

4510.25
А - 471

ТАРТУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 612.17.176+612.22.1

АЛЕКСЕЕВ
Владимир Михайлович

**СВЯЗЬ МЕЖДУ АБСОЛЮТНЫМИ
И ОТНОСИТЕЛЬНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ
ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА
И ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ
ПРИ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ
У СПОРТСМЕНОВ И НЕСПОРТСМЕНОВ**

14.00.17 — нормальная физиология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Тарту 1984

Работа выполнена на кафедре физиологии Государственного центрального ордена Ленина института физической культуры.

Научный руководитель — доктор медицинских наук, профессор **КОЦ Я. М.**

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, старший научный сотрудник **ОЗОЛИНЬ П. П.**,

кандидат медицинских наук, доцент **ПЯРНАТ Я. П.**

Ведущее учреждение — Институт гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР.

Защита диссертации состоится «_____» _____ 1984 года в _____ часов на заседании специализированного Совета К.069.02.07 Тартуского государственного университета (202400, г. Тарту, ул. Юликооли, 18).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Тартуского государственного университета.

Автореферат разослан «_____» _____ 1984 г.

Ученый секретарь специализированного Совета К.069.02.07
доктор медицинских наук, профессор
Ю. П. ХУССАР



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Во многих видах физкультурно-спортивной, бытовой и производственной деятельности выполняется мышечная работа преимущественно аэробного характера. Об интенсивности (мощности) этой работы можно судить по общей скорости потребления кислорода организмом (PO_2). Оба эти показателя — интенсивность и PO_2 , в свою очередь, прямо связаны с частотой сердечных сокращений (ЧСС). Поэтому ЧСС широко используется для физиологической оценки интенсивности аэробной мышечной работы как показатель ее физиологической напряженности. Вместе с тем применение ЧСС для этих целей требует учета целого ряда обстоятельств. Прежде всего связь между показателями ЧСС и PO_2 варьирует у людей разного возраста, пола, уровня физической подготовленности, зависит от характера и условий выполняемой работы. Оценка физиологической напряженности физической нагрузки по ЧСС зависит также от времени определения последней, поскольку ЧСС непрерывно изменяется в процессе работы, особенно большой мощности. Кроме того, регистрация ЧСС в естественных условиях трудовой и спортивной деятельности непосредственно во время выполнения мышечной работы связана с методическими трудностями. Поэтому для оценки физиологической нагрузки часто учитывается ЧСС, зарегистрированная в период восстановления. В этих случаях для суждения о рабочей ЧСС необходимо выявить количественную связь между ЧСС во время работы и в разные периоды восстановления.

Хотя возможности применения ЧСС для решения указанных вопросов неоднократно изучались, в том числе в последние десятилетия (В. В. Васильева, А. А. Виру, Н. Д. Граевская, А. А. Гуминский, В. М. Зацпорский, Н. В. Зимкин, В. Л. Карпман, С. П. Летунов, Р. Е. Мотылянская, П. П. Озолнь, В. В. Розенблат, В. С. Фарфель, В. Л. Уткин, Р. -О. Astrand, M. Karvonen, L. Rowell, B. Saltin и др.) систематическая количественная оценка роли перечисленных факторов, влияющих на связь между PO_2 и ЧСС у спортсменов и неспортсменов, в значительной степени остается еще неосуществленной.

Научная новизна. Впервые проведено систематическое сравнительное исследование диагностических возможностей абсолютных и относительных пульсовых показателей для оценки абсо-

лютой и относительной физиологической напряженности выполняемой физической нагрузки у спортсменов и неспортсменов.

Осуществлен детальный количественный анализ связи между абсолютными и относительными показателями PO_2 и ЧСС, динамики изменения ЧСС в процессе и после выполнения мышечной работы разной мощности и продолжительности у спортсменов и неспортсменов.

Практическая значимость. Установлено, что для корректной сравнительной оценки физиологической напряженности аэробной мышечной работы целесообразно использовать относительные пульсовые показатели, т. е. показатели ЧСС, выраженные в процентах от индивидуальной максимальной ЧСС или от рабочего пульсового резерва (разности между максимальной ЧСС и ЧСС в условиях покоя).

Предложены формулы для расчетного определения скорости потребления кислорода по абсолютным и относительным показателям частоты сердечных сокращений.

Полученные количественные характеристики изменения ЧСС во время продолжительной работы, а также в период восстановления могут быть использованы для контроля за текущим состоянием сердечно-сосудистой системы в процессе тренировки у людей с разным уровнем физической аэробной способности.

Разработан простой способ расчетного определения максимального потребления кислорода у спортсменов и неспортсменов по данным абсолютной частоты сердечных сокращений и мощности внешней механической работы.

Структура и объем. Диссертация состоит из введения, четырех глав (литературный обзор, методика исследования, результаты и их обсуждение), выводов, практических рекомендаций, библиографии, актов внедрения полученных результатов в практику. Она изложена на 197 страницах (116 страниц машинописного текста, 36 рисунков, 16 таблиц), библиографический указатель включает 131 литературный источник на русском и 195 на иностранных языках.

ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследования — определение возможностей оценки физиологической напряженности деятельности сердечно-сосудистой системы по абсолютным и относительным пульсовым показателям, зарегистрированным в процессе и после выполнения мышечной работы разной мощности и продолжительности у спортсменов и неспортсменов.

Для достижения этой цели были поставлены следующие основные задачи:

1) исследовать количественную связь между абсолютными и относительными показателями PO_2 и ЧСС при работе разной мощности у спортсменов и неспортсменов;

2) выявить наиболее значимый показатель ЧСС для оценки относительной физиологической напряженности при выполнении аэробной мышечной работы;

3) определить количественные изменения ЧСС на протяжении периода так называемого устойчивого (по потреблению кислорода) состояния («дрейф» ЧСС) и установить зависимость этих изменений от абсолютной и относительной мощности аэробной мышечной работы у спортсменов и неспортсменов;

4) произвести анализ динамики восстановления ЧСС после работ разной мощности для определения возможностей оценки рабочей ЧСС по частоте пульса, зарегистрированной в различные периоды восстановления.

Методы. Поставленные задачи решались с помощью следующих методов: 1) анализ литературных источников; 2) газоаналитический метод Дугласа-Холдена для определения скорости потребления O_2 и выделения CO_2 и расчета дыхательного коэффициента; 3) определение легочной вентиляции (ЛВ) по методу Дугласа; 4) спироэргометрический ступенчатый метод с определением МПК и максимальной ЧСС; 5) велоэргометрический метод со стандартной мощностью работы; 6) электрокардиографическая регистрация ЧСС; 7) телеметрическая регистрация ЧСС («Спорт-4»); 8) расчетные методы определения относительных пульсовых показателей и PWC_{170} ; 9) математико-статистическая обработка результатов.

Испытуемые. В исследовании приняли участие 88 молодых мужчин, из них — 74 спортсмена разных специализаций (17—29 лет) и 14 неспортсменов (18—29 лет).

Порядок исследования. В первой части исследования (для решения 1-й и 2-й задач) каждый испытуемый (27 человек) выполнил 4 работы. Первая — ступенчато-нарастающая нагрузка вплоть до невозможности ее продолжения (для определения МПК и максимальной ЧСС). Последующие три работы постоянной мощности на уровне около 90, 70 и 50% от МПК продолжительностью по 10 мин каждая при темпе педалирования 60 об/мин.

Во второй части исследования (для решения 3-й задачи) испытуемые (34 человека) выполняли работы постоянной мощности (частота педалирования 60 и 75 об/мин) на уровне 40—75% от МПК продолжительностью 60 мин, 80% МПК — 40 мин и 90% МПК — до отказа.

В третьей части исследования (решение 4-й задачи) анализировались данные восстановления ЧСС у 56 человек после выполнения 3-х нагрузок: на уровне около 55% и 70% от МПК продолжительностью по 60 мин и ступенчато-нарастающей нагрузки до отказа.

В один день испытуемый выполнял только одну работу, которой предшествовали легкая нагрузка (разминка) в течение 5 мин с ЧСС около 120—130 уд/мин и отдых 5 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пульсовая оценка физиологической напряженности аэробной мышечной работы

В качестве абсолютных пульсовых показателей (единица измерения — уд/мин) использовали: 1) ЧСС покоя ($ЧСС_{п}$), которую измеряли в положении сидя на велоэргометре после 10 мин отдыха; 2) рабочую ЧСС ($ЧСС_{р}$), определявшуюся на протяжении 10-й мин работы постоянной мощности; 3) рабочий прирост ЧСС ($ЧСС_{рп}$) как разность между рабочей ЧСС и ЧСС покоя ($ЧСС_{рп} = ЧСС_{р} - ЧСС_{п}$); 4) максимальную ЧСС ($ЧСС_{макс}$), которую определяли в тесте со ступенчато-нарастающей нагрузкой по наибольшей ЧСС в один из 15 с интервалов непрерывной регистрации; 5) пульсовой резерв ($ЧСС_{рз} = ЧСС_{макс} - ЧСС_{п}$). Относительными пульсовыми показателями (размерность — проценты) служили: 1) относительная рабочая ЧСС ($\% ЧСС_{макс} = ЧСС_{р} \cdot ЧСС_{макс}^{-1} \cdot 100\%$) и 2) относительный рабочий прирост ЧСС ($ЧСС_{орп} = ЧСС_{рп} \times ЧСС_{рз}^{-1} \cdot 100\%$).

Скорость потребления кислорода, определявшуюся одновременно с рабочими пульсовыми показателями, также выражали в абсолютных (л O_2 /мин) и относительных величинах ($\% МПК = PO_2 \cdot МПК^{-1} \cdot 100\%$).

Испытуемыми были 19 спортсменов (группа I), из них — 10 велосипедистов-шоссейников высокого класса (группа I-A) и 9 спортсменов разных специализаций (группа I-B), а также 8 неспортсменов (группа II). Для специального анализа спортсмены были разделены на три подгруппы в зависимости от индивидуальной $ЧСС_{макс}$: подгруппа Ia с $ЧСС_{макс}$ от 178 до 188 уд/мин; подгруппа Ib с $ЧСС_{макс}$ от 189 до 198 уд/мин и подгруппа Ic с $ЧСС_{макс}$ более 198 уд/мин.

$ЧСС_{макс}$ достоверно положительно коррелировала с $ЧСС_{п}$ ($r=0,5$) и отрицательно с абсолютными МПК и PWC_{170} и относительным PWC_{170} (соответственно $r=-0,47$; $r=-0,6$; $r=-0,53$) и недостоверно коррелировала с относительным МПК (МПК/кг веса тела $r=-0,33$). $ЧСС_{п}$ достоверно отрицательно коррелировала с $ЧСС_{рз}$ ($r=-0,58$), с абсолютным и относительным МПК (r соответственно $-0,6$ и $-0,55$). Коэффициенты корреляции между $ЧСС_{рз}$ с одной стороны, и $ЧСС_{макс}$ и МПК (абсолютным и относительным), с другой — были недостоверны и составили соответственно 0,35; 0,21 и 0,22. Показатели PWC_{170} высокодостоверно коррелировали с МПК (абсолютные $r=0,94$; относительные $r=0,89$).

В соответствии с многочисленными литературными данными расположение линий связи между PO_2 и $ЧСС_{р}$ существенно отличалось у спортсменов и неспортсменов. В группе I-A $ЧСС_{р}$ была в среднем на 20—30 уд/мин меньше, чем в группе I-B, и

на 60 уд/мин меньше, чем в группе II. Коэффициент корреляции между ПО_2 и ЧСС_p равен 0,642 ($p < 0,01$). Среднее квадратическое отклонение теоретически ожидаемого ПО_2 от экспериментального при расчете по ЧСС_p по общему уравнению регрессии $y = 0,032 \cdot x - 1,964$ составило $\pm 0,84$ л/мин.

При сравнении связи между ПО_2 , с одной стороны, и ЧСС_{rp} , $\% \text{ЧСС}_{\text{макс}}$ и $\text{ЧСС}_{\text{орп}}$, с другой — также были обнаружены значительные количественные различия между исследованными группами и подгруппами испытуемых. Однако при сопоставлении между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_p различия между спортсменами (I) и неспортсменами (II) значительно уменьшились (до 10—20 уд/мин) и практически исчезли между группами I-A и I-B, а также между неспортсменами и спортсменами подгруппы Iв. При одинаковой ЧСС_p отличие между спортсменами подгрупп Iа и Iв составляло около 15% МПК. Коэффициент корреляции между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_p ($r = 0,951$) достоверно выше ($p < 0,01$), чем между ПО_2 и ЧСС_p . При расчете $\% \text{МПК}$ по ЧСС_p ($y = 0,707 \cdot x - 40,1$) стандартное отклонение составляло на разных уровнях мощности от $\pm 6,6\%$ до $\pm 7,9\%$ МПК.

Линии связи между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_{rp} у спортсменов и неспортсменов имели иное расположение на графике по сравнению с зависимостью между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_p . Во всем диапазоне нагрузок ЧСС_{rp} на 4—6 уд/мин меньше в среднем у группы II, чем у группы I. Линии связи между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_{rp} совпадали у неспортсменов и спортсменов подгруппы Iа, обладающих разной аэробной работоспособностью, но одинаковым пульсовым резервом. Коэффициент корреляции между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_{rp} ($r = 0,936$) выше ($p < 0,01$), чем между ПО_2 и ЧСС_p , а стандартное отклонение расчетного $\% \text{МПК}$ при использовании ЧСС_{rp} ($y = 0,714 \cdot x + 7,5$) составило $\pm 6,7\%$ МПК.

Представление ПО_2 и ЧСС_p в относительных единицах (соответственно $\% \text{МПК}$ и $\% \text{ЧСС}_{\text{макс}}$) практически инвариантно до количественные различия между спортсменами и неспортсменами и между спортсменами с разной $\text{ЧСС}_{\text{макс}}$. Коэффициент корреляции между $\% \text{МПК}$ и $\% \text{ЧСС}_{\text{макс}}$ ($r = 0,981$) достоверно выше ($p < 0,01$), чем между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_p . Среднеквадратическое отклонение расчетного $\% \text{МПК}$ по $\% \text{ЧСС}_{\text{макс}}$ ($y = 1,474 \cdot x - 48,7$) составило $\pm 4,7\%$ МПК.

Линии связи между $\% \text{МПК}$ и $\text{ЧСС}_{\text{орп}}$ также совпадали у групп спортсменов и неспортсменов и у подгрупп спортсменов с разными $\text{ЧСС}_{pз}$ и $\text{ЧСС}_{\text{макс}}$. Коэффициент корреляции между $\% \text{МПК}$ и $\text{ЧСС}_{\text{орп}}$ равен 0,994, что выше ($p < 0,01$), чем между $\% \text{МПК}$ и ЧСС_p , а стандартное отклонение относительной аэробной мощности от количественных значений $\text{ЧСС}_{\text{орп}}$ равно $\pm 4,5\%$ МПК.

Сопоставление физиологических реакций, возникающих при выполнении работы разными людьми, например тренированными и нетренированными, показывает, что интенсивность этих реак-

ций находится в более тесной связи не с абсолютной (PO_2), а с относительной (% МПК) аэробной нагрузкой. Так, целый ряд физиологических показателей, значительно различающихся у спортсменов и неспортсменов или у одних и тех же людей в различных условиях выполнения работ с одинаковым PO_2 , становится почти или полностью одинаковыми, если сравнивать их при нагрузках с равным % от МПК. Это относится к таким показателям, как степень уменьшения чревного или почечного кровотока (L. Rowell, 1974), величина $ABP-O_2$ (B. Ekblom, 1969) при работе у спортсменов и неспортсменов; температура тела во время работы у спортсменов и неспортсменов, у мужчин и женщин (B. Saltin, L. Hermansen, 1966); ЛВ, ЧСС, содержание лактата и рН крови при работе на уровне моря и на высоте у мужчин (L. Hermansen, B. Saltin, 1967) и женщин (D. Miles e. a., 1980); скорость расходования мышечного гликогена у тренированных и нетренированных людей (B. Saltin, J. Karlsson, 1971); субъективное ощущение напряженности работы у лиц с разной работоспособностью и массой жировой ткани (J. Skinner e. a., 1969; 1973) и т. д. Как и другие авторы (А. Ф. Сняжков, 1974; В. Д. Чепик, 1969), мы установили, что различия в пульсовых реакциях (ЧСС) на нагрузку между группами с разным уровнем аэробных возможностей (МПК) значительно уменьшаются, если нагрузка выражается в относительных величинах (т. е. в процентах от МПК). Вместе с тем сравнение результатов, полученных у спортсменов и неспортсменов, показало, что даже равная относительная аэробная нагрузка выполнялась ими с неодинаковой рабочей ЧСС. Разделение спортсменов на группы с разной $ЧСС_{макс}$ выявило основной механизм этих отличий: при одинаковом % МПК уровень $ЧСС_p$ определялся величиной пульсового потолка, т. е. $ЧСС_{макс}$. Аналогичная ситуация характерна и для $ЧСС_{рп}$, уровень которого зависит от величины пульсового резерва. В группах, различающихся по МПК, но с равными $ЧСС_{макс}$ и $ЧСС_{рз}$, наблюдалось четкое совпадение линий связи между показателями % МПК и частоты сердечных сокращений. Поэтому можно заключить, что различия в $ЧСС_p$ или $ЧСС_{рп}$ при одинаковом % МПК являются следствием отличий в индивидуальных показателях $ЧСС_{макс}$ или $ЧСС_{рз}$. Действительно, при выражении пульсовых реакций в относительных величинах (% $ЧСС_{макс}$, $ЧСС_{орп}$) при одинаковых относительных нагрузках (равном % МПК) не обнаруживается заметных различий между спортсменами и неспортсменами или между спортсменами с разной аэробной способностью.

Полученные результаты показывают, что для корректного определения физиологической тяжести выполняемой нагрузки по пульсовой реакции целесообразно использовать либо относительную рабочую ЧСС, т. е. $ЧСС_p$ в % от $ЧСС_{макс}$, либо относительный рабочий прирост ЧСС, т. е. $ЧСС_{рп}$ в % от $ЧСС_{рз}$.

Применение таких пульсовых показателей позволяет наиболее точно с физиологической точки зрения оценивать относительную интенсивность выполняемой разными людьми аэробной мышечной работы.

Несмотря на тесную корреляционную связь между показателями МПК и PWC_{170} , выбор стандартной рабочей ЧСС (пробы PWC) для сравнительной характеристики между собой разных спортсменов не является, вероятно, вполне удачным, ввиду возможных значительных индивидуальных различий максимальной ЧСС, которая между тем достоверно отрицательно связана с относительным PWC_{170} ($r = -0,53$). Так, у спортсменов подгрупп 1а и 1в с равным относительным МПК (т. е. с одинаковой аэробной работоспособностью), но разной максимальной ЧСС (в среднем соответственно 183 и 200 уд/мин) средняя разница в относительном PWC_{170} была значительной и достигала более 15%. Развиваемое здесь представление подтверждается также исследованиями PWC у людей разного возраста (V. Seliger e. a., 1978).

Отмеченные ограничения по использованию проб PWC_{170} не относятся, по-видимому, к динамическим наблюдениям спортсменов, поскольку изменения максимальной ЧСС в разные периоды годового цикла тренировки обычно невелики и (по данным 7 активно тренирующихся стайеров высокого класса) находятся в пределах около 4 уд/мин.

Анализ влияния уровня $ЧСС_{\max}$ на точность косвенного определения физической аэробной способности осуществляли путем сопоставления отклонений предсказанного МПК от МПК экспериментального. Расчетное МПК определяли по выведенным нами формулам, в которых используются показатели абсолютной или относительной ЧСС, а также мощность внешней механической работы. Исследуемыми были 30 мужчин, каждый из них выполнил по 2—3 постоянные нагрузки разной мощности с частотой пульса в пределах от 120 до 180 уд/мин.

Стандартное отклонение расчетного МПК от экспериментального при использовании абсолютной рабочей ЧСС по формуле $МПК = (1,42 \cdot N + 13) \cdot (0,707 \cdot ЧСС - 40,1)^{-1}$ (где МПК в л/мин, N — мощность нагрузки в Вт, ЧСС — частота пульса в уд/мин на 10-й мин работы с постоянной мощностью при частоте вращения педалей велоэргометра 60 об/мин) равно $\pm 0,37$ л/мин. В то же время стандартное отклонение предсказанного МПК от МПК фактического при применении показателя относительной рабочей ЧСС по формуле $МПК = (1,42 \cdot N + 13) \cdot (1,474 \times \% ЧСС_{\max} - 48,7)^{-1}$ (где $\% ЧСС_{\max}$ — частота пульса на 10-й мин работы, выраженная в процентах от индивидуальной $ЧСС_{\max}$) было меньше ($Q < 0,01$) и составило $\pm 0,27$ л/мин. Это позволяет заключить, что уровень индивидуальной максимальной ЧСС заметно влияет на точность расчетного определения максимального потребления кислорода.

Для определения возможностей пульсовой оценки физиологической нагрузки по ЧСС, регистрируемой в восстановительный период, анализировали данные, полученные после выполнения работ трех разных относительных мощностей: 100, 70 и 55% МПК, при которых рабочая финальная ЧСС ($ЧСС_p$, т. е. частота пульса в последние 15 с работы) составила соответственно 192 ± 7 уд/мин ($n=56$), 172 ± 11 уд/мин ($n=34$) и 147 ± 14 уд/мин ($n=31$). Измерения осуществляли после прекращения работы в течение 3-х мин непрерывно и далее по 10-ю мин включительно — последние 15 с каждой минуты. О динамике восстановления судили по: 1) абсолютным значениям ЧСС в этот период ($ЧСС_v$) и 2) амплитуде уменьшения ЧСС за разное время восстановления ($\Delta ЧСС = ЧСС_p - ЧСС_v$).

В динамике восстановления ЧСС после работы выделяются два периода. Первый — быстрого уменьшения ЧСС, на протяжении которого снижение ЧСС происходит почти с постоянной скоростью в течение примерно 60 с после максимальной аэробной работы и на протяжении 45—50 с после субмаксимальных нагрузок. Скорость снижения ЧСС в этот период не связана с $ЧСС_p$, т. е. с мощностью работы. $ЧСС_p$ в конце работы колебалась в настоящем исследовании от 125 до 200 уд/мин после работ разной мощности, а амплитуда уменьшения ЧСС ($\Delta ЧСС$) как за первую минуту, так и за более короткие отрезки восстановительного периода оказалась в среднем одинакова после разных нагрузок. Коэффициент корреляции между $ЧСС_p$ и $\Delta ЧСС$ за первые 30 с был равен 0,05 ($p > 0,05$). Второй период — замедленного и зависимого от мощности работы снижения $ЧСС_v$. Коэффициент корреляции между $ЧСС_p$ и $\Delta ЧСС$ за первые две минуты восстановления составил 0,72 ($p < 0,01$). С 3-й по 10-ю мин восстановления скорость снижения ЧСС незначительно отличалась после разных нагрузок.

У спортсменов (МПК = 65 ± 6 мл/кг·мин; $n=43$) при нагрузках на уровне 100, 70 и 55% от МПК финальная $ЧСС_p$ была равна соответственно 191 ± 7 ; 169 ± 10 и 141 ± 14 уд/мин и у неспортсменов (МПК = 48 ± 3 мл/кг·мин; $n=13$) 199 ± 6 ; 173 ± 14 и 149 ± 13 уд/мин. В первый период восстановления средняя амплитуда снижения ЧСС ($\Delta ЧСС$) совпадала у этих групп. Во второй период восстановления $ЧСС_v$ уменьшалась лишь несколько быстрее у спортсменов, чем у неспортсменов. Коэффициент корреляции между относительным МПК и $\Delta ЧСС$ за первые 3 мин восстановления после ступенчато-парастающей нагрузки равен 0,34 ($p < 0,01$).

Наиболее высокая корреляционная связь между финальной $ЧСС_p$ и $ЧСС_v$ после работ разной мощности наблюдалась в первые 10 с восстановления ($r=0,87--0,96$), а далее с течением времени она быстро ослабевала. Уже во вторые 10 с восстановления коэффициенты корреляции между $ЧСС_p$ и $ЧСС_v$ после нагрузок с средней финальной ЧСС 192 и 172 уд/мин и

в третьи 10 с после работы с ЧСС 147 уд/мин были достоверно ниже по сравнению с первыми 10 с восстановления. В период восстановления высокая корреляционная связь между ЧСС_р и ЧСС_в сохранялась более длительно после субмаксимальных работ.

Функциональная закономерность снижения ЧСС с относительно постоянной скоростью в начальный период восстановления позволяет использовать ее для определения реальной рабочей частоты пульса по ЧСС в ранний период восстановления. Количественный анализ показал, что расчет ЧСС_р по ЧСС_в более целесообразен при измерении ЧСС в первые 10 с ($\text{ЧСС}_р = \text{ЧСС}_в + 5$) или в первые 15 с ($\text{ЧСС}_р = \text{ЧСС}_в + 7$), или в первые 20 с ($\text{ЧСС}_р = \text{ЧСС}_в + 9$) восстановления, поскольку приводит к небольшому стандартному отклонению (± 4 — ± 5 уд/мин) расчетной ЧСС_р от экспериментальной по сравнению с использованием других временных интервалов. Так, применение ЧСС за вторые 10 с восстановления ($\text{ЧСС}_р = \text{ЧСС}_в + 13$) дает стандартное отклонение для расчетной ЧСС ± 7 уд/мин. Определение ЧСС_в в более отдаленные периоды восстановления менее пригодно для оценки ЧСС_р, особенно после выполнения работ большой мощности.

Медленные изменения частоты сердечных сокращений («дрейф») на протяжении работы постоянной аэробной мощности

На протяжении выполнения продолжительной работы постоянной аэробной мощности в динамике ЧСС выделяются два основных периода: первый — быстро нарастающая ЧСС длительностью около 10 мин («вработывание»), второй — замедленного («дрейфующего») равномерного увеличения ЧСС. Для анализа пульсового «дрейфа» использовали следующие показатели: 1) амплитуды «дрейфа» (уд/мин), т. е. разности между ЧСС на последней и ЧСС на 10-й мин работы и 2) средней скорости «дрейфа» (уд/мин·мин), которую рассчитывали как частное от деления амплитуды «дрейфа» на продолжительность периода его регистрации (общая продолжительность работы минус первые 10 мин работы).

Испытуемыми в этой серии были 25 спортсменов (МПК = 61 ± 5 мл/кг·мин; ЧСС_{макс} = 193 ± 7 уд/мин) и 9 неспортсменов (МПК = 50 ± 3 мл/кг·мин; ЧСС_{макс} = 201 ± 4 уд/мин).

На 10-й мин работы на уровне $91 \pm 4\%$ МПК ($n=10$) рабочая ЧСС была равна в среднем 186 ± 8 уд/мин, а в момент отказа от работы 192 ± 6 уд/мин (98% ЧСС_{макс}). При выполнении работ на уровне $79 \pm 3\%$ ($n=12$), $69 \pm 6\%$ ($n=41$) и $53 \pm 6\%$ МПК ($n=36$) рабочая ЧСС на 10-й мин была равна соответственно 167 ± 9 , 154 ± 11 и 135 ± 10 уд/мин, амплитуда пульсового «дрейфа» при этих нагрузках составила 14 ± 5 и 19 ± 7 и 12 ± 7 уд/мин, а средняя скорость «дрейфа» — 0,47; 0,38 и 0,24 уд/мин·мин.

Таким образом, скорость пульсового «дрейфа» находится в прямой зависимости от мощности работы. Коэффициент корреляции между скоростью «дрейфа» ЧСС и % МПК равен 0,57 ($p < 0,01$). Скорость пульсового «дрейфа» находится в прямой связи с ЧСС на 10-й мин работы: $r = 0,5$ ($p < 0,01$).

Потребление кислорода на протяжении работы постоянной мощности медленно, хотя и незначительно, возрастало и в конце нагрузки было достоверно больше, чем на 10-й мин. Приросты PO_2 при работах на уровне около 90, 80, 70 и 55% от МПК составили соответственно 0,14; 0,15; 0,18 и 0,12 л/мин над PO_2 на 10-й мин работы. Коэффициент корреляции между скоростью прироста PO_2 и скоростью пульсового «дрейфа» равен 0,6 ($p < 0,01$).

ЛВ в процессе работы с постоянной мощностью также непрерывно возрастала в прямой зависимости от мощности: прирост в промежутке от 10-й мин до конца работы на уровне около 90, 80, 70 и 55% от МПК был равен в среднем 19,9; 11,2; 6,8 и 2,6 л/мин соответственно. Коэффициент корреляции между скоростями приростов PO_2 и ЛВ в интервале от 10-й до последней мин работы был 0,61 ($p < 0,01$).

Дыхательный коэффициент на протяжении работы снижался. При работе на уровне около 90% МПК это снижение было недостоверно, но при более легких нагрузках достоверно.

При выполнении субмаксимальных работ (с нагрузкой менее 80% МПК) с одинаковым PO_2 пульсовая реакция у спортсменов была существенно выше, чем у неспортсменов: разница в ЧСС на 10-й мин достигала 20—30 уд/мин, а разница в амплитуде «дрейфа» — 6—12 уд/мин. При одинаковом % МПК отличие в рабочей ЧСС у спортсменов и неспортсменов (полностью соответствующее разнице в $ЧСС_{макс}$) на всем протяжении работ было постоянным и не превышало в среднем 10 уд/мин. При нагрузках с равным % МПК или с одинаковой ЧСС (или % $ЧСС_{макс}$) на 10-й мин работы амплитуды пульсового «дрейфа» практически не отличались у испытуемых с разным МПК, в частности у спортсменов и неспортсменов.

Среднегрупповая ЧСС при одинаковой субмаксимальной мощности была выше при работе в темпе 75, чем 60 об/мин на 8—9 уд/мин ($p < 0,05$). Однако пульсовой «дрейф» при нагрузках как с одинаковым PO_2 или % МПК, так и с равной ЧСС на 10-й мин не зависел от частоты педалирования.

Скорость «дрейфа» ЧСС находится в прямой зависимости от интенсивности работы и в диапазоне субмаксимальных нагрузок может быть удовлетворительно описана прямолинейной функцией. Между скоростью пульсового «дрейфа» и ЧСС на 10-й мин работы также существует практически линейная зависимость, причем корреляционная связь между этими показателями оказалась лишь несколько слабее ($r = 0,5$), нежели между скоростью «дрейфа» ЧСС и % МПК ($r = 0,57$). Полученные результаты

зависимости скорости пульсового «дрейфа» от ЧСС на 10-й мин работы хорошо согласуются с обработанными нами литературными данными (Т. А. Матсин, А. А. Виру, 1980; В. Ahlberg, 1967 и др.).

В процессе выполнения работы равной абсолютной аэробной мощности скорость пульсового «дрейфа» была существенно выше у неспортсменов, чем у спортсменов. Однако при одинаковых относительных нагрузках (равном % от МПК) различие это практически нивелировалось, обнаружив тем самым, что скорость «дрейфа» ЧСС находится в более тесной связи не с абсолютной (л O_2 /мин), а с относительной (% МПК) аэробной нагрузкой. При равной ЧСС на 10-й мин работы скорость пульсового «дрейфа» была одинаковой как у спортсменов и неспортсменов, так и при нагрузках с разной частотой педалирования.

Таким образом, количественные характеристики «дрейфа» (его скорость и амплитуда) определяются вероятнее всего начальной для пульсового «дрейфа» ЧСС (по нашему выбору на 10-й мин работы) и относительной аэробной нагрузкой.

Две основные причины, вероятно, обуславливают пульсовый «дрейф» в процессе выполнения работы постоянной мощности. Первая причина — постепенное повышение энергетической стоимости работы, что проявляется в медленном нарастании PO_2 . На протяжении работы постоянной большой мощности увеличение PO_2 после 10-й мин до конца нагрузки составляло в среднем 4—7%, что согласуется с другими данными (Н. И. Волков и др., 1966; В. В. Михайлов, 1983).

Повышение PO_2 , в свою очередь, требует усиления деятельности кислородтранспортной системы и, в частности, работы сердца, что, вероятно, и находит свое отражение в пульсовом «дрейфе». Действительно, скорости «дрейфа» ЧСС и PO_2 находятся в достоверной связи ($r=0,6$). Вместе с тем прирост ЧСС кажется непропорционально большим по отношению к малому увеличению PO_2 на протяжении работы постоянной мощности. Амплитуда пульсового «дрейфа» составляет больше 10 уд/мин, в то время как PO_2 увеличивается не более чем на 3—4% от МПК. С другой стороны, насколько можно судить о зависимости ЧСС от % МПК (по показателям на 10-й мин работы разной мощности), увеличению PO_2 на 3—4% МПК должно соответствовать повышение ЧСС не более чем на 5—6 уд/мин. Следовательно, «дрейф» ЧСС нельзя связать только с приростом PO_2 .

При определении самыми разными методами было установлено, что в процессе выполнения постоянных аэробных нагрузок минутный объем кровотока обычно не меняется, либо даже несколько снижается (В. Л. Карпман, Б. Г. Любина, 1982). Поэтому вторая и, по-видимому, основная причина пульсового «дрейфа» — это уменьшение систолического объема, которое компенсируется пропорциональным повышением ЧСС. С этой

точки зрения пульсовой «дрейф» есть следствие совокупности изменений, которые ведут к снижению систолического объема.

В ы в о д ы

1. Для оценки физиологической нагрузки по частоте сердечных сокращений при выполнении аэробной мышечной работы могут использоваться две группы пульсовых показателей: а) абсолютные (единица измерения — уд/мин) — абсолютная рабочая ЧСС ($ЧСС_p$) и абсолютный рабочий прирост ЧСС сверх ЧСС в покое ($ЧСС_{рп}$) и б) относительные (размерность — проценты) — относительная рабочая ЧСС ($ЧСС_p$ в % от индивидуальной максимальной ЧСС, т. е. % $ЧСС_{макс}$) и относительный рабочий прирост ЧСС ($ЧСС_{рп}$ в % от пульсового резерва, т. е. $ЧСС_{орп}$).

2. При выполнении работ одинаковой абсолютной аэробной мощности (с равной скоростью потребления кислорода) абсолютные и относительные пульсовые показатели значительно отличаются у групп спортсменов и неспортсменов, а в группе спортсменов у лиц с разными показателями максимального потребления кислорода (МПК), максимальной ЧСС ($ЧСС_{макс}$) и пульсового резерва ($ЧСС_{рз}$).

3. При работах одинаковой относительной аэробной мощности (с равным % от индивидуального МПК) различия в абсолютных показателях ЧСС ($ЧСС_p$ или $ЧСС_{рп}$) у спортсменов и неспортсменов практически полностью определяются индивидуальными величинами $ЧСС_{макс}$ или $ЧСС_{рз}$. При расчете % МПК по $ЧСС_p$ ($y=0,707 \cdot x-40,1$) или $ЧСС_{рп}$ ($y=0,714 \cdot x+7,5$) среднеквадратические отклонения от фактического составляют соответственно $\pm 7,0\%$ и $\pm 6,7\%$ МПК.

4. При выполнении работ равной относительной аэробной мощности относительные пульсовые показатели у спортсменов и неспортсменов с разными показателями $ЧСС_{нас}$ и $ЧСС_{рз}$ практически одинаковы. При расчете % МПК по % $ЧСС_{макс}$ ($y=1,474 \cdot x-48,7$) и $ЧСС_{орп}$ ($\% \text{ МПК} = ЧСС_{рп} \cdot ЧСС_{рз}^{-1} \times 100\%$) стандартные отклонения составляют соответственно $\pm 4,7\%$ и $\pm 4,5\%$ МПК.

5. В процессе мышечной работы постоянной аэробной мощности с уровнем потребления кислорода более 50% от индивидуального МПК после нескольких минут быстрого увеличения частоты сердечных сокращений («вработывания») происходит относительно медленное равномерное повышение ЧСС — пульсовой «дрейф», скорость и амплитуда которого находятся в прямой зависимости от интенсивности нагрузки.

6. При выполнении работ с одинаковой абсолютной нагрузкой (скоростью потребления кислорода) скорость и амплитуда пульсового «дрейфа» значительно выше у неспортсменов, чем у спортсменов. Однако в процессе равных относительных аэроб-

ных нагрузок (одинаковом % от МПК) среднegrupповые количественные характеристики пульсового «дрейфа» у людей с разной максимальной аэробной производительностью совпадают.

7. Скорость и амплитуда пульсового «дрейфа» находятся практически в прямолинейной связи с ЧСС, регистрируемой на 10-й мин нагрузки. При равной ЧСС на 10-й мин работы скорость пульсового «дрейфа» в среднем сходна у лиц с разным МПК (спортсменов и неспортсменов), а также при одинаковых субмаксимальных аэробных нагрузках с различным темпом педалирования (60 и 75 об/мин).

8. На протяжении первых 45—60 с восстановительного периода после работ большой аэробной мощности (более 55% МПК) уменьшение ЧСС примерно постоянно, не зависит от интенсивности работы и одинаково у людей с разной физической работоспособностью (МПК). В дальнейшем (на 2—10-й мин восстановления) снижение ЧСС находится в прямой зависимости от финальной рабочей ЧСС (мощности работы) и лишь несколько быстрее у спортсменов, чем у неспортсменов.

9. Наиболее высокая корреляционная связь между финальной рабочей ЧСС и ЧСС во время восстановления наблюдается в начальный послерабочий период (в пределах первых 30 с), далее эта связь ослабевает, причем тем быстрее и значительнее, чем выше мощность выполнявшейся работы (финальная рабочая ЧСС).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Сравнительную оценку относительной физиологической нагрузки при выполнении спортсменами или неспортсменами мышечной работы разной аэробной мощности, а также продолжительных физических упражнений целесообразно осуществлять по относительным показателям частоты сердечных сокращений — % ЧСС_{макс} (т. е. рабочей ЧСС, выраженной в процентах от индивидуальной максимальной ЧСС) или ЧСС_{ори} (т. е. рабочему приросту ЧСС сверх частоты пульса в покое, представленному в процентах от пульсового резерва данного человека), обладающих практически одинаковыми диагностическими возможностями, достоверно более высокими, нежели абсолютные пульсовые показатели — рабочая ЧСС и рабочий прирост ЧСС сверх уровня в покое.

Пульсовую оценку физиологической нагрузки по ЧСС, регистрируемой в период восстановления (после работ преимущественно аэробного характера), следует осуществлять по данным, определенным в первые 10—20 с восстановления.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Алексеев В. М. Динамика частоты сердечных сокращений в процессе выполнения работ разной мощности спортсменами и нетренированными лицами. — В кн.: Всемирный научный конгресс «Спорт в современном обществе». — М., 1980 с. 98—99.
2. Алексеев В. М., Коц Я. М. Пульсовая оценка относительной физиологической напряженности аэробной мышечной работы. — Физиология человека, 1981, № 4, с. 728—736.
3. Алексеев В. М. Динамика восстановления частоты сердечных сокращений после работ разной аэробной мощности. — Теория и практика физической культуры, 1981, № 7, с. 24—26.
4. Алексеев В. М. Физиологическая оценка напряженности мышечной работы по абсолютным и относительным пульсовым показателям. — В кн.: Физиологические факторы, определяющие и лимитирующие спортивную работоспособность. — М., 1982, с. 7—8.
5. Алексеев В. М., Коц Я. М. Изменения в частоте сердечных сокращений (пульсовой «дрейф») на протяжении работы постоянной аэробной мощности у спортсменов и неспортсменов. — Физиология человека, 1983, № 2, с. 316—322.
6. Алексеев В. М. Пульсовая оценка спортивных нагрузок. (Методические разработки для студентов и слушателей факультета повышения квалификации). — М., ГЦОЛИФК, 1983, 48 с.