морфофункциональные сдвиги в состоянии системы периферического кровообращения. Равномерные длительные тренировочные физические нагрузки приводят к значительному увеличению капиллярной сети, общее количество капилляров может возрасти в 2 раза [3, 9, 10, 13, 15]. Эти изменения, возникающие непосредственно во время мышечной деятельности, сохраняются в организме и после ее окончания. Специфика тренировки в том или ином виде спорта обуславливает особенности приспособления к разным видам спортивной деятельности.

**Цель работы.** Определялась общая тенденция состояния периферического кровотока в условиях мышечного покоя, и оценивалась физическая работоспособность под влиянием велоэргометрической нагрузки (теста PWC<sub>170</sub>) у спортсменов, развивающих преимущественно силу и выносливость и не занимающихся спортом.

**Методы и организация исследования.** На кафедре физиологии и биохимии БГУФК было проведено исследование, в котором приняли участие 48 студентов, среди которых 32 спортсмена (в основном перворазрядники, кандидаты в мастера спорта и мастера спорта). Из них 16 человек составили группу спортсменов, развивающих силу (ГРС). Это лица, адаптированные к выполнению преимущественно статических режимов мышечной деятельности. Представители этой группы занимались такими видами спорта, как тяжелая атлетика, армспорт. Их тренировочный стаж –  $5,25 \pm 0,84$  года, возраст –  $20,72 \pm 0,39$  года, рост  $176,25 \pm 1,34$  см, масса тела –  $83,47 \pm 3,21$  кг. Группа, развивающая выносливость (ГРВ), адаптировалась к выполнению динамических режимов мышечной деятельности. Она представлена 16 спортсменами, специализирующимися в беге на средние и длинные дистанции, в спортивной ходьбе. Их тренировочный стаж –  $5,42 \pm 0,59$  года, средний возраст –  $20,26 \pm 0,54$  года, рост –  $180,31 \pm 1,6$  см, масса тела –  $69,69 \pm 2,04$  кг. Контрольная группа (КГ) представлена здоровыми лицами ( $n=16$ ) – студентами, не занимающимися спортом. По возрасту и росту исследуемые этой группы существенно не отличались от спортсменов 1-й и 2-й групп ( $p > 0,05$ ).

До начала велоэргометрической нагрузки (теста PWC<sub>170</sub>) в состоянии мышечного покоя и после физической нагрузки регистрировали показатели периферического кровообращения с использованием аппаратно-программного комплекса «Ахиллес». Программа предназначена для компьютеризированной синдромальной диагностики состояния кровообращения в нижних конечностях. Компьютерная диагностическая технология включает ввод паспортных данных обследуемого, контурный анализ реовазографических сигналов с оценкой основных показателей кровообращения и формированием синдромального заключения. Анализируется 15-секундный отрезок сигнала и определяется в каждом автоматически обработанном кардиоцикле 5 основных реовазографических показателей. С целью повышения точности результатов по числу обработанных кардиокомплексов происходит усреднение всех показателей. Функциональное состояние сосудов нижних конечностей оценивается путем сравнения полученных средних значений показателей с диапазонами их нормальных величин. При этом каждый цифровой показатель сопровождается качественной оценкой с системой градаций типа: норма, умеренно или резко снижен и т.д. Программа ориентирована на оперативную оценку статуса кровообращения в нижних конечностях.

При количественном анализе реовазограммы (РВГ) используется следующий набор показателей:

а) реографический индекс (РИ), значение которого отражает пульсовой прирост объема крови, интенсивность артериального кровенаполнения исследуемой зоны;

б) индекс эластичности (ИЭ) оценивает относительное отличие амплитуды в конце систолы по сравнению с амплитудой систолической волны и косвенно характеризует эластичность артерий исследуемой зоны;

в) индекс периферического сопротивления (ИПС) определяется отношением амплитуды на уровне инцизуры к амплитуде систолической волны, зависит в основном от состояния активности сократительных элементов сосудов и косвенно отражает величину периферического сопротивления;

г) индекс оттока (ИО) определяется отношением амплитуды диастолической волны к амплитуде систолической волны. По данному показателю оценивается соотношение артериального и венозного кровотока, что тем самым косвенно характеризует состояние венозного оттока;

д) частота сердечных сокращений (ЧСС).

Границы норм используемых реовазографических параметров, полученные БелНИИ кардиологии с помощью статистического пакета «STATGRAF», согласуются с литературными данными и ориентированы на возрастной диапазон [6].

Результатом автоматизированной обработки реовазографического сигнала является количественная оценка показателей и качественная трактовка их величин для левой и правой нижних конечностей. Диагностическое заключение вырабатывается исходя из наихудшей ситуации, которая определяется при сравнении левосторонних и правосторонних данных. Сочетание показателей периферического кровообращения и клинической картины позволяет определить тип периферического кровообращения.

Физическая работоспособность определялась с помощью субмаксимального велоэргометрического теста  $PWC_{170}$  с использованием методических рекомендаций [1]. Этот тест основан на существовании прямой пропорциональной зависимости между частотой сердечных сокращений и мощностью выполняемой работы [11, 14].

**Результаты и их обсуждение.** Проведенные исследования показали, что по средним данным периферическое кровообращение в голени во всех обследованных группах не имеет достоверных отличий. В состоянии мышечного покоя артериальное кровенаполнение голени у всех испытуемых лиц находится в пределах нормы, кроме ГРС, где объемный кровоток артериальной крови умеренно снижен. В ГРВ (рис. 1.) этот показатель количественно выше ( $PI = 0,063 \pm 0,011$  Ом) по сравнению с остальными группами. Следовательно, при прочих равных условиях у спортсменов, тренирующихся на выносливость, даже в покое приток крови к постоянно испытывающим нагрузку органам (в данном случае нижним конечностям) значительно больше. Аналогичная тенденция в данной группе отмечалась и при характеристике эластичности артерий в ГРВ, где ИЭ составил  $0,490 \pm 0,090$  относительных единиц против  $0,465 \pm 0,086$  в ГРС и  $0,448 \pm 0,026$  в КГ. Периферическое сопротивление в группах спортсменов несколько ниже, чем в КГ. В связи с этим на основании полученных данных можно предположить, что в процессе систематических, долговременных занятий избранным видом спорта у испытуемых в зависимости от характера спортивной деятельности уже в состоянии относительного покоя формируется экономизация регионального кровотока.

После велоэргометрической нагрузки в группах спортсменов произошло незначительное снижение артериального кровенаполнения в голени, а в КГ отмечено его повышение. Снижение кровенаполнения конечностей, наиболее активных при тренировочных занятиях, обусловлено, по-видимому, экономизацией мышечного кровотока в более тренированных мышцах [2]. Эластичность артерий в нижних конечностях под влиянием динамической нагрузки (теста  $PWC_{170}$ ) в ГРВ осталась на уровне состояния покоя, в ГРС уменьшилась незначительно. В КГ ИЭ с  $0,448 \pm 0,026$  понизился до  $0,328 \pm 0,029$  относительной единицы. Систематические занятия спортом оптимизируют естественные рефлекторные реакции, управляющие тонусом артериальных сосудов. В этом, возможно, и заключается положительное адаптационное влияние занятий спортом на функцию периферического кровообращения.

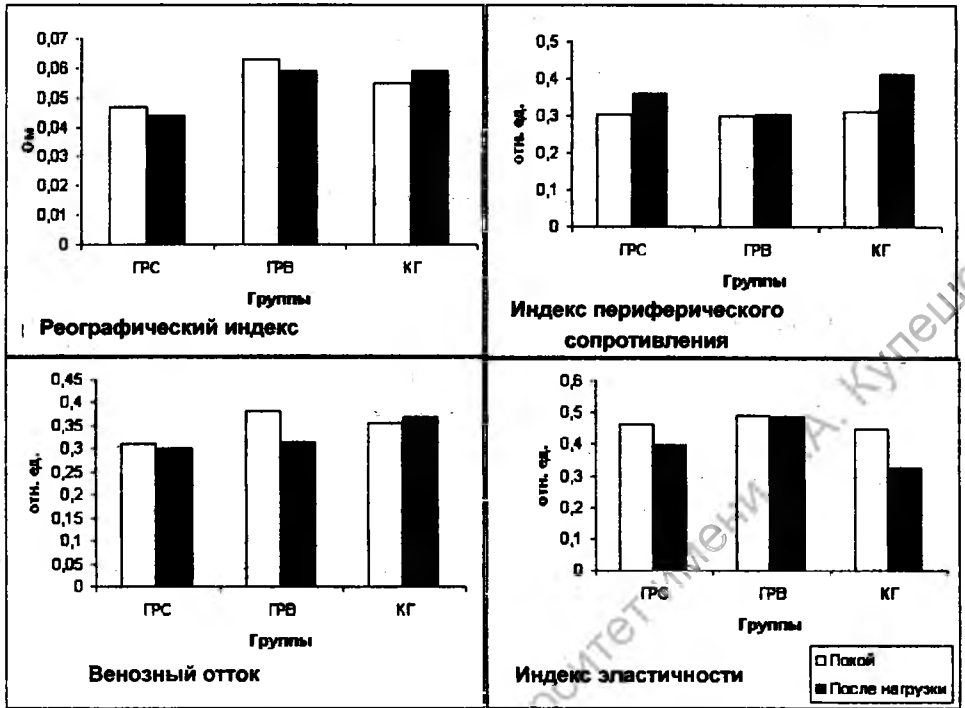


Рис. 1. Показатели периферического кровообращения в покое и после велоэргометрической нагрузки (теста  $PWC_{170}$ )

Как следует из рис. 1, периферическое сопротивление количественно меньше после нагрузки в группах спортсменов по сравнению с КГ. Более низкое периферическое сосудистое сопротивление, обеспечивающее расширение сосудов, улучшает кровоток в активных мышцах. В основе снижения сопротивления кровотоку при физической нагрузке лежит увеличение функциональной плотности капилляров в мышцах [5]. По данным Honig [12], функциональная плотность капилляров при нагрузке возрастала с 550 до 1150 на  $mm^2$ , в то время как избирательно расширенные артериолы почти не влияли на общее сопротивление и кровоток.

У спортсменов после нагрузки снижается индекс венозного оттока, что увеличивает венозный возврат.

В нашем эксперименте тест  $PWC_{170}$  использовался не только как дозированная динамическая нагрузка, но и для определения физической работоспособности, данные которой представлены на рис. 2. Достоверное увеличение физической работоспособности по этому показателю отмечается в группах спортсменов. Полученные данные подтверждают, что в группах спортсменов, особенно в ГРВ, в сравнении с КГ кардиореспираторная система отличается большей производительностью. Чем эффективнее работа аппарата кровообращения, тем больше величина  $PWC_{170}$  [4]. В процессе тренировки на выносливость происходят адаптационные изменения со стороны гемодинамики вместе с приспособительными процессами в мышцах скелета и эндокринной системы, что достигается увеличением максимального потребления кислорода, чтобы получить больший процент аэробной энергии без значительного утомления [8].

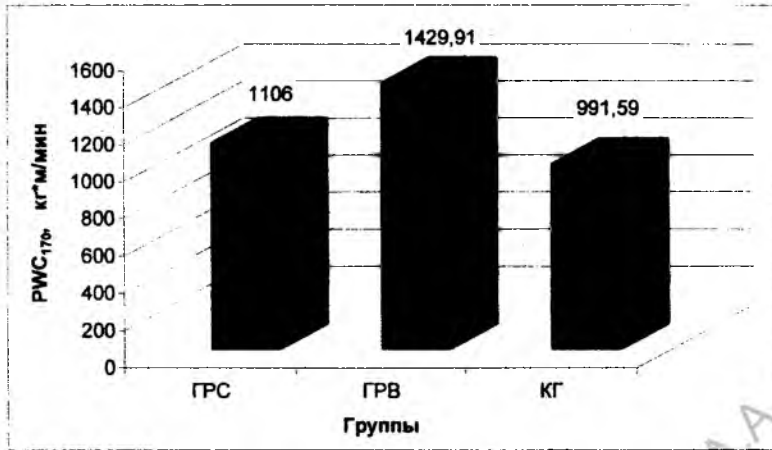


Рис. 2. Физическая работоспособность (тест  $PWC_{170}$ )

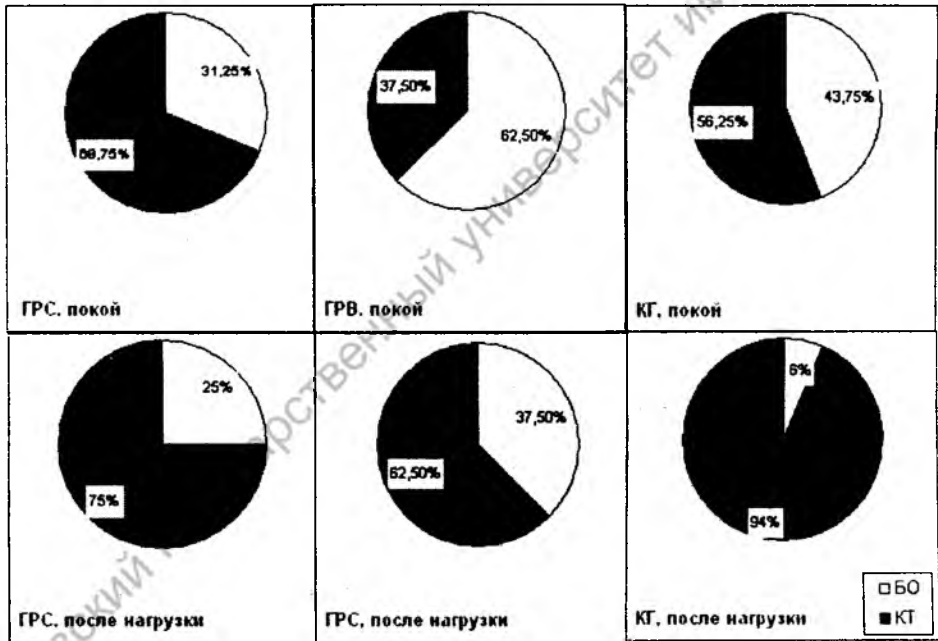


Рис. 3. Типы периферического кровообращения до и после физической нагрузки в ГРС, ГРВ и КГ.

Примечание. Тип периферического кровообращения: без отклонений от нормы (БО), компенсированный (КТ).

На рис. 3 приведены типы периферического кровообращения в состоянии покоя и после велоэргометрической нагрузки (теста  $PWC_{170}$ ). В исследуемых группах отмечен компенсированный тип (КТ), при котором по классификации Fontaine определяется отсутствие клинических жалоб у пациента в сочетании с пониженными значениями ИЭ  $<0,4$  и РИ  $<0,04$ , что соответствует 1-й стадии, и состояние без отклонений от нормы (БО). Как в состоянии покоя (62,50%), так и

после нагрузки (37,50%) в ГРВ характерна устойчивость периферического кровотока. В ГРС после нагрузки не выявлены функциональные нарушения периферического кровообращения у 37,50%, а в КГ – только у 6% обследованных.

**Заключение.** В условиях постоянно повторяющейся мышечной работы при различных ее режимах на региональном уровне происходят адаптационные изменения гемодинамики, отражающие специфические особенности влияния физических нагрузок.

В группах спортсменов, адаптированных к выполнению физических нагрузок силового характера и динамической работы, под влиянием пробы PWC<sub>170</sub> относительно стабильными являются индекс периферического сопротивления и индекс эластичности в сравнении с контрольной группой.

Адаптационные изменения периферического кровообращения под влиянием различных режимов мышечной работы у лиц, занимающихся спортом, отражают экономизацию гемодинамики в условиях относительного покоя. Под влиянием физической нагрузки в тесте PWC<sub>170</sub> характерна мобилизация периферического кровообращения, что сопровождается увеличением физической работоспособности. Она повышена у спортсменов, развивающих выносливость, на 44,2%, а у развивающих силу – на 11,5% в сравнении с не занимающимися спортом.

Установлено, что до выполнения контрольного теста PWC<sub>170</sub> в 62,50% случаев и после его выполнения в 37,50% случаев для спортсменов, тренирующихся в динамическом режиме, характерна устойчивость периферического кровотока.

После выполнения теста в группе тренирующихся с силовыми нагрузками компенсированный тип периферической гемодинамики выявлен у 75%, а у тренирующихся с нагрузками на выносливость этот тип кровообращения характерен для 62,50% исследуемых против 94% в контрольной группе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белоцерковский З.Б. Определение физической работоспособности у спортсменов по тесту PWC<sub>170</sub> с помощью специфических нагрузок. Методические рекомендации для инструкторов физической культуры. – М., 1980.
2. Бледнова В.Н. Изменение показателей периферического кровообращения под влиянием физических нагрузок у спортсменов (по данным сфигмографии и реографии): Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Тарту, 1977.
3. Булгакова Н.Ж., Соломатин В.Р. // Теория и практика физической культуры. – 1996. – № 1. – С. 10-11.
4. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. – 1988. – С. 82.
5. Козлов В.И., Васильева Н.Д., Исакова Ж.Т. // Архив анатомии, гистологии, эмбриологии. – 1982. – Т. 82. – № 1. – С. 7-9.
6. Кривицкий Н.М. // Медицинская техника. – 1986. – № 1. – С. 11-15.
7. Меерсон Ф.З. Адаптация сердца к большой нагрузке и сердечная недостаточность. – М., 1975.
8. Спортивная медицина. Справочное издание. – М., 2003. – С. 27-28, 38.
9. Чан-Цан // Теория и практика физической культуры. – 1996. – № 2. – С. 28-29.
10. Якимов А.М. // Теория и практика физической культуры. – 1996. – № 2. – С. 31-33.
11. Clausen J.P., Clausen R., Ramussen B. et al. // Amer. J. Physiol. 1973. Vol. 225. № 3. – P. 675-682.
12. Honig C.R. // Microvasc. Res. 1981. Vol. 21, № 2. – P. 245.
13. Klausen .K., Secher N.H., Clausen J.P., Harting O, Trap-Jensen J. // J. Appl. Physiol. 1982. Vol. 52. – P. 976-983.
14. Sjöstrand T. Acta med. scand. suppl. 1947. Vol. 196. № 7. – P. 687-699.
15. Wagner P.D. // Med. Sci. Sports Exerc. 1992. Vol. 24. – P. 54-58.

## SUMMARY

*Athletes and untrained individuals being under examination, the effect of muscular activity on the peripheral blood circulation prior and after PWC<sub>170</sub> tests was demonstrated.*

*The peripheral resistance and elasticity indices were more stable among athletes as compared to the untrained individuals.*

*Adaptive changes in peripheral circulation of athletes under various work conditions reflect efficient haemodynamics both at rest and after the dynamic test.*