

*В.Л. Карпман
З.Б. Белоцерковский
И.А. Гудков*

*Исследование
физической
работоспособности
у спортсменов*



*В.Л. Карпман
З.Б. Белоцерковский
И.А. Гудков*

*Исследование
физической
работоспособности
у спортсменов*

КАФ. ТІМОПС
З КНИГ Ф.Ф. СТРИЖОВОЇ

Москва
«Физкультура и спорт»
1974



7А.06
К 26

Карпман В. Л. и др.

К 26 Исследование физической работоспособности у спортсменов. М., «Физкультура и спорт», 1974.

96 с. с ил.

Перед загл. авт.: В. Л. Карпман, Э. Б. Белоцерковский, И. А. Гудков.

Эта монография посвящена проблеме исследования физической работоспособности у спортсменов различной специализации. Особое внимание авторы уделяют методике определения физической работоспособности по тесту PWC_{170} и трактовке получаемых результатов в практике работы спортивного врача и тренера.

В книге рассматриваются и некоторые теоретические аспекты взаимосвязи физической работоспособности человека с функционированием систем кровообращения и дыхания при мышечной деятельности.

Рассчитана книга на спортивных врачей, физиологов, тренеров и преподавателей физического воспитания.

К $\frac{0691-038}{009(01)-74}$ 38-74

7 А.06

© Издательство «Физкультура и спорт», 1974 г.

Предисловие

В современном спорте управление тренировочным процессом становится делом все более сложным, требующим наряду с прочим объективной срочной информации о физической работоспособности и подготовленности спортсмена. Изучение физической работоспособности человека и оценка ее является достаточно трудоемким процессом, требующим определенной подготовки исследователя (будь то врач или тренер), знания им теоретических основ применяемых тестов и умения правильно трактовать полученные данные.

В последние годы в практике мирового спорта все шире применяются некоторые количественные тесты, изучающие те или иные проявления деятельного состояния человеческого организма непосредственно в условиях мышечной работы. При этом различают «максимальные» (например, определение МПК) и «субмаксимальные» тесты (К. Lange Andersen, 1971). Последние являются наиболее приемлемыми для текущей континуальной оценки физической работоспособности спортсменов в подготовительном и соревновательном тренировочных периодах.

Среди «субмаксимальных» функциональных проб весьма перспективным является тест PWC_{170} , рекомендованный Комитетом по физической культуре и спорту при Совете Министров СССР и Министерством здравоохранения СССР для углубленного медико-биологического обследования квалифицированных спортсменов. Применение теста PWC_{170} рекомендовано также секцией по изучению адаптивности человека (НА-ИВР) Международной Биологической Программы (ИВР — International Biological Programme), в которой активное участие принимает Советский Союз.

Исследование физической работоспособности спортсменов все шире внедряется в практику работы спортив-

ных врачей. Достаточно высокая информативность теста PWC_{170} , его методическая простота способствует тому, что пробу начали применять не только врачи, но и тренеры. Она включена также в программу курса «Спортивная медицина», читаемого в институтах физической культуры. В связи со всем этим назрела необходимость в унификации методики проведения теста, разработке нормальных стандартов для оценки результатов тестирования физической работоспособности у представителей различных видов спорта и теоретическом обосновании пробы. Именно этому кругу вопросов и посвящена настоящая книга, которая основывается на результатах систематического изучения физической работоспособности у спортсменов начиная с 1966 г. в лаборатории спортивной кардиологии и на кафедре спортивной медицины ГЦОЛИФК. За этот период выполнен также ряд специальных исследований, позволивших усовершенствовать методику определения физической работоспособности и способствовавших клинико-физиологическому обоснованию ряда принципиальных положений обсуждаемой проблемы.

К настоящему времени разработаны стандарты и нормативы, необходимые для оценки индивидуальных результатов тестирования физической работоспособности. Эти стандарты основаны на данных обследования почти тысячи спортсменов, у большинства из которых синхронно изучались важнейшие показатели производительности кардио-респираторной системы (минутный объем кровотока, потребление кислорода и т. д.). Благодаря этому оценка результатов тестирования физической работоспособности была физиологически детерминированной.

Подготовка настоящего издания стала возможной благодаря активной помощи сотрудников лаборатории спортивной кардиологии и аспирантов кафедры спортивной медицины ГЦОЛИФК. Авторы считают своим долгом поблагодарить за помощь Ю. А. Борисову, Г. А. Койдинову, Б. Г. Любину, Р. А. Меркулову, А. Ф. Снякова, С. В. Степанову и В. Л. Уткина.

Глава I. Теоретические основы тестирования физической работоспособности

Физическая работоспособность является специальным понятием спортивной медицины и физиологии спорта. Физическая работоспособность изучается также и во многих других областях прикладной физиологии и медицины; в последние годы исследование ее все шире начинает внедряться в клиническую медицину.

Несмотря на весьма широкое использование термина «физическая работоспособность», общепринятого, теоретически и практически обоснованного определения ему пока еще не дано. В общем виде величина физической работоспособности прямо пропорциональна количеству внешней механической работы, которую человек способен выполнить с высокой интенсивностью. Физическая работоспособность определенным образом связана с выносливостью, но не идентична ей (физическая работоспособность — более широкое физиологическое понятие) *.

Оценка физической работоспособности может быть дана с помощью различных методических приемов. Так, например, результаты определения максимального потребления кислорода позволяют надежно судить о физической работоспособности человека. Именно поэтому Международная Биологическая Программа рекомендует для суждения о физической работоспособности использовать информацию о величине аэробной производительности (К. М. Смирнов, 1970).

Grosse-Lordemann и Müller (1936) показали, что между мощностью мышечной работы (N) и временем ее выполнения (t) имеется зависимость ** следующего вида:

* «Теория и практика физической культуры», 1972, № 8.

** Аналогичные зависимости для описания взаимосвязей между длительностью работы и скоростью перемещения были получены Шп (1925), В. С. Фарфелем (1945) и др.

$$\lg t = a \lg N + b. \quad (1)$$

Основываясь на этом, Tognvall (1963) предложил определять максимальную физическую работоспособность для 6 мин. педалирования на велоэргометре с помощью специально разработанной номограммы.

Физическая работоспособность может быть охарактеризована длительностью работы до отказа при заданной скорости бега (мощности нагрузки).

Однако наиболее широкое распространение получило биологическое тестирование физической работоспособности по частоте сердечных сокращений. Это объясняется в первую очередь тем, что частота сердечных сокращений является легко регистрируемым физиологическим параметром. Не менее важно и то, что она линейно связана с мощностью внешней механической работы (Sjöstrand, 1947; Wahlund, 1948, и др.), с одной стороны, и количеством потребляемого при нагрузке кислорода (P.-O. Åstrand, 1952, и др.) — с другой.

Анализ литературы, посвященной проблеме определения физической работоспособности по частоте сердечных сокращений, позволяет говорить о следующих двух методических подходах. Первый, наиболее простой, заключается в измерении частоты сердечных сокращений при выполнении физической работы какой-то определенной мощности. Так, например, Seliger (1970) предлагает нагрузку, равную 900 кгм/мин, Åstrand — 1200 кгм/мин. Идея тестирования физической работоспособности в данном случае состоит в том, что выраженность хронотропной реакции сердца обратно пропорциональна физической подготовленности человека, то есть, чем чаще сердечный ритм при нагрузке такой мощности, тем ниже работоспособность человека, и наоборот. Второй подход состоит в определении той мощности мышечной работы, которая необходима для повышения частоты сердечных сокращений до определенной величины. Такой подход является наиболее перспективным. Вместе с тем он технически более сложен и требует серьезного физиологического обоснования.

Физическая работоспособность при пульсе 170 уд/мин (тест PWC_{170})

Функциональную пробу, в основе которой лежит определение мощности мышечной работы при частоте сердечных сокращений, равной 170 уд/мин, связывают с именами скандинавских ученых Sjöstrand и Wahlund. Ее обозначают как пробу Sjöstrand или как пробу Sjöstrand — Wahlund, или как пробу Каролинского университета (Tornvall, 1963). Более широкое распространение получило обозначение этой пробы в виде индекса PWC_{170} (от первых букв английского термина физической работоспособности — Physical Working Capacity). Таким образом, этот индекс расшифровывается как физическая работоспособность при пульсе 170 уд/мин. Возможный русский эквивалент этого индекса — ФР₁₇₀*.

Проба PWC_{170} получила распространение лишь в 60-х годах, хотя исходные работы Sjöstrand и Wahlund были выполнены соответственно в 1947 и 1948 гг. В последние годы интерес к тесту возрос во всех странах с развитой спортивной медициной и физиологией спорта.

Теоретические основы теста PWC_{170} базируются на ряде важных закономерностей физиологии спорта. Это касается как выбора частоты пульса 170 уд/мин, так и техники расчета PWC_{170} .

Многочисленные исследования физиологов спорта показали, что существует определенная зона оптимального функционирования сердечно-сосудистой и респираторной систем. Если рассматривать работу сердца, и в частности автоматическую активность синоатриального узла, в условиях, близких к максимальному потреблению кислорода, то оказывается, что длительность сердечного цикла колеблется примерно в пределах 0,35—0,3 сек., т. е. частота сердечных сокращений достигает 170—200 уд/мин.

Таким образом, можно считать, что частота сердечных сокращений, равная 170 уд/мин, характеризует собой начало зоны оптимального функционирования кардио-респираторной системы при нагрузке. Почему же, однако, для пробы PWC_{170} выбрана частота сердечных сокраще-

* Некоторые авторы обозначают PWC_{170} как \dot{W}_{170} (К. Lange Andersen и др., 1971).

ний, соответствующая началу оптимальной зоны, а не ее середине (например, 180 или 190 уд/мин)? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть взаимозависимость между частотой сердечных сокращений (f) и мощностью мышечной работы (N). На рис. 1 показана эта зависимость

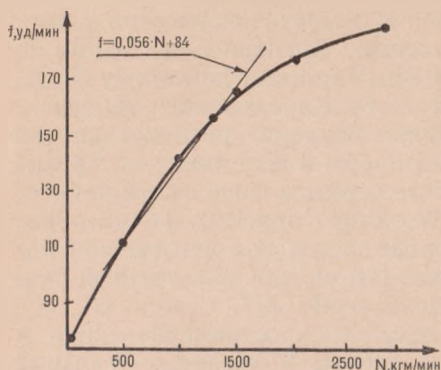


Рис. 1. Зависимость частоты сердечных сокращений (f) от мощности мышечной работы (N)

в диапазоне изменения мощности работы от 50 до 3000 кгм/мин по результатам исследования 356 спортсменов-мужчин различной специализации в возрасте от 18 до 30 лет. Как следует из приведенных данных, зависимость имеет, в общем, квазилинейный характер. Чем больше мощность работы, тем меньше прирост частоты сердечных сокращений, так как

синоатриальный узел исчерпывает свои возможности генерировать импульсы все чаще. Здесь мы сталкиваемся с проблемой максимизации (лимитации) функций.

Вместе с тем детальный анализ представленных на рис. 1 данных показывает, что в довольно большой зоне мощностей взаимоотношения между f и N весьма близки к линейным. Они удовлетворительно аппроксимируются следующим линейным уравнением:

$$f = 0,056N + 84. \quad (2)$$

Таким образом, эти данные, в общем, подтверждают данные Sjöstrand (1947) и Wahlund (1948), обративших внимание на линейный характер зависимости f от N в довольно большом диапазоне мощностей.

Как показано на рис. 1, линейный участок кривой $f(N)$ заканчивается при частотах, близких к 170 уд/мин. Этот важный факт и объясняет, почему именно эта частота сердечных сокращений, а не более высокая (180 или 190 уд/мин) выбрана при пробе PWC_{170} . Дело в том, что

частота сердечных сокращений при расчете физической работоспособности экстраполируется по двум нагрузкам, при которых она относительно невелика. Совершенно очевидно, что линейная экстраполяция при частоте пульса более 170 уд/мин, когда выявляется отчетливая нелинейность между f и N , будет недостаточно точной.

Подытоживая сказанное, можно заключить, что частота сердечных сокращений, равная 170 уд/мин, выбрана для пробы PWC_{170} на том основании, что с физиологической точки зрения она характеризует собой начало оптимальной зоны функционирования кардио-респираторной системы, а с методической — начало выраженной нелинейности на кривой зависимости частоты сердечных сокращений от мощности мышечной работы.

Кардио-респираторная система при пульсе 170 уд/мин

Основными показателями работы кардио-респираторной системы являются потребление кислорода, легочная и альвеолярная вентиляция, сердечный выброс, фазовый анализ сердечного цикла. Для физиологической характеристики уровня функционирования кардио-респираторной системы при частоте сердечных сокращений 170 уд/мин было произведено несколько серий исследований, в которых эти показатели регистрировались в условиях физической нагрузки при фиксированном пульсе, равном 170 уд/мин.

Последнее достигалось с помощью автокардиолидера (В. М. Зациорский и др., 1968), сделанного по схеме В. Л. Уткина, В. Д. Чепика и В. Я. Полякова (1971) и имеющего сравнивающее устройство (СУ), в которое поступает информация о частоте сердечных сокращений у испытуемого и частоте сердечных сокращений, запрограммированной экспериментатором. В случае несовпадения этих частот в СУ возникает сигнал рассогласования, в соответствии с которым испытуемый изменяет интенсивность педалирования на велоэргометре, то есть мощность работы. Как следствие меняется и частота сердечных сокращений. В результате непродолжительного «поиска» она становится соответствующей запрограммированной.

Как только частота сердечных сокращений надежно «входила в программу», у испытуемых измерялись основные показатели кровообращения и дыхания.

Потребление кислорода. Газовый анализ выдыхаемого воздуха проводился по Дугласу — Холдену. После достижения устойчивого состояния (примерно через 6 мин. после начала работы) в течение 30 сек. выдыхаемый воздух собирался в мешок Дугласа. Содержание кислорода в нем определялось на аппарате Холдена. Полученные величины объемов потребленного кислорода приводились к сопоставимым условиям (*STPD*).

Было обследовано 32 спортсмена в возрасте от 17 до 26 лет, имеющих вес от 62 до 85 кг: 2 спортсмена второго разряда, семь перворазрядников, 2 кандидата в мастера спорта и 20 мастеров спорта СССР. 13 спортсменов (I группа) развивали преимущественно скоростно-силовые качества, 19 спортсменов (II группа) тренировались в основном «на выносливость».

Как следует из результатов исследований (табл. 1), величина потребленного кислорода при пульсе 170 уд/мин составляла 3,6 л/мин. Расчеты показали, что максимальное потребление кислорода для данного контингента спортсменов в среднем должно быть 4,8 л/мин, то есть реальное потребление O_2 в этих условиях составляет лишь 75% от среднего максимума.

Таблица 1

Некоторые показатели газообмена у спортсменов при частоте сердечных сокращений, равной 170 уд/мин (средние данные)

Показатели	Все испытуемые $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены I группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены II группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$
Потребление кислорода в л/мин	3,6±0,169	2,9±0,127	4,0±0,077
Потребление кислорода в % от максимального . . .	75,4±1,8	76±1,9	75±1,7
Дыхательный коэффициент	0,934±0,018	0,94±0,020	0,93±0,016
Кислородный пульс в мл/уд	21,0±0,82	19,1±0,88	23,5±0,76
Средняя мощность педалирования в кгм/мин	1340	990	1575

Довольно высоких значений достигает и кислородный пульс. Дыхательный же коэффициент сравнительно невелик.

У спортсменов, развивающих разные физические качества, отмечается различная напряженность газообмена. Так, у тренирующихся «на выносливость» при пульсе 170 уд/мин газообмен относительно увеличен. Обращает на себя внимание и тот факт, что для достижения частоты сердечных сокращений, равной 170 уд/мин, эти спортсмены выполняют значительно большую работу на велоэргометре, чем развивающие скоростно-силовые качества.

Здесь целесообразно привести данные (Г. А. Койдинова и А. Ф. Синяков) о достоверности линейной экстраполяции величины потребления кислорода при пульсе 170 уд/мин по данным двух измерений \dot{V}_{O_2} в процессе работы малой интенсивности. Экстраполируемая величина \dot{V}_{O_2} [170] может быть рассчитана по формуле:

$$\dot{V}_{O_2}[170] = \dot{V}_{O_2}(1) + \left(\dot{V}_{O_2}(2) - \dot{V}_{O_2}(1) \right) \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}, \quad (3)$$

где $\dot{V}_{O_2}(1)$ — потребление кислорода при 1-й нагрузке,

$\dot{V}_{O_2}(2)$ — потребление кислорода при 2-й нагрузке,
 f_1 и f_2 — соответственно частоты пульса.

Судя по средним данным, величины потребленного кислорода при пульсе 170 уд/мин, полученные экспериментальным и расчетным путем, довольно близки. Так, у семи спортсменов потребление кислорода в среднем составило $3,04 \pm 0,39$ л/мин. При расчете у них этой величины по приведенной выше формуле \dot{V}_{O_2} оказалось равным $3,02 \pm 0,59$ л/мин.

Легочная и альвеолярная вентиляция. Двадцать три спортсмена (перворазрядники и мастера спорта) выполняли мышечную работу на велоэргометре, вызывающую частоту сердечных сокращений, равную 170 уд/мин. Спортсмены I группы, развивающие преимущественно скоростно-силовые качества, выполняли работу мощностью от 700 до 1300 кгм/мин, спортсмены II группы, тренирующиеся «на выносливость», — работу мощностью от 1000 до 1700 кгм/мин.

Испытуемые дышали через загубник. Легочная и альвеолярная вентиляция определялась в положении сидя на

велоэргометре на 5—6-й мин. работы. Альвеолярная вентиляция рассчитывалась по формуле:

$$\dot{V}_A = \frac{0,863 \cdot \dot{V}_{CO_2}}{P_{ACO_2}}, \quad (4)$$

где \dot{V}_A — альвеолярная вентиляция (л/мин) в системе *BTPS*,

\dot{V}_{CO_2} — выделенная углекислота (мл/мин) в системе *STPD*,

P_{ACO_2} — парциальное давление углекислого газа в альвеолярном воздухе (мм Hg),

0,863 — коэффициент перевода в систему *BTPS*.

Как видно из табл. 2, работа, вызывающая частоту сердечных сокращений, равную 170 уд/мин, сопровождалась значительным увеличением легочной и альвеолярной вентиляции, причем в большей степени у спортсменов II группы. Это объясняется большей частотой и глубиной дыхания у них, что связано, по-видимому, с тем, что они тренируют преимущественно такое физическое качество, как выносливость.

Таблица 2

Некоторые показатели внешнего дыхания у спортсменов при частоте сердечных сокращений, равной 170 уд/мин (средние данные)

Показатели	Все испытуемые $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены I группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены II группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$
Легочная вентиляция в л/мин	88,3±4,8	78,6±3,3	99,0±4,2
Альвеолярная вентиляция в л/мин	67,4±3,6	57,5±2,1	78,3±4,2
Частота дыханий в 1 мин.	38,6±2,1	35,4±1,8	42,0±3,7
Дыхательный объем в мл	2379±128,6	2270±157,4	2497±178,5
Мощность работы в кгм/мин	1113±60,0	954±54,6	1377±68,4

Сердечный выброс. Минутный объем кровообращения (\dot{Q}) определялся по методу возвратного дыхания CO_2 . Было обследовано 23 спортсмена, разделенные на

2 группы: занимающиеся скоростно-силовыми видами спорта и занимающиеся видами спорта «на выносливость».

Таблица 3

Минутный и систолический объем крови у спортсменов при частоте сердечных сокращений, равной 170 уд/мин (средние данные)

Показатели	Все испытуемые $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены I группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены II группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$
Минутный объем кровотока в л/мин	20,5 ± 0,47	19,7 ± 0,57	21,9 ± 0,87
Минутный объем кровотока в % к его величине при максимальном потреблении кислорода	78,3 ± 1,22	79,7 ± 2,39	77,0 ± 0,95
Систолический объем крови в мл	122,2 ± 2,52	115,8 ± 3,36	129,0 ± 4,98

Как следует из данных, приведенных в табл. 3, при пульсе 170 уд/мин минутный объем кровотока существенно увеличивается: почти до 80% от оптимального \dot{Q} . Для расчета последнего величины максимального потребления кислорода подставлялись в уравнение:

$$\dot{Q} = 5,6 \cdot \dot{V}_{O_2} + 3,6, \quad (5)$$

где \dot{Q} — минутный объем кровотока в л/мин,

\dot{V}_{O_2} — потребление кислорода в л/мин (В. Л. Карпман, Б. Г. Любина, Р. А. Меркулова).

Максимальное значение минутного объема кровотока, зарегистрированное при частоте сердечных сокращений 170 уд/мин, было 27 л/мин, а минимальное — 16,4 л/мин.

Систолический объем крови при пульсе 170 уд/мин возрастал вдвое. У спортсменов II группы отмечены более высокие показатели систолического объема крови. Наибольший систолический объем крови у них был 155 мл.

Фазовый анализ сердечного цикла. Было обследовано 34 высококвалифицированных спортсмена в возрасте от 17 до 28 лет с уже описанным подразделением на группы.

В устойчивом состоянии (примерно через 6 мин. после начала работы) синхронно регистрировались электрокардиограмма, фонокардиограмма и сфигмограмма сонной артерии, на основании которых производился фазовый анализ сердечной деятельности.

Таблица 4

Длительность фаз сердечного цикла (в сек.) при частоте сердечных сокращений, равной 170 уд/мин (средние данные)

Показатели	Все испытуемые $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены I группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Спортсмены II группы $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$
Асинхронное сокращение	0,055 ± 0,0024	0,054 ± 0,0026	0,056 ± 0,0033
Изометрическое сокращение	0*	0	0
Период изгнания Механическая систола	0,140 ± 0,0072	0,140 ± 0,0079	0,139 ± 0,0081
Время изгнания минутного объема крови в сек.	0,140 ± 0,0072	0,140 ± 0,0079	0,139 ± 0,0081
Скорость сердечного выброса в мл/сек	23,8 ± 1,78	23,8 ± 1,31	23,6 ± 1,17
	865 ± 109	830 ± 106	925 ± 122

* Современная поликардиография позволяет рассчитывать длительность фаз с точностью до 0,01 сек. Поэтому более короткие интервалы времени условно принимаются равными нулю. В действительности длительность фазы изометрического сокращения при нагрузке равна нескольким тысячным секунды.

Из данных, представленных в табл. 4, видно, что под влиянием мышечной работы, вызывающей учащение пульса до 170 уд/мин, наступают весьма значительные сдвиги в сердечной деятельности. Физическая работа при столь высокой частоте пульса характеризуется ярко выраженным фазовым синдромом гипердинамии миокарда (В. Л. Карпман, 1965): фаза изометрического сокращения укорачивается почти до нуля, период изгнания и механическая систола становятся равными всего 0,14 сек., внутрисистолический показатель возрастает до 100%;

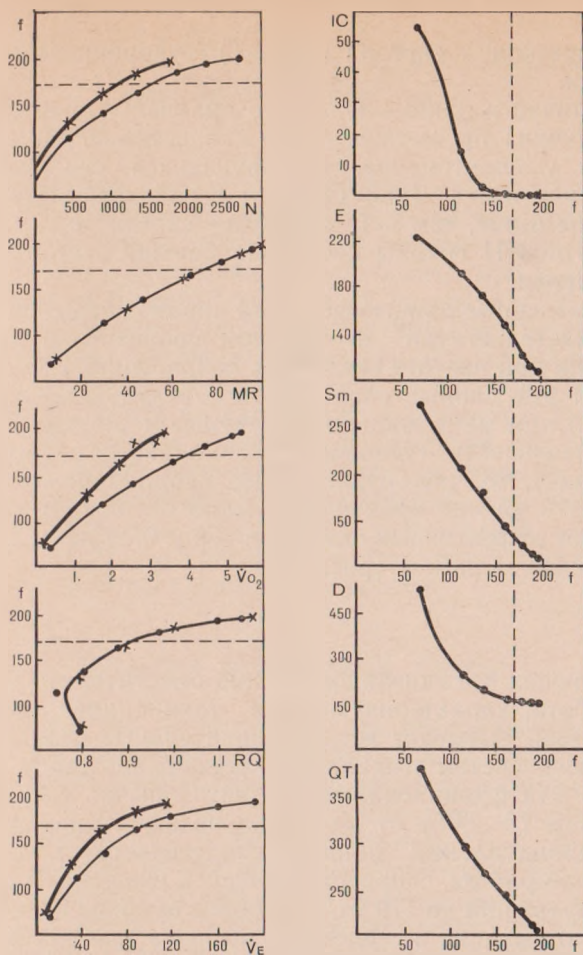


Рис. 2. Изменения некоторых физиологических показателей при различной частоте сердечных сокращений (f) в условиях мышечной работы определенной мощности (N) у конькобежцев высокой квалификации (... — мужчины; xxxx — женщины): MR — аэробный обмен в % от максимального потребления кислорода; $\dot{V}O_2$ — потребление кислорода (л/мин, $STPD$); RQ — дыхательный коэффициент; $\dot{V}E$ — легочная вентиляция (л/мин, $BTPS$); IC — длительность фазы изометрического сокращения (мсек.); E — длительность периода изгнания (мсек.); S_m — длительность механической систолы (мсек.); D — длительность диастолы (мсек.); QT — длительность электрической систолы (мсек.). Пунктирными линиями выделена частота пульса, равная 170 уд/мин

электрическая систола ($Q-T$) укорачивается до 0,229 сек.

Различий в данных фазового анализа у спортсменов, развивающих преимущественно скоростно-силовые качества, и у спортсменов, тренирующихся «на выносливость», почти нет. Лишь скорость сердечного выброса во II группе выше, чем в I. Этот факт связан с тем, что у спортсменов II группы несколько больше систолический объем крови.

Приведенные данные фазового анализа сердечного цикла свидетельствуют о высоком уровне сократимости миокарда при частоте сердечных сокращений 170 уд/мин.

Если эти данные сопоставить с результатами, полученными при максимально эффективном режиме сердечной деятельности (условия максимального потребления кислорода), то обнаружится, что кардиодинамика при пульсе 170 уд/мин практически мало отличается от максимально эффективных сдвигов в сердечной деятельности при мышечной работе (рис. 2).

* * *

Заклячая все сказанное, можно отметить, что мышечная работа, характеризующаяся тахикардией порядка 170 уд/мин, вызывает весьма значительные сдвиги в деятельности систем дыхания и кровообращения у спортсменов. Эти функциональные сдвиги обычно составляют в среднем 75—80% от максимально эффективных. Анализ индивидуальных данных свидетельствует, что при мышечной работе, сопровождающейся учащением сердечных сокращений до 170 уд/мин, более высокие показатели внешнего дыхания и сердечного выброса закономерно наблюдаются у тех спортсменов, которые эту работу выполняли с большей мощностью. Таким образом, определение физической работоспособности спортсмена путем расчета величины той мощности мышечной работы, которая вызывает учащение пульса до 170 уд/мин, является физиологически детерминированным.

Глава II. Методика проведения теста PWC_{170}

Определение физической работоспособности при помощи теста PWC_{170} основано в теоретическом аспекте на двух фактах, хорошо известных из физиологии мышечной деятельности: 1) учащение сердцебиения при мышечной работе прямо пропорционально ее интенсивности (мощности); 2) степень учащения сердцебиения при всякой (непредельной) физической нагрузке обратно пропорциональна способности испытуемого к выполнению мышечной работы данной интенсивности (мощности). Из этого следует, что частота сердечных сокращений при мышечной работе может быть использована в качестве надежного критерия физической работоспособности человека. Как уже говорилось, стандартной тахикардией, при которой целесообразно определять величину физической работоспособности, является 170 уд/мин.

Техника проведения пробы

Несмотря на значительное распространение теста PWC_{170} , пока еще нет общепринятой методики его проведения. Лишь в самое последнее время по этому вопросу появилось несколько методических сообщений (В. Л. Карпман, З. Б. Белоцерковский, Б. Г. Любина, 1969; Mocellin u. Rutenfranz, 1970; Placheta и др., 1971).

В Каролинском университете, в Стокгольме, где тест PWC_{170} был внедрен в практику, он проводится следующим образом. Испытуемый выполняет на велоэргометре непрерывную работу с повышающейся через каждые 6 мин. (ступенчато) мощностью. На каждом уровне мощности, на последней минуте, определяется частота пульса. Далее, в системе прямоугольных координат откладываются точки, соответствующие частотам сердечных сокращений при работе разной мощности. Через эти точки проводится прямая линия до пересечения ее с другой линией, соответствующей частоте сердечных сокращений 170 уд/мин. Из полученной таким образом точки опускается перпендикуляр на ось абсцисс, где и определя-

ется та мощность мышечной работы, которая повышает пульс до 170 уд/мин.

Такая методика определения PWC_{170} громоздка и требует довольно много времени, так как испытуемый обычно должен выполнить физическую работу в течение 20—30 мин. Кроме того, неудобства этого метода усугубляет графический способ расчета величины PWC_{170} , который к тому же не вполне точен.

Rutenfranz (1964) предложил специальную формулу, позволяющую рассчитывать величину PWC_{170} , не прибегая к графической экстраполяции:

$$PWC_{170} = L + 60 \frac{170 - f}{a}, \quad (6)$$

где

L — нагрузка,

f — соответствующая частота пульса,

a — коэффициент регрессии для зависимости между частотой пульса и мощностью нагрузки.

Эта формула не вполне удобна в практической работе.

В кардиологической лаборатории ГЦОЛИФК методика определения PWC_{170} была модифицирована с целью сделать процедуру тестирования более простой и доступной. По этой методике испытуемому предлагается последовательно выполнить на велоэргометре лишь две нагрузки умеренной интенсивности (например, 500 и 1000 кгм/мин с частотой вращения педалей, равной 60—75 об/мин), разделенные трехминутным интервалом отдыха. Каждая нагрузка продолжается 5 мин., в конце ее в течение 30 сек. сосчитывается аускультативным методом (стетофонендоскопом) частота сердечных сокращений или регистрируется электрокардиограмма. В последнем случае частота сердцебиения рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{60}{\bar{C}}, \quad (7)$$

где

\bar{C} — средняя длительность сердечного цикла (для совокупности из 10—15 последовательных интервалов $R-R$ электрокардиограммы),

f — частота пульса в 1 мин.

Наиболее рационально расчеты PWC_{170} вести не графическим способом (рис. 3), а путем подстановки экспериментальных значений частоты пульса и мощности работы в формулу, предложенную В. Л. Карпманом, З. Б. Белоцерковским и Б. Г. Любиной (1969). Приводим вывод этой формулы.

Уравнение прямой $a-b$ на рис. 3 можно записать следующим образом:

$$f = kN + p, \quad (8)$$

где k и p — постоянные.

Для упрощения расчетов можно принять, что начало координаты N будет в точке N_1 (рис. 3), тогда $p = f_1$ и формула приобретает следующий вид:

$$f = k(N - N_1) + f_1.$$

Угловым коэффициентом k равен отношению $\frac{f_2 - f_1}{N_2 - N_1}$; поэтому

$$f = \frac{f_2 - f_1}{N_2 - N_1} (N - N_1) + f_1. \quad (9)$$

Для точки 3 на рис. 3 $f = 170$ и $N = PWC_{170}$. Подставим эти величины в уравнение (9) и, решив его относительно PWC_{170} , получим:

$$PWC_{170} = N_1 + (N_2 - N_1) \left(\frac{170 - f_1}{f_2 - f_1} \right). \quad (10)$$

Это уравнение позволяет просто найти величину PWC_{170} , если известны мощность первой (N_1) и второй (N_2) нагрузок и пульс в конце первой (f_1) и второй (f_2) нагрузок.

Клинико-физиологическую оценку физической работоспособности можно получить путем ана-

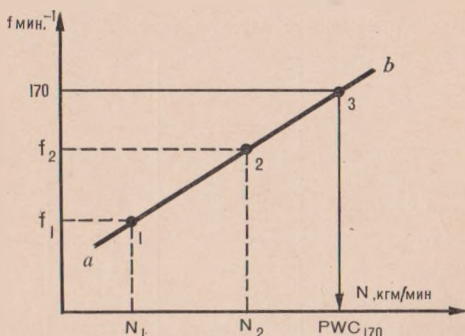


Рис. 3. График, иллюстрирующий определение PWC_{170}

лиза индивидуальной динамики PWC_{170} и сравнения ее с нормальными значениями PWC_{170} для той или иной категории физически подготовленных лиц. Очевидно, что чем больше PWC_{170} , тем большую механическую работу может выполнить человек при оптимальном функционировании системы кровообращения. Следовательно, чем больше PWC_{170} , тем выше физическая работоспособность.

В связи с изложенным представляется целесообразным рекомендовать следующий порядок проведения пробы PWC_{170} :

1. Изучение медицинского и спортивного анамнеза испытуемого, антропометрические измерения и (при необходимости) прочие исследования в статических условиях. Подготовка аппаратуры (велозергометра, электрокардиографа) к работе.

2. Определение у испытуемого частоты пульса в условиях мышечного покоя (в положении сидя).

3. Первая нагрузка (N_1). Продолжительность ее — 5 мин.; мощность работы подбирается в соответствии с табл. 5; частота педалирования 60—75 об/мин.

4. Определение частоты сердечных сокращений при первой нагрузке (f_1) в течение последних 30 сек. работы.

5. Трехминутная пауза (отдых) между первой и второй нагрузками.

Таблица 5

Ориентировочные значения мощности мышечной работы, рекомендуемые для определения PWC_{170} у спортсменов

Предполагаемая величина PWC_{170} в кгм/мин	Мощность работы при первой нагрузке в кгм/мин	Мощность работы при второй нагрузке в кгм/мин				
		Частота сердечных сокращений при N_1				
		80—89 уд/мин	90—99 уд/мин	100—109 уд/мин	110—119 уд/мин	120—129 уд/мин
До 1000	400	1100	1000	900	800	700
1000—1500	500	1300	1200	1100	1000	900
Более 1500	600	1500	1400	1300	1100	1000

6. Вторая нагрузка (N_2). Мощность работы определяется по табл. 5; продолжительность работы и частота педальирования те же, что и для первой нагрузки.

7. Определение частоты пульса при второй нагрузке (f_2) проводится так же, как и при первой.

8. Расчеты индивидуальной величины PWC_{170} путем подстановки экспериментальных значений N_1 , N_2 , f_1 и f_2 в формулу (10).

Воспроизводимость результата пробы

Определение индивидуального значения PWC_{170} путем линейной экстраполяции по двум экспериментальным точкам будет достаточно надежным только в случае линейности связи «частота пульса — мощность работы». С целью проверки надежности расчета PWC_{170} по двум парам значений частоты пульса и мощности работы было проведено специальное исследование.

Испытуемыми являлись 23 спортсмена — представители различных видов спорта. Индивидуальные величины PWC_{170} у них распределялись в широком диапазоне значений физической работоспособности: от 710 кгм/мин до 2180 кгм/мин. Все спортсмены выполняли по 3 нагрузки на велоэргометре продолжительностью 5 мин. каждая. По первым двум нагрузкам (N_1 и N_2) у них рассчитывалась величина PWC_{170} по уже описанной методике. В качестве третьей нагрузки (N_3) использовалась работа по возможности такой же мощности, что и величина рассчитанной PWC_{170} . Между второй и третьей нагрузками спортсмены отдыхали не менее 30 мин. Полученные данные позволяли оценить надежность расчета PWC_{170} по двум экспериментальным точкам. Для этого фактические значения частоты пульса при третьей нагрузке (f_3) сравнивались с частотой 170 уд/мин (табл. 6).

Как видно из таблицы, идеальное совпадение очень редко. Однако практика показывает, что в биологии идеальные совпадения предсказанного и наблюдаемого являются скорее исключением, чем правилом. Поэтому принято считать вполне надежными такие расчеты, когда разница между ожидаемыми и полученными результатами не превышает ± 10 —15%. В соответствии с этим следует признать воспроизводимость пульса 170 в данном

Материалы по воспроизводимости величины PWC_{170} у спортсменов

Испытуемые	N_1 кгм/мин	f_1 уд/мин	N_2 кгм/мин	f_2 уд/мин	PWC_{170}	N_3 кгм/мин	f_3 уд/мин	Отклонения f_3 от пульса 170 уд/мин в %
Ш. Т.	300	104	700	172	690	700	168	—1
Д. Н.	300	94	700	156	790	800	169	<—1
Л. А.	400	112	800	167	820	800	168	—1
С. А.	400	118	850	165	900	900	169	<—1
К. В.	400	120	800	154	990	1000	172	+1
Г. Ю.	600	137	1000	170	1000	1000	168	—1
Б. В.	400	91	900	154	1030	1050	167	<—2
П. Ю.	400	102	1000	160	1105	1100	170	0
Ж. А.	600	126	1110	168	1120	1100	166	—2
Н. В.	600	127	1100	167	1140	1150	170	0
К. В.	400	94	900	141	1210	1200	172	+1
Т. В.	400	115	800	142	1250	1200	169	<—1
Б. В.	400	97	800	131	1255	1250	161	—5
В. Ю.	600	106	1300	173	1270	1250	175	+3
В. А.	400	102	900	140	1295	1300	173	+2
Б. М.	600	106	1200	160	1310	1300	164	—4
М. Н.	600	104	1300	159	1440	1450	171	<+1
С. С.	400	93	900	129	1470	1450	158	—7
И. В.	400	98	950	136	1445	1450	177	+4
В. В.	400	95	1200	148	1530	1550	179	+5
С. Е.	600	105	1300	153	1550	1550	175	+3
А. В.	600	92	1300	143	1670	1650	169	<—1
А. Н.	600	79	1500	140	1940	1950	159	—6

эксперименте достаточно надежной, так как у 21 испытуемого (91% от общего числа) различия между действительной частотой сердцебиений и ожидаемой не превышают $\pm 5\%$, а у двух составляют 6 и 7%.

Индивидуальный анализ невоспроизводимости пульса у отдельных испытуемых показал, что главными причинами ее могут быть: а) несоответствие мощности работы при третьей нагрузке (N_3) величине PWC_{170} ; б) малая интенсивность второй нагрузки; в) небольшая разница в мощности работы при первой и второй нагрузках.

Методические ограничения пробы

Определение физической работоспособности путем расчета PWC_{170} будет давать надежные результаты лишь при выполнении некоторых условий.

Разминка. В спортивной практике выполнению какого-либо упражнения обычно предшествует разминка. Некоторые спортсмены и при проведении различных исследований разминаются перед любой нагрузкой, даже если она и не требует большого физического напряжения. В отдельных исследованиях (как, например, при определении максимума потребления кислорода) предварительная разминка считается даже обязательной (Åstrand, 1952). Все это сделало необходимым специальное исследование вопроса о влиянии разминки на результаты теста PWC_{170} . Для этого у 17 спортсменов — представителей разных видов спорта — PWC_{170} определяли дважды: с предварительной разминкой и без нее. Разминка имитировала ту, которую выполняют испытуемые перед определением максимального потребления кислорода, и состояла из работы на велоэргометре продолжительностью 10—20 мин., с интенсивностью, не превышавшей, как правило, 50% от индивидуального максимума аэробных возможностей. Поскольку все испытуемые были хорошо знакомы с практикой определения максимального потребления кислорода, они сами подбирали индивидуальные значения параметров нагрузки для разминки (продолжительность, мощность, частота педалирования).

Полученные в ходе исследования данные представлены на рис. 4. Они показывают, что разминка перед проведением теста PWC_{170} может существенным образом исказить его результаты и привести к недооценке физической работоспособности обследуемого. Средняя величина выявившейся систематической ошибки составляет 8%, а у отдельных испытуемых она достигает 15—20%.

Снижение величины PWC_{170} у спортсменов после предварительной разминки свидетельствует о повышении реактивности аппарата кровообращения. В этом как раз и заключается физиологический смысл разминки перед напряженной мышечной работой: повысить мобилизационную готовность вегетативных систем организма.

Таким образом, для стандартизации данных о физической работоспособности по тесту PWC_{170} эта проба

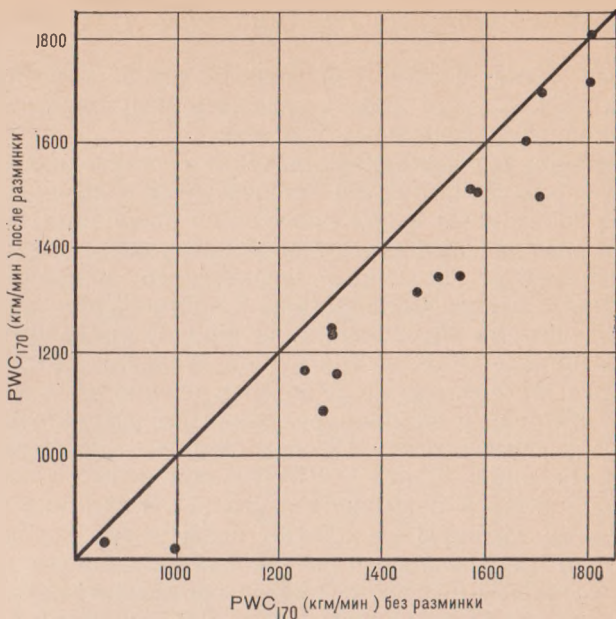


Рис. 4. Влияние предварительной разминки на результаты теста PWC_{170}

должна выполняться без предварительной разминки испытуемых.

Мощность работы при первой и второй нагрузках. Специально проведенный анализ показал, что на результаты пробы PWC_{170} оказывает существенное влияние мощность работы при велоэргометрических нагрузках. Если разница между величинами первой и второй нагрузок небольшая, точность определения PWC_{170} у данного испытуемого понижается. Главным образом это происходит в связи с тем, что система регулирования аппарата кровообращения не способна точно дифференцировать мало различающиеся по мощности возмущения.

Таким образом, в практике проведения PWC_{170} вторая нагрузка должна существенно отличаться по мощности работы от первой. Опыт дает основание рекомендовать следующие значения мощности работы, обеспечивающие надежное определение PWC_{170} (см. табл. 5).

Критерием того, что индивидуальные значения интен-

величины первой и второй нагрузок подобраны правильно, может служить частота пульса в конце этих нагрузок. Тахикардия в конце первой работы должна достигать 100—120 уд/мин, а в конце второй — 140—160 уд/мин (разница не меньше 40 уд/мин). Если это условие соблюдается, погрешность в определении величины физической работоспособности будет практически ничтожной.

Теоретически имеется возможность свести экстраполяционную ошибку при расчетах PWC_{170} до минимума посредством приближения величины мощности второй работы к величине PWC_{170} (например, путем приближения точки 2 к точке 3 на рис. 3).

Расчеты показывают, что на основании данных о мощности работы при первой нагрузке (N_1) и о частоте пульса в исходном состоянии (f_0) и при первой нагрузке (f_1) можно довольно точно предсказать величину второй нагрузки (N_2), близкую к величине PWC_{170} . Для этого достаточно воспользоваться следующей формулой:

$$N_2 = N_1 \left(1 + \frac{170 - f_1}{f_1 - 60} \right). \quad (11)$$

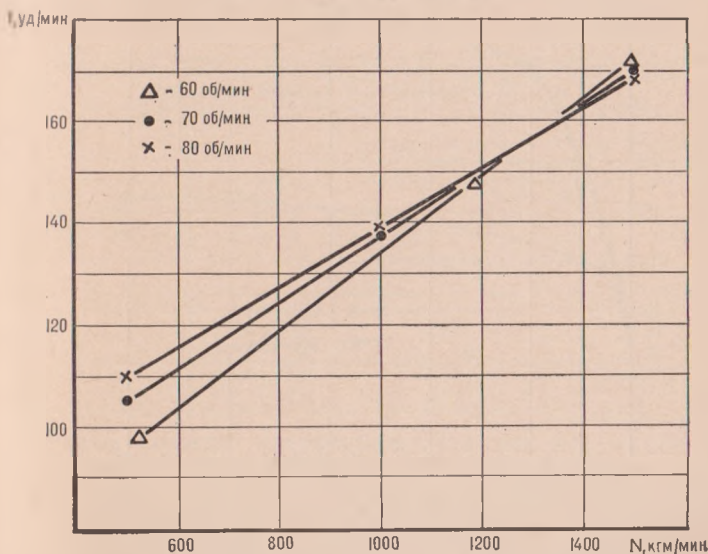


Рис. 5. Влияние частоты педалирования на велоэргометре на частоту сердечных сокращений при мышечной работе разной мощности (средние данные)

При этом необходимо, однако, иметь в виду, что при повышении точности расчета PWC_{170} таким способом эта проба становится более изнуряющей для испытуемого, что весьма нежелательно при многократных испытаниях.

Частота педалирования. Известное значение для точного определения PWC_{170} имеет частота педалирования на велоэргометре. Ескерманн и Millahn (1967) показали, что наибольшие значения PWC_{170} отмечаются при частоте 40—70 об/мин. При меньшей и большей частоте педалирования PWC_{170} снижается.

Наши наблюдения свидетельствуют, что хотя различия в частоте педалирования в диапазоне 60—80 об/мин в некоторой степени изменяют характер связи «мощность — пульс» при работе малой мощности, они почти не влияют на величину PWC_{170} (рис. 5).

Продолжительность нагрузок. При проведении пробы PWC_{170} многие подсчитывают частоту сердечных сокра-

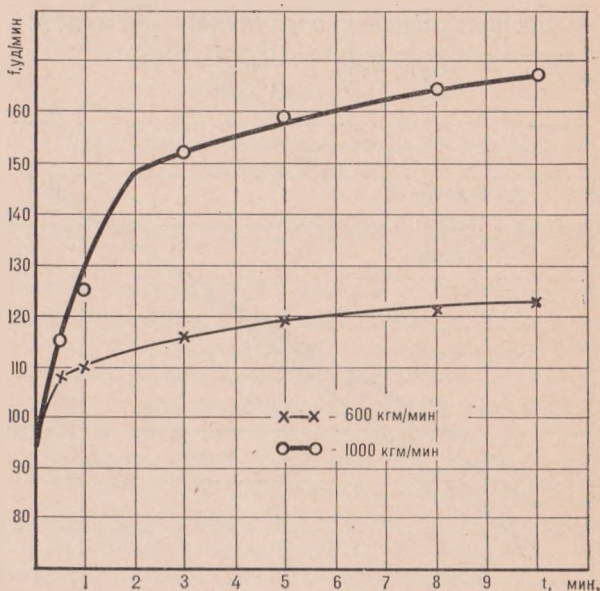


Рис. 6. Динамика частоты пульса при мышечной работе разной мощности (средние данные): на абсциссе — время (t) от начала мышечной работы (в мин.), на ординате — частота пульса (f) в уд/мин при нагрузках 600 кгм/мин и 1000 кгм/мин

шений в конце 6-й мин. Исследования, проведенные в кардиологической лаборатории ГЦОЛИФК, показывают, что продолжительность нагрузок в пробе PWC_{170} можно сократить до 5 мин. Дело в том, что переходный процесс для частоты сердцебиений заканчивается уже спустя 1—2 мин. после начала действия нагрузок (рис. 6). Следовательно, устойчивое состояние достигается даже раньше, чем на 5-й мин. Однако, учитывая, что у отдельных испытуемых время вработывания может затягиваться до 3—4 мин., подсчет пульса производить ранее начала 5-й мин. работы нецелесообразно.

Следует иметь в виду, что устойчивое состояние при мышечной работе большой и субмаксимальной мощности является условным. Оно характеризуется непрерывным учащением сердцебиений (с постоянной скоростью). Интенсивность этого учащения пропорциональна мощности мышечной работы (см. рис. 6). Поэтому результаты расчетов PWC_{170} по данным частоты пульса, полученным раньше, чем на 5-й мин., будут завышенными. В случае, если частота пульса получена при нагрузках, длящихся более 5 мин., величина PWC_{170} будет заниженной (табл. 7).

Таблица 7

Величина PWC_{170} при различной длительности нагрузок
(средние данные исследования 17 чел.)

Длительность нагрузок при тестировании PWC_{170} в мин.	Величина PWC_{170} в кгм/мин ($\bar{X} \pm \sigma$)	Отклонение величин PWC_{170} , полученных при разной длительности нагрузок, от величины, рассчитанной при 5-минутных нагрузках	
		в кгм/мин	в %
3	1355 ± 239	+142	+11,7
5	1213 ± 241	0	0
8	1140 ± 203	-73	-6,0
10	1099 ± 206	-114	-9,4

Отдых между нагрузками. Наличие или отсутствие паузы отдыха между нагрузками при проведении пробы PWC_{170} имеет принципиальное значение (Mocellin u. Rutenfranz, 1970). Когда нагрузки разделены периодом полноценной реституции, частота пульса является функцией мощности мышечной работы. Когда между нагруз-

ками паузы отдыха нет, на степень тахикардии влияют и мощность работы и так называемый пульсовой долг от предыдущей работы (табл. 8).

Как видно из таблицы, при определении PWC_{170} по данным непрерывной работы с повышающейся мощно-

Таблица 8

Величины PWC_{170} , рассчитанные при стандартном режиме работы (с трехминутной паузой отдыха между нагрузками) и при непрерывной работе со ступенчато-повышающейся мощностью

Испытуемые	Величины PWC_{170} в кгм/мин		Разница в величинах PWC_{170}	
	Стандартный режим нагрузки	Непрерывная нагрузка	в кгм/мин	в %
К. В.	2420	2040	-380	-15,7
О. К.	1970	1900	-70	-3,6
Л. П.	1970	1870	-100	-5,7
Д. В.	1630	1550	-80	-4,1
И. Л.	1725	1510	-215	-12,5
Р. А.	960	900	-60	-6,2
К. А.	1010	1010	0	0
З. А.	1030	880	-150	-14,6
К. А.	1030	880	-150	-14,6
В. В.	1070	855	-215	-20,1
Н. А.	1100	925	-175	-15,9
Ш. А.	1115	940	-175	-15,7
Г. А.	1120	870	-250	-22,3
Ф. В.	1130	1085	-45	-4,0
С. Д.	1220	1110	-110	-9,0
Б. К.	1520	1235	-285	-18,8
И. Р.	1660	1295	-365	-22,0
М. В.	1300	735	-565	-43,4
М. А.	1335	1300	-35	-3,4
Р. А.	1335	1150	-185	-13,9
К. В.	1360	1215	-145	-10,7
Ш. П.	1820	1650	-170	-9,3
Р. А.	1960	1650	-310	-15,8
С. А.	1820	1412	-408	-22,4
С. И.	1675	1610	-65	-3,9
Е. Б.	1950	1750	-200	-10,3
Н. А.	1460	985	-475	-32,5
Ш. Г.	1460	1200	-260	-17,8
\bar{X}	1510	1290	-320	-21,1
σ	360	326	141	10,8
$S_{\bar{X}}$	72	65	28	2,2

стью весьма существенно недооценивается физическая работоспособность спортсмена. Различия в величине PWC_{170} при указанных режимах тестирования физиче-

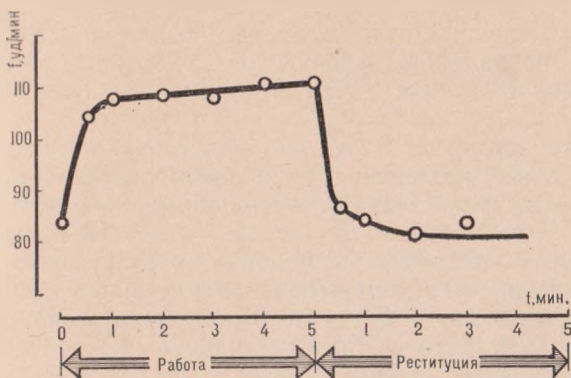


Рис. 7. Изменения частоты пульса при первой нагрузке пробы и в процессе восстановления после нее (средние данные)

ской работоспособности высоко достоверны ($t=3,29$, $P<0,01$).

Что же касается продолжительности отдыха после первой нагрузки, то есть основание считать интервал, равный 3 мин., вполне достаточным для полноценной реституции. Средняя продолжительность периода восстановления частоты сердечбиений после первой нагрузки составляет обычно 1—1,5 мин. Лишь у отдельных испытуемых она равна 2—2,5 мин. (рис. 7).

Работа в маске. Исследование физической работоспособности по тесту PWC_{170} часто сочетается с определени-

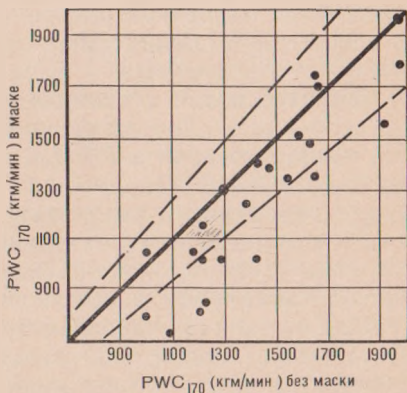


Рис. 8. Влияние дыхательной маски на результаты пробы PWC_{170}

нием производительности сердечно-сосудистой и дыхательной систем при мышечных нагрузках. Поскольку маски (или загубники), применяемые в газоаналитических исследованиях, оказывают сопротивление дыханию, а также увеличивают анатомическое мертвое пространство дыхательных путей, вопрос о влиянии их на точность определения физической работоспособности у спортсменов также был подвергнут специальному анализу.

В эксперименте, в котором участвовало 24 спортсмена различной квалификации и специализации, применялась стандартная дыхательная полумаска с загубником Цуица. В результате оказалось, что у 18 испытуемых имела место некоторая недооценка их физической работоспособности, у 3 испытуемых влияние маски на определяемую величину PWC_{170} не было обнаружено и еще у 3 полученные данные были незначительно (в пределах 5%) завышены.

Как показывает рис. 8, на степень погрешности в определении PWC_{170} при работе испытуемого в маске влияет уровень его физической работоспособности. Так, у лиц с относительно невысоким ее уровнем недооценка величины PWC_{170} наблюдается чаще, а степень этой погрешности (в %) значительно выше, чем у лиц с высокой физической работоспособностью. Таким образом, создается впечатление, что дыхательная маска представляет собой дополнительную нагрузку на аппарат кровообращения при мышечной работе. Это, в свою очередь, ведет к искажению (занижению) результатов исследования PWC_{170} у испытуемых.

Эмоциональное состояние испытуемых. В ряде случаев, особенно в работе с новичками и юными спортсменами, точно определить PWC_{170} не удастся из-за состояния эмоционального напряжения у испытуемых. Влияние этого состояния на результат определения PWC_{170} сводится к повышению реактивности сердечно-сосудистой системы. Причем, как правило, это проявляется в виде легкой тахикардии в покое и неадекватного учащения сердцебиений при первой нагрузке пробы PWC_{170} . Частота пульса при второй нагрузке обычно соответствует функциональным возможностям испытуемых. Таким образом, если мощность второй нагрузки намного меньше PWC_{170} , то ошибка в определении индивидуальной вели-

ции физической работоспособности может достигать больших значений. Отсюда следует, что ошибки этой можно избежать, если испытуемым в состоянии эмоционального напряжения предлагать вторую нагрузку, близкую к величине PWC_{170} .

Физическая работоспособность при пульсе 150 и 130 уд/мин

Описанная методика расчета величины PWC_{170} по данным частоты пульса позволяет определять у испытуемого мощность мышечной работы при любой частоте сердцебиений (в известных, естественно, пределах). Иными словами, подставив в формулу (10) вместо цифры 170 любое другое значение частоты пульса, можно рассчитать соответствующую ей величину PWC , например PWC_{150} , PWC_{130} и т. д. Однако модификации теста PWC_{170} только посредством замены индикаторного значения частоты сердечных сокращений не представляют дополнительной полезной информации.

Тестирование физической работоспособности при частоте сердечных сокращений 150 уд/мин было предложено на том основании, что в ряде случаев тахикардия порядка 170 уд/мин является нереальной для того или иного больного (Denolin, 1967; Я. С. Вайнбаум, А. А. Аскеров, 1970). У здоровых же людей с возрастом максимально эффективная частота сердцебиений при мышечной деятельности уменьшается (Åstrand, 1952), и поэтому уровень тахикардии, равный 170 уд/мин, для молодых людей является «субмаксимальным», а для лиц старше 50—60 лет — «супермаксимальным».

Hollmann (1963) предложил для оценки физической работоспособности испытуемого определять у него «границу выносливости», то есть ту наивысшую мощность работы, которая еще не вызывает усиления анаэробного энергообмена в организме. В качестве индикаторной функции «границы выносливости» (у здоровых молодых людей) он рекомендовал использовать учащение сердцебиений в процессе нагрузки до 130 уд/мин. Однако эта «граница» весьма вариабельна у разных лиц (особенно у спортсменов разных специализаций) и поэтому ненадежна.

Таким образом, для определения физической работоспособности у спортсменов наиболее приемлемым является тест PWC_{170} , а описанные модификации его практически дают возможность получать ту же информацию, но с меньшей степенью точности.

Требования к функциональным пробам и тест PWC_{170}

Функциональные пробы являются важнейшим инструментом исследования функционального состояния организма спортсмена. Именно поэтому к ним должны предъявляться серьезные требования, исключающие или, во всяком случае, сводящие к минимуму ошибочные заключения. К таким требованиям можно отнести следующие:

а) физическая нагрузка должна задаваться в хорошо воспроизводимой форме и быть строго дозированной (в кгм/мин при велоэргометрии, в м/сек при беге на тротуаре и т. д.);

б) проба должна исключать субъективное отношение испытуемого к ее проведению;

в) результаты тестирования должны выражаться в общепринятых физиологических или биофизических величинах;

г) функциональное исследование организма спортсмена должно вестись непосредственно во время физической нагрузки, а не в восстановительном периоде (если это не является целью исследования).

Тест PWC_{170} полностью отвечает этим требованиям. Физическая работа при проведении пробы выполняется на велоэргометре, она строго дозируется по мощности (в кгм/мин) и, таким образом, выгодно отличается от испытаний, в которых нагрузка задается в виде подскоков, приседаний, бега на месте и т. д. Необходимо отметить, что использование в качестве нагрузки хождения по лестнице для расчета PWC_{170} (Я. С. Вайнбаум, А. А. Аскеров, 1970) нежелательно, так как такую мышечную нагрузку пока еще нет возможности точно выразить в величинах внешней механической работы, совершаемой человеком.

При проведении пробы полностью исключено субъек-

тннное отношение к ней испытуемого, поскольку величина нагрузки задается и контроль за ее выполнением осуществляется экспериментатором. Кстати, при определении максимального потребления кислорода — пробы, весьма объективно характеризующей физическую работоспособность, — субъективное отношение испытуемого иногда влияет на результаты исследования. Так, около 6% испытуемых отказываются от продолжения работы до того, как достигается максимальное потребление кислорода (В. Л. Карпман, И. А. Гудков, Г. А. Койдинова, 1971).

Последние два требования также выполняются при тестировании физической работоспособности по PWC_{170} . Таким образом, этот тест является функциональной пробой, при которой практически исключены методические ошибки (при условии строгого выполнения процедуры исследования).

Прямое определение PWC_{170}

В настоящее время имеется возможность непосредственно определить величину PWC_{170} , не прибегая к экстраполяции, по двум нагрузкам небольшой интенсивности. Для этого достаточно использовать при тестировании автоткардиолитер, позволяющий путем изменения мощности мышечной работы повысить частоту сердечных сокращений до нужной величины, например до 170 уд/мин. Индивидуальный подбор ориентировочной мощности работы на велоэргометре типа «Элема» ведется по уравнению (10). Наиболее удобен велоэргометр типа «Монарк» со специальным устройством, регистрирующим частоту педалирования.

Проба продолжается 5 мин., в течение

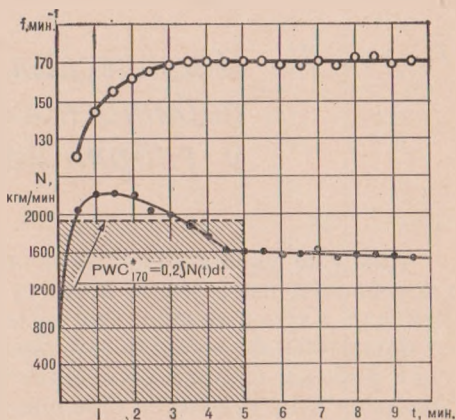


Рис. 9. Прямое определение PWC_{170}

которых испытуемый выполняет работу заданной мощности. «Вхождение в программу» обычно длится 2—3 мин., после чего частота сердечных сокращений устойчиво поддерживается на уровне 170 уд/мин.

Во время всей пробы регистрируется мощность работы. Полученная информация наносится на график (рис. 9), определяется площадь под кривой изменения мощности $N(t)$, полученная величина делится на время (в данном случае 5 мин.). Таким образом, величина PWC_{170} определяется из следующего уравнения:

$$PWC_{170}^* = 0,2 \int_{t=0}^{t=5} N(t) dt. \quad (12)$$

В настоящее время уже накоплен некоторый опыт прямого определения PWC_{170} . Сравнение величин PWC_{170} , рассчитанных непосредственно при пульсе 170 уд/мин, с величинами, экстраполированными по двум нагрузкам небольшой интенсивности, показывает, что в первом случае значения PWC_{170} несколько более низкие. Этот факт сейчас изучается (А. Ф. Синяков).

Глава III. Физическая работоспособность у спортсменов

Как уже указывалось, величины физической работоспособности, измеренные по тесту PWC_{170} , выражаются в кгм/мин. Строго говоря, эта размерность не соответствует принятой в физике для выражения мощности механической работы. Однако она является традиционной в физиологии и применяется большинством авторов (для выражения мощности в ваттах достаточно разделить величину, выраженную в кгм/мин, на 6).

Априори можно предположить, что величина физической работоспособности определенным образом связана с размерами тела испытуемого. Поэтому, чтобы нивелировать индивидуальные антропометрические особенности, величины PWC_{170} , выраженные в кгм/мин, относят на вес тела или на площадь поверхности тела (рассчитываемую по известной номограмме Дю Буа). Тогда размерность PWC_{170} будет соответствовать кгм/мин·кг или кгм/мин·м². Эта размерность, естественно, не имеет конкретного физического смысла. Поэтому сокращать сходные символы не следует.

Величина PWC_{170} у здоровых нетренированных лиц

У нетренированных мужчин величины PWC_{170} обычно колеблются в пределах 850—1100 кгм/мин, довольно ред-

Таблица 10

**Физическая работоспособность и некоторые другие
анатомо-физиологические показатели у нетренированных мужчин**

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин . . .	1027	193	1530	750
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг . . .	15,5	2,7	21,1	10,4
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ² . . .	552,1	83,1	753,7	418,9
Объем сердца в см ³ . . .	799	127	1100	630
Относительный объем сердца в усл. ед.	54,1	13,0	78	32
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,29	0,15	1,55	0,96
Максимальное потребление кислорода в л/мин	3,0	0,42	3,7	2,3
Возраст (годы)	24,9	6,70	45	18
Вес в кг	69,6	7,4	85	59
Рост в см	175,7	6,8	192	165
Площадь поверхности тела в м ²	1,86	0,09	2,07	1,64

ко они составляют 750—800 кгм/мин или 1200—1500 кгм/мин. Как показано в табл. 10, средняя величина PWC_{170} у 51 обследованного мужчины в возрасте 17—45 лет оказалась равной 1027 ± 193 кгм/мин; физическая работоспособность, отнесенная на вес тела, в среднем составила $15,5 \pm 2,7$ кгм/мин·кг, а на площадь поверхности тела — $552,1 \pm 83,1$ кгм/мин·м².

Широкий диапазон колебаний величин PWC_{170} у нетренированных становится понятным, если учесть, что среди них встречаются лица с разными размерами тела, неодинаковым двигательным опытом и, что не менее важно, ведущие различный по физической активности образ жизни. Самая низкая величина PWC_{170} (750 кгм/мин) обнаружена у малоподвижного человека, предпочитающего сидячий образ жизни; наоборот, наиболее высокие величины PWC_{170} отмечены у бывших спортсменов, которые включали по окончании активной спортивной деятельности в распорядок дня занятия греблей или плаванием, катались на коньках, лыжах и т. д.

Испытуемые существенно различались по росту и весу. В связи с этим не только величины PWC_{170} , но и величины объема сердца, определявшиеся телерентгенометрически, также имели широкий разброс. При этом значения абсолютного и относительного объема сердца у данного контингента лиц не превышали верхней границы нормы. Относительный объем сердца рассчитывался по формуле (В. Л. Карпман, Ю. А. Борисова, 1968):

$$RHV = \frac{(HV)^2}{L \cdot P}, \quad (13)$$

где

RHV — относительный объем сердца в усл. ед.,

HV — абсолютный объем сердца в мл,

L — рост в см,

P — вес в кг.

Размерность RHV : $\frac{\text{мл}^2}{\text{см} \cdot \text{кг}}$ или усл. ед.

Электрокардиограмма, данные фазового анализа сердца у всех испытуемых были в пределах нормы. Дополнительные данные свидетельствуют о том, что обследованная группа мужчин была достаточно репрезентативной.

Величина PWC_{170} у здоровых нетренированных лиц по Sjöstrand (1967) составляет 1185 кгм/мин, что несколько

превышает приведенные здесь данные. Однако следует иметь в виду, что и объем сердца у лиц, обследованных этим автором, был выше — 869 см³ (а он в значительной мере определяет физическую работоспособность). Величины PWC_{170} , зарегистрированные в нашем исследовании, близки к результатам, полученным Hellström (1135,1 кгм/мин), Millahn (1100 ± 183 кгм/мин), Bevegård (1069 кгм/мин). Это позволяет заключить, что приведенные здесь данные, в общем, вполне удовлетворительно совпадают с литературными.

Кардио-респираторная система у женщин характеризуется целым рядом особенностей, в частности относительно менее развитыми функциональными возможностями, что определяет их меньшие (по сравнению с мужчинами) возможности при выполнении механической работы, а следовательно, и меньшую физическую работоспособность. Величина PWC_{170} у женщин закономерно ниже, чем у мужчин.

Таблица 11

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у нетренированных женщин

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	640	140	900	422
Физическая работоспособность в кгм/мин · кг	10,5	2,0	14,6	7,7
Физическая работоспособность в кгм/мин · м ²	378,8	57,6	491,8	295,1
Возраст (годы)	29,0	6,5	42	20
Вес в кг	61,1	0,96	80	47
Рост в см	162,0	4,1	169	155
Площадь поверхности тела в м ²	1,65	0,12	1,83	1,43

Как видно из табл. 11, у 18 обследованных женщин, не занимающихся спортом, величины PWC_{170} колебались в пределах от 422 до 900 кгм/мин. Индивидуальные колебания величин PWC_{170} у женщин определяются теми же факторами, что и у мужчин: особенностями конституции, уровнем физической активности и т. д. Средняя величина PWC_{170} у женщин равнялась 640 кгм/мин. Абсолют-

ная величина PWC_{170} составляла лишь 60% от физической работоспособности мужчин. В то же время различия в весе и площади поверхности тела у женщин и мужчин менее выражены. По этой причине у женщин по сравнению с мужчинами ниже и величина PWC_{170} , отнесенная на 1 кг веса тела и на 1 м² поверхности тела. Так, если у женщин эти показатели в среднем равнялись 10,5 кгм/мин·кг и 378,8 кгм/мин·м², то у мужчин — 15,5 кгм/мин·кг и 552,1 кгм/мин·м².

Величина PWC_{170} у спортсменов

На рис. 10 представлены данные, характеризующие физическую работоспособность у спортсменов различных специализаций: черные столбики — величины PWC_{170} в кгм/мин·кг; белые столбики — величины PWC_{170} в кгм/мин

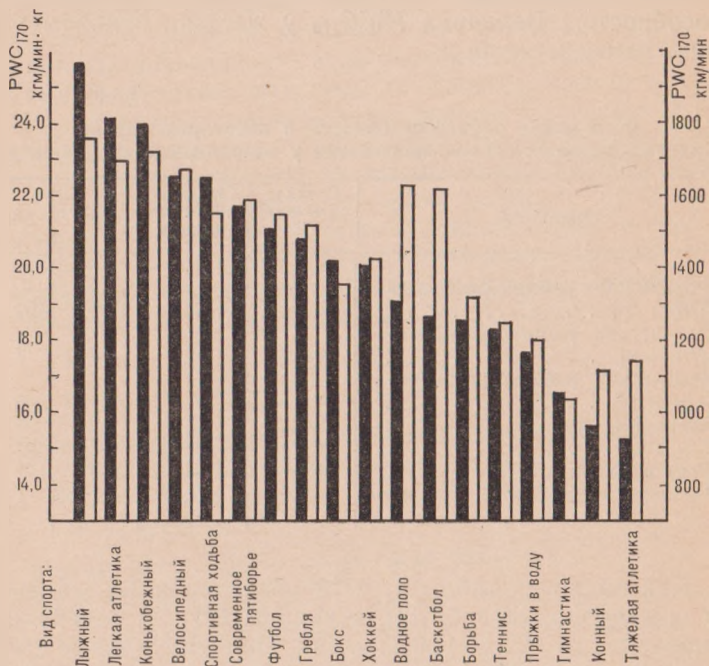


Рис. 10. Физическая работоспособность у спортсменов различных специализаций: черные столбики — величины PWC_{170} в кгм/мин·кг; белые столбики — величины PWC_{170} в кгм/мин

специализаций (в соревновательном периоде тренировочного цикла). Наиболее высокие средние величины PWC_{170} отмечаются у спортсменов, специализирующихся в видах спорта циклического характера (1760 кгм/мин у лыжников, 1548 кгм/мин у занимающихся спортивной ходьбой). Несколько ниже эти показатели у представителей спортивных игр (за исключением баскетболистов и ватерполистов) и единоборств. У спортсменов, специально не развивающих общую выносливость, физическая работоспособность самая низкая (1195 кгм/мин у прыгунов в воду, 1044 кгм/мин у гимнастов), практически такая же, как у нетренированных лиц (1027 кгм/мин).

Выносливость организма при длительной работе циклического характера непосредственно определяется его аэробной работоспособностью (В. С. Фарфель, 1949; Н. И. Волков, 1969, и др.). В свою очередь, потребление необходимого количества кислорода обеспечивается согласованной работой вегетативных систем организма, и главным образом систем кровообращения и дыхания. Поэтому у специализирующихся в видах спорта «на выносливость» особенно выражены сдвиги в функционировании кардио-респираторной системы. Это касается самых различных проявлений электрической и механической активности сердца, объема сердца, сердечного выброса, количества циркулирующей крови, общего гемоглобина и т. д., то есть всех тех компонентов, которые обеспечивают в конечном счете высокую физическую работоспособность. Именно поэтому у лыжников, конькобежцев, бегунов на средние дистанции, велосипедистов, гребцов и занимающихся спортивной ходьбой отмечаются наибольшие значения PWC_{170} . Вместе с тем каждый вид спорта циклического характера имеет известные особенности, что сказывается на величине физической работоспособности спортсменов.

Лыжный спорт. Величина PWC_{170} у лыжников высокой квалификации (был обследован 51 гонщик не ниже I разряда) составляет обычно* 1500—1900 кгм/мин. У отдельных спортсменов величина PWC_{170} достигает и даже превышает 2000 кгм/мин. Средняя величина PWC_{170} у лыжников едва ли не в два раза выше, чем

* Здесь и далее в тексте приводится диапазон колебаний наиболее часто встречающихся величин PWC_{170} .

у нетренированных мужчин, и больше, чем у представителей других видов спорта (в том числе и циклического характера). Вместе с тем показатели веса тела, роста, площади поверхности тела у лыжников самые низкие (если сравнивать их с представителями других видов спорта циклического характера), а показатели физической работоспособности, отнесенные как на вес тела, так и на площадь поверхности тела, самые высокие.

Лыжные гонки характеризуются работой, в которой принимает участие большая часть мышц туловища, нижних и верхних конечностей. Поэтому у лыжников определяются и значительные сдвиги в работе вегетативных систем и в связи с этим очень высокая физическая работоспособность.

Таблица 12

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у лыжников

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1760	305	2320	1140
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	25,7	4,6	33,9	16,6
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	972,3	176,6	1281,7	629,8
Объем сердца в см ³	1073	1460,0	1355	792
Относительный объем сердца в усл. ед.	97	18,1	132	62
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,64	0,28	2,16	1,06
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,9	0,67	6,2	3,6
Возраст (годы)	23,1	4,8	36	18
Вес в кг	68	5,02	80	54
Рост в см	173	4,2	185	163
Площадь поверхности тела в м ²	1,81	0,11	1,97	1,57

По данным Saltin a. Astrand (1967), у лыжников сборной команды Швеции максимальное потребление кислорода равняется 5,6 л/мин, что в пересчете на 1 кг веса тела составляет примерно 80 мл. У отдельных лыж-

ников экстракласса отмечается еще большая аэробная производительность. Так, известный шведский лыжник-гонщик С. Ёриберг в течение многих лет был известен не только как «король лыж», но и как спортсмен, у которого были самые высокие (из опубликованных данных) показатели максимального потребления кислорода (5,88 л/мин, или 81,7 мл на 1 кг веса). Однако в последние годы такие же и даже несколько более высокие показатели были получены у отдельных мастеров, даже не входящих в число выдающихся лыжников (Т. И. Раменская, 1970, и др.). Что же касается средних величин аэробной работоспособности, характерных для высококвалифицированных гонщиков, то обычно в литературе приводятся данные порядка 70—75 мл O₂ на 1 кг (В. В. Михайлов и И. Г. Огольцов, 1964; Т. И. Раменская и др., 1968, 1969; В. П. Лисаев, 1969, и др.). Такие же данные были получены в кардиологической лаборатории ГЦОЛИФК (табл. 12).

Таблица 13

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у конькобежцев

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1710	284	2328	1160
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	24,0	3,5	29,8	15,5
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	909,5	151,1	1238,4	617,0
Объем сердца в см ³	1050	121	1308	810
Относительный объем сердца в усл. ед.	77,4	10,4	99,9	57,1
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,63	0,15	1,94	1,29
Максимальное потребление кислорода в л/мин	5,3	0,63	6,2	3,6
Возраст (годы)	21,8	3,2	31	18
Вес в кг	73,1	4,8	84	64
Рост в см	174,5	2,9	182	170
Площадь поверхности тела в м ²	1,88	0,72	2,05	1,75

У обследованных лыжников обнаружен значительный объем сердца. Этот факт следует, по-видимому, рассматривать как проявление кардиального механизма обеспечения высокой выносливости у представителей лыжного спорта (В. Л. Карпман, 1970).

Таким образом, в основе наиболее высоких (среди прочих спортсменов) показателей физической работоспособности у лыжников лежит высокий уровень производительности кардио-респираторной системы.

Конькобежный спорт. Величины PWC_{170} у обследованных 32 квалифицированных конькобежцев (большинство из них были мастерами спорта СССР и мастерами международного класса) составляли 1500—1900 кгм/мин. Причем наблюдалась определенная зависимость уровня физической работоспособности от специализации спортсменов. Особенно высокие величины PWC_{170} определялись у многоборцев, в большей мере тренирующихся «на выносливость». Среднее значение величины PWC_{170} у конькобежцев (табл. 13) равнялось 1710 кгм/мин (более чем в 1,5 раза превышает данные, полученные у нетренированных мужчин).

Столь же высокой оказалась у них физическая работоспособность, отнесенная на вес и площадь поверхности тела, а также аэробная производительность. Так, максимальное потребление кислорода у 27 квалифицированных конькобежцев в среднем равнялось 5,4 л/мин. Примерно у 25% спортсменов оно превышало 5 л/мин, а в 10% случаев равнялось 6,0—6,4 л/мин. По данным Saltin а. Astrand (1967), у конькобежцев, выступающих за сборную команду Швеции, максимальное потребление кислорода составляет 5,6 л/мин. У сильнейших конькобежцев нашей страны В. А. Орлов (1970) отмечал столь же высокие показатели МПК.

У конькобежцев, принимавших участие в эксперименте, были значительными и другие показатели, определяющие функциональные возможности кардио-респираторной системы. Так, объем сердца у них нередко превышал 1200 см³, т. е. был одним из самых высоких среди представителей других видов спорта.

По данным Szögy, Cherebetiu (1970), средняя величина PWC_{170} у румынских конькобежцев равняется 1381 кгм/мин. Эта величина намного меньше, чем у наших спортсменов. Такого рода факт объясняется, по-ви-

димому, в первую очередь различным уровнем мастерства спортсменов. Об этом свидетельствует, в частности, то обстоятельство, что у конькобежцев Румынии при примерно одинаковых с нашими спортсменами антропометрических показателях объем сердца и максимальное потребление кислорода существенно ниже: $827 \pm 138,5 \text{ см}^3$ и $3,8 \pm 0,4 \text{ л/мин}$.

Легкая атлетика (бег на средние дистанции). У обследованных 26 атлетов (в основном перворазрядников и кандидатов в мастера спорта) среднее значение PWC_{170} намного превышало аналогичный показатель у нетренированных. Даже самые малые величины PWC_{170} у бегунов были не меньше 1200 кгм/мин, т. е. верхней границы для лиц, не занимающихся спортом. Вместе с тем почти у каждого пятого спортсмена величина PWC_{170} превышала 2000 кгм/мин. Физическая работоспособность, отнесенная на площадь поверхности тела и на вес тела, также была очень высокой.

Таблица 14

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у легкоатлетов-бегунов на средние дистанции

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1694	305	2400	1200
Физическая работоспособность в кгм/мин · кг	24,2	4,9	32,8	15,6
Физическая работоспособность в кгм/мин · м ²	901,0	158,9	1224,7	621,7
Объем сердца в см ³	1002	97,6	1100	810
Относительный объем сердца в усл. ед.	66	19,5	116	58
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,80	0,40	2,50	1,30
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,8	0,68	6,4	3,7
Возраст (годы)	21,3	2,0	26	18
Вес в кг	70,3	6,8	87	61
Рост в см	179	6,3	190	166
Площадь поверхности тела в м ²	1,88	0,10	2,10	1,70

Как видно из табл. 14, уровень физической работоспособности у бегунов на средние дистанции столь же высокий, как и у лыжников, конькобежцев — спортсменов, развивающих преимущественно выносливость.

Rouš с соавт. (1970) обнаружил высокую физическую работоспособность у специализирующихся в беге на средние дистанции. По данным этих авторов, средняя величина PWC_{170} у 7 чехословацких спортсменов составила $1617 \pm 72,3$ кгм/мин, а в пересчете на 1 кг веса тела $23,1 \pm 1,24$ кгм/мин·кг. Относительно высокую величину PWC_{170} (1551 ± 151 кгм/мин) у 23 бегунов на средние дистанции отметил Tognvall (1963).

О высокой физической работоспособности бегунов на средние дистанции говорит отмечаемое у них повышенное максимальное потребление кислорода (69 мл/мин на 1 кг веса тела). У спортсменов, участвовавших в эксперименте, МПК было на 1,8 л/мин (почти на 60%) выше, чем у лиц, не занимающихся спортом.

Объем сердца у спортсменов-бегунов был увеличен, средняя величина его равнялась 1002 см^3 . У спортсменов было выявлено наиболее оптимальное соотношение между физической работоспособностью и объемом сердца (см. табл. 14).

Велосипедный спорт. Физическая работоспособность у обследованных 12 велосипедистов, большинство из которых являлись кандидатами в мастера спорта, была одной из самых высоких. Величины PWC_{170} у них колебались в пределах 1400—1900 кгм/мин. Причем у гонщиков на длинные дистанции (шоссе) они, как правило, были более значительными, чем у выступающих на коротких дистанциях (трек). Подобного рода данные приводит также Rouš с соавт. (1970). По наблюдениям этих авторов, средняя величина PWC_{170} у велосипедистов, специализирующихся в гонках на шоссе, составляет $1843,3 \pm 127,6$ кгм/мин, в то время как у спортсменов, участвующих в гонках на треке, — $1634,0 \pm 73,8$ кгм/мин.

У обследованных велосипедистов средняя величина PWC_{170} , а также величина физической работоспособности на 1 кг веса тела и 1 м^2 поверхности тела были столь же высоки, как и у конькобежцев, бегунов на средние дистанции, гребцов.

По Bevegård (1963), у 8 шведских велогонщиков средняя величина PWC_{170} составляла 1700 кгм/мин, т. е. прак-

**Физическая работоспособность и некоторые другие
анатомо-физиологические показатели у велосипедистов**

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандарт- ное откло- нение σ	max	min
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин	1670	287	2130	1220
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин·кг	22,6	3,9	28,8	16,5
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин·м ²	874,3	150,3	1115,1	638,7
Объем сердца в см ³	1030	20	1238	828
Относительный объем сердца в усл. ед.	83	3,6	120	46
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,62	0,28	2,07	1,18
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,7	0,63	5,8	3,8
Возраст (годы)	21,4	3,9	29	18
Вес в кг	73,9	5,6	81	65
Рост в см	177	5,9	187	170
Площадь поверхности тела в м ²	1,91	0,1	2,04	1,75

тически была равна приведенной в табл. 15. Интересно, что степень увеличения объема сердца у спортсменов, обследованных этим автором, оказалась примерно такой же высокой, как и у велосипедистов, участвовавших в описываемом исследовании (у шведских гонщиков средняя величина объема сердца составляла 1087 см³, а крайние значения 920—1196 см³).

Аэробная производительность у велосипедистов характеризуется весьма высоким уровнем. Так, по данным Saltin a. Astrand (1967), у членов сборной команды Швеции максимальное потребление кислорода равняется 5,2 л/мин, а отнесенное на 1 кг веса тела превышает 70 мл.

В наблюдениях М. А. Артыкова (1968) у велосипедистов-шоссейников высшей квалификации (мастеров спорта и заслуженных мастеров спорта) максимальное потребление кислорода на 1 кг веса тела составляло $71,7 \pm \pm 0,091$ мл/мин·кг.

У спортсменов, обследованных в приведенном здесь эксперименте, значения максимального потребления кислорода были несколько ниже по сравнению с данными Astrand и М. А. Артыкова. Однако следует учитывать, что эти велосипедисты имели более низкую спортивную квалификацию.

Баскетбол. В различных спортивных играх требования, предъявляемые к вегетативным системам организма, и как следствие степень изменения их функционального состояния неодинаковы. В связи с этим существенные различия определяются и в уровне физической работоспособности спортсменов. Наиболее низкие абсолютные величины PWC_{170} у теннисистов, несколько выше — у хоккеистов и футболистов, самые высокие — у баскетболистов и ватерполистов.

Было обследовано 36 высококвалифицированных баскетболистов, в основном заслуженных мастеров спорта и мастеров спорта международного класса. Величина PWC_{170} у них колебалась в довольно широком диапазоне: 1400—1800 кгм/мин. Средняя величина этого показателя (табл. 16) равнялась 1625 кгм/мин, т. е. была намного выше, чем у нетренированных.

В наблюдениях Rouš с соавт. (1970) средняя величина PWC_{170} у 20 ведущих баскетболистов Чехословакии составляла $1661 \pm 93,1$ кгм/мин. По данным Szögy с соавт. (1970), также обследовавших баскетболистов высокой квалификации, она равнялась $1492 \pm 166,8$ кгм/мин, а в пересчете на 1 кг веса тела — 18,2 кгм/мин·кг.

Достаточно высока у баскетболистов и аэробная работоспособность. Так, у наших спортсменов максимальное потребление кислорода на 1 кг веса тела составило 52,7 мл/мин; у игроков сборной команды Канады — участников Панамериканских игр 1967 г. — этот показатель равнялся 53 мл/мин, по Cumming (1968); у румынских баскетболистов — 50,4 мл/мин, по Szögy с соавт. (1970).

Физическая работоспособность у баскетболистов одна из самых высоких по сравнению с представителями других игровых видов спорта. Более того, средние данные абсолютной величины PWC_{170} у баскетболистов превосходят эти показатели у занимающихся греблей и спортивной ходьбой. Кажалось бы, это позволяет говорить о более значительном влиянии занятий баскетболом на про-

**Физическая работоспособность и некоторые другие
анатомо-физиологические показатели у баскетболистов**

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандарт- ное откло- нение σ	max	min
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин	1625	306	2241	950
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин·кг	18,7	2,8	25,0	13,4
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин·м ²	748,8	98,2	1000,0	586,4
Объем сердца в см ³	1201	129	1470	950
Относительный объем серд- ца в усл. ед.	82,6	13,9	116	60
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,40	0,21	1,85	0,99
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,6	0,66	6,0	3,2
Минутный объем кровосба- ращения в л/мин*	24,0 (23,2)	3,1	30,1	19,2
Систолический объем кро- ви* в мл	167	30,2	230	125
Возраст (годы)	22,9	3,5	33	18
Вес в кг	87,3	9,9	109	57
Рост в см	192	11,9	215	165
Площадь поверхности те- ла в м ²	2,17	0,18	2,4	1,62

* Величины сердечного выброса определялись во время второй нагрузки теста PWC_{170} ($N_2 = 1350$ кгм/мин). В скобках приведены должные для указанной мощности педалирования величины минутного объема кровообращения, рассчитанные по формуле $\bar{Q} = 0,012 \cdot N + 7,0$ (В. Л. Карпман, В. Г. Любина, Р. А. Меркулова).

изводительность кардио-респираторной системы. Однако, рассматривая показатели физической работоспособности у баскетболистов в связи со спортивной деятельностью, нельзя не учитывать их конституциональных особенностей — высокого роста и относительно большого веса тела. Об этом свидетельствует сравнительно небольшая величина физической работоспособности, отнесенной на вес тела и на площадь поверхности тела у баскетболистов. Практически эти показатели у них такие же, как, например, у борцов, теннисистов, абсолютная физическая работоспособность у которых значительно ниже, чем у баскетболистов.

Водное поло. Величины PWC_{170} у 26 обследованных ватерполистов самой высокой квалификации (50% из них были заслуженными мастерами спорта и мастерами спорта международного класса, остальные — мастерами спорта) колебались, как правило, в пределах 1400—1900 кгм/мин. Средняя величина PWC_{170} составила 1637 кгм/мин (табл. 17), т. е. практически она равнялась этому показателю у баскетболистов.

Таблица 17

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у ватерполистов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1637	219	2190	1328
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	19,1	2,5	25,5	15,8
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	775,8	103,9	1037,9	629,3
Объем сердца в см ³	1095	97,4	1280	900
Относительный объем сердца в усл. ед.	76,2	13,2	99,0	47,5
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,53	0,34	2,40	1,07
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,9	0,65	6,3	3,8
Минутный объем кровообращения в л/мин*	21,6 (21,8)	2,45	26,7	18,7
Систолический сбъем крови в мл	149,3	20,2	187,2	121,1
Возраст (годы)	23,9	2,8	29	18
Вес в кг	86,3	4,3	91	74
Рост в см	185	3,0	190	178
Площадь поверхности тела в м ²	2,11	0,07	2,19	1,91

* Величина сердечного выброса определялась во время выполнения второй нагрузки теста PWC_{170} ($N_2 = 1200$ кгм/мин).

У 12 высококвалифицированных ватерполистов Чехословакии средняя величина PWC_{170} равнялась $1451,67 \pm \pm 53,8$ кгм/мин (Rouš с соавт., 1970); у 20 ватерполистов сборной команды Румынии — 1380 кгм/мин (Szögy с соавт., 1970). Таким образом, по этим литературным дан-

ным, физическая работоспособность у ватерполистов высокая. Однако уровень ее несколько ниже, чем у наших спортсменов. Этот факт, по-видимому, отражает различную степень физической подготовленности, тренированности спортсменов в момент обследования. В частности, например, у румынских ватерполистов были снижены и другие показатели, отражающие функциональные возможности кардио-респираторной системы. Так, объем сердца у них равнялся $988 \pm 108,4$ см³, а максимальное потребление кислорода на 1 кг веса тела — 48,5 мл (у наших спортсменов эти показатели равнялись соответственно 1095 см³ и 56 мл/кг).

Абсолютная физическая работоспособность у обследованных нами ватерполистов выше, чем у занимающихся спортивной ходьбой, гребцов, пятиборцев. Однако при пересчете на вес и площадь поверхности тела величина физической работоспособности у ватерполистов меньше.

Характерной чертой физического развития ватерполистов является высокий рост (180—190 см) и значительный вес тела (80—90 кг). Площадь поверхности тела у них столь же велика, как и у баскетболистов. Поэтому факторы, принимавшиеся во внимание при определении физической работоспособности у баскетболистов, в известной мере имеют отношение и к ватерполистам.

Гребля. Величина PWC_{170} у 14 обследованных гребцов, большая часть которых занималась академической греблей, составила 1300—1900 кгм/мин. Наименьшие значения были получены у спортсменов с малым весом тела, наибольшие — у высокорослых гребцов с относительно большим весом.

Физическая работоспособность в значительной степени зависит от квалификации спортсменов. Так, у первоуровневых величина PWC_{170} колебалась в пределах 1300—1500 кгм/мин, у более классных спортсменов она достигала 1800—1900 кгм/мин и даже 2000—2100 кгм/мин. Средняя величина PWC_{170} у гребцов равнялась 1619 кгм/мин (табл. 18). Практически такую же среднюю величину зарегистрировал Rouš с соавт. (1970) у гребцов Чехословакии ($1610,8 \pm 81,8$ кгм/мин; $21,28 \pm 0,9$ кгм/мин · кг).

Величина PWC_{170} , как и максимальное потребление кислорода и объем сердца, у гребцов примерно такие же, как и у представителей всех видов спорта, в которых вос-

питанию выносливости придается особое значение. Вместе с тем гребцы отличаются относительно большим весом тела и ростом. Величина поверхности тела у них больше, чем у спортсменов многих других специализаций. Конституциональные особенности гребцов, безусловно, отражаются на уровне физической работоспособности. Однако величины PWC_{170} , рассчитанные на 1 кг веса и 1 м² поверхности тела, свидетельствуют о том, что развитию довольно высокой физической работоспособности гребцов в значительно большей мере способствует специфика их спортивной деятельности.

Таблица 18

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у гребцов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1619	299	2100	1125
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	21,2	2,2	24,1	18,2
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	834,6	84,4	1037,2	777,1
Объем сердца в см ³	1010	162	1225	786
Относительный объем сердца в усл. ед.	74,2	12,6	92,0	56,9
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,63	0,31	2,07	1,11
Максимальное потребление кислорода в л/мин	5,0	0,67	5,7	3,5
Возраст (годы)	22,6	2,5	36	18
Вес в кг	77,4	8,1	94	69
Рост в см	176,8	9,4	192	163
Площадь поверхности тела в м ²	1,94	0,15	2,22	1,75

Современное пятиборье. Из 32 обследованных пятиборцев 23 были мастерами спорта международного класса и мастерами спорта, остальные — кандидатами в мастера спорта и перворазрядниками. Величины PWC_{170} у этих спортсменов, а также показатели аэробной работоспособности существенно выше, чем у нетренированных. Так, если у лиц, не занимающихся спортом, максималь-

ное потребление кислорода равнялось 3,0 л/мин, то у пятиборцев в среднем — 4,9 л/мин, а у четырех особенно хорошо тренированных мастеров спорта — 5,3 л/мин.

Величины PWC_{170} у пятиборцев колеблются в весьма широком диапазоне: 1200—2000 кгм/мин. Причина этого в том, что современное пятиборье включает в себя такие разные по воздействию на организм виды спорта, как конный, стрелковый, фехтование, легкоатлетический кросс и плавание. Если успехи в первых трех видах в значительной мере базируются на техническом мастерстве спортсмена, то в кроссе и плавании — в основном на хорошо развитой выносливости. Разумеется, идеальный многоборец — это спортсмен, в совершенстве владеющий всеми пятью видами комплекса. Однако на практике даже высококвалифицированные спортсмены в силу различной организации тренировочного процесса, характера предшествующей подготовки, индивидуальной склонности и ряда других причин нередко добиваются высоких результатов лишь в одной из этих двух групп видов спорта. Поэтому у пятиборцев одного класса величины PWC_{170} могут существенно различаться. Наиболее высокими они обычно бывают у спортсменов, которые особенно удачно выступают в плавании и легкоатлетическом кроссе.

Средняя величина PWC_{170} у обследованных пятиборцев равнялась 1594 кгм/мин. Физическая работоспособность, отнесенная на вес тела, составила 21,7 кгм/мин·кг, а на площадь поверхности тела — 838,9 кгм/мин·м² (табл. 19). Практически такие же величины были определены у велосипедистов, гребцов и специализирующихся в спортивной ходьбе. Это позволяет заключить, что упражнения современного пятиборья столь же интенсивно способствуют увеличению функциональных возможностей вегетативных систем организма, как и виды спорта «на выносливость».

Спортивная ходьба. Величины PWC_{170} у 9 обследованных спортсменов (преимущественно заслуженных мастеров спорта и мастеров спорта международного класса) характеризуются большими значениями: 1500—1700 кгм/мин. Такой узкий диапазон колебаний обусловлен однородностью испытуемых по возрасту, конституциональным особенностям и спортивному мастерству. Средняя величина PWC_{170} у них равнялась 1548 кгм/мин, а физическая работоспособность, отнесенная на вес тела,—

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у пятиборцев

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1594	265	2236	1145
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	21,7	2,6	26,6	16,0
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	838,9	140,3	1176,8	602,6
Объем сердца в см ³	879	144	1000	735
Относительный объем сердца в усл. ед.	65,6	31,5	109,0	41,6
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,68	0,23	2,18	1,25
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,9	0,58	6,0	3,6
Минутный объем кровообращения в л/мин*	26,0 (24,7)	3,96	34,0	21,8
Систолический объем крови в мл*	171,2	20,7	205,3	141,5
Возраст (годы)	23,2	1,2	33	18
Вес в кг	73,2	5,6	84	61
Рост в см	173,3	5,5	187	165
Площадь поверхности тела в м ²	1,90	0,10	2,09	1,67

* Величины сердечного выброса определялись во время второй нагрузки теста PWC_{170} ($N_2 = 1450$ кгм/мин).

22,5 кгм/мин·кг (табл. 20). Это один из самых высоких показателей среди спортсменов, специализирующихся в видах спорта циклического характера.

Максимальное потребление кислорода у обследованных спортсменов было в среднем 4,5 л/мин, т. е. значительно выше, чем у нетренированных. У лучших спортсменов Швеции этот показатель, по Åstrand (1967), еще выше — 4,7 л/мин.

Характер спортивной деятельности специализирующихся в данном виде спорта предопределяет значительную дилатацию полостей сердца. Объем сердца у них практически такой же, как у других спортсменов, развивающих преимущественно выносливость.

**Физическая работоспособность и некоторые другие
анатомо-физиологические показатели у специализирующихся
в спортивной ходьбе**

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандарт- ное откло- нение σ	max	min
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин	1548	216	1867	1250
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин·кг	22,5	2,1	23,0	18,6
Физическая работоспособ- ность в кгм/мин·м ²	819,0	97,2	938,1	661,3
Объем сердца в см ³	996	116	1110	840
Относительный объем сердца в усл. ед.	75,8	11,1	88	62
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,65	0,07	1,70	1,54
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,5	0,49	5,2	3,8
Возраст (годы)	29,6	3,4	34	26
Вес в кг	72,2	6,7	81	63
Рост в см	176,7	2,6	180	173
Площадь поверхности тела в м ²	1,89	0,65	1,99	1,78

Энергетическое обеспечение мышечной работы в спортивной ходьбе достигается исключительно за счет аэробных окислительных процессов. Характер деятельности способствует существенному развитию функциональных возможностей кардио-респираторной системы у спортсменов, что, в свою очередь, и определяет относительно высокий уровень их работоспособности.

Футбол. Величины PWC_{170} у 19 обследованных футболистов-перворазрядников колебались в пределах 1200—1900 кгм/мин. Средняя величина этого показателя (табл. 21), а также физическая работоспособность на 1 кг веса и на 1 м² поверхности тела были у них почти на 50% выше, чем у нетренированных.

По сравнению с представителями всех остальных игровых видов спорта футболисты показали самую высокую физическую работоспособность (с учетом конституциональных особенностей спортсменов), практически такую

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у футболистов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1523	195	1910	1200
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	21,7	2,5	27,3	16,2
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	814,4	89,8	1067,6	640,6
Объем сердца в см ³	965	88	1140	820
Относительный объем сердца в усл. ед.	70,8	13,1	101,3	53,4
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{IV}$	1,58	0,20	1,98	1,24
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,4	0,43	5,3	3,7
Возраст (годы)	21	2,7	28	18
Вес в кг	70,5	7,1	86	60
Рост в см	176	4,7	185	168
Площадь поверхности тела в м ²	1,87	0,85	2,00	1,69

же, как гребцы, пятиборцы и занимающиеся спортивной ходьбой.

Данные, полученные в процессе обследования, совпадают с литературными. Так, по Роуэ с соавт. (1970), средняя величина PWC_{170} у футболистов довольно высокая: $1550,67 \pm 56,14$ кгм/мин или $20,59 \pm 0,61$ кгм/мин·кг.

Сказанное позволяет признать спортивную деятельность футболистов способствующей развитию относительно высокой физической работоспособности.

Хоккей. Под наблюдением находились 22 хоккеиста (группа примерно поровну была представлена спортсменами I разряда и мастерами спорта СССР). Обследование показало, что физическая работоспособность хоккеистов колеблется в довольно широком диапазоне: 1000—1800 кгм/мин, однако около 75% испытуемых имели величину PWC_{170} 1300—1700 кгм/мин.

По своим аэробным возможностям хоккеисты обычно значительно превосходят нетренированных. Причиной это-

го является более высокая производительность аппарата кровообращения у спортсменов, о чем можно судить, например, по величине объема сердца (ср. табл. 10 и 22). У хоккеистов он больше, несмотря на отсутствие антропометрических различий между этими двумя группами.

Литературные данные также говорят о высокой аэробной работоспособности у хоккеистов. Так, у членов сборной команды Швеции максимальное потребление кислорода составляет 4,4 л/мин (Åstrand, 1970); по данным А. А. Гуминского, А. В. Тарасова, О. С. Елизаровой, Ю. Г. Королева (1970), у лучших советских хоккеистов оно равно $4,82 \pm 0,37$ л/мин. В наших наблюдениях этот показатель был несколько ниже, что, видимо, обусловлено более низкой спортивной квалификацией обследованных хоккеистов.

Таблица 22

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у хоккеистов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1428	217	1810	989
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	20,1	2,72	25,7	15,4
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	776,0	117,3	1028,4	585,1
Объем сердца в см ³	927	192	1080	685
Относительный объем сердца в усл. ед.	70,8	30,1	105	43
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,57	0,25	1,90	1,39
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,2	0,50	5,1	3,2
Возраст (годы)	22,3	3,4	31	18
Вес в кг	71,4	4,8	81	63
Рост в см	173	5,8	186	164
Площадь поверхности тела в м ²	1,84	0,11	2,06	1,66

Сравнивая данные табл. 10 и 22, нетрудно заметить, что физическая работоспособность у хоккеистов существенно выше, чем у лиц нетренированных. В то же время

по сравнению с лыжниками, велосипедистами, конькобежцами и т. д. хоккеисты показывают более низкие величины PWC_{170} . По уровню физической работоспособности хоккеисты, таким образом, занимают промежуточное положение между представителями тех видов спорта, занятия которыми предъявляют высокие требования к развитию общей выносливости, и тех, в которых это качество специально не развивается.

Борьба. Дисперсия величин PWC_{170} у обследованных 22 борцов (в основном, перворазрядников) наблюдалась в пределах 1000—1600 кгм/мин. У отдельных спортсменов этот показатель был несколько меньше. Максимальная величина PWC_{170} (2150 кгм/мин) была зафиксирована у борца с самым высоким весом тела (87 кг). Довольно значительное рассеивание величин PWC_{170} объясняется несколькими причинами, среди которых не последнее место занимают антропометрические особенности борцов. Дело в том, что обследованные спортсмены существенно различались по размерам тела.

Средняя величина PWC_{170} у борцов (табл. 23) более чем на 25% превышает таковую у нетренированных. Физическая работоспособность у борцов ниже, чем у бегунов на средние дистанции, лыжников, гребцов, конькобежцев, велосипедистов и занимающихся спортивной ходьбой, поскольку эти спортсмены развивают в основном выносливость. Вместе с тем физическая работоспособность у борцов значительно выше, чем у гимнастов, тяжелоатлетов, конников. Абсолютная величина PWC_{170} и (в еще большей мере) физическая работоспособность, отнесенная на площадь поверхности тела, у борцов лишь несколько ниже, чем у представителей игровых видов спорта, где общая выносливость является тем качеством, без которого невозможны большие успехи.

Средняя величина PWC_{170} у участников данного эксперимента равнялась 1370 кгм/мин, у 14 чехословацких борцов — $1400,36 \pm 97,73$ кгм/мин (а в пересчете на 1 кг веса — $18,36 \pm 1,13$ кгм/мин·кг), у румынских спортсменов, специализирующихся в классической борьбе, — $1372 \pm 190,2$ кгм/мин, а в вольной — 1371 ± 276 кгм/мин.

Основываясь на приведенных данных, можно заключить, что борьба предъявляет весьма высокие требования к вегетативным системам организма. Благодаря расширению функциональных возможностей (и в первую оче-

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у борцов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1370	310	2150	976
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	18,6	2,8	24,7	14,5
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	756,9	126,6	1038,6	577,5
Объем сердца в см ³	935	119	1245,7	719,2
Относительный объем сердца на усл. ед.	69,0	12,9	100	43
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,46	0,34	2,32	1,04
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,1	0,68	5,8	3,2
Возраст (годы)	21,0	2,7	28	18
Вес в кг	69,5	8,8	87	55
Рост в см	168,6	6,0	181	159
Площадь поверхности тела в м ²	1,81	0,14	2,07	1,55

редь сердечно-сосудистой системы) у борцов отмечается довольно высокая физическая работоспособность.

Бокс. Был обследован 51 боксер, из которых 10 человек являлись перворазрядниками и кандидатами в мастера спорта, а остальные — мастерами спорта СССР и мастерами спорта международного класса. Величины PWC_{170} у спортсменов колебались в пределах 948—1859 кгм/мин. Лишь у одного боксера (вес 94 кг, рост 187 см, объем сердца 1390 см³, соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$ —

1,76), успешно выступавшего в тяжелом весе, эта величина намного выходила за верхние границы диапазона: 2456 кгм/мин. Кстати, она была выше, чем у всех обследованных высококвалифицированных спортсменов (а их было более 600) самых различных специализаций. Широкий диапазон колебаний величины PWC_{170} у боксеров, как и у представителей других специализаций, в которых

введены весовые категории, безусловно, отражает своеобразие физического развития спортсменов. Так, у одного спортсмена, который весил 48 кг, величина PWC_{170} равнялась 948 кгм/мин, а у другого, примерно той же квалификации, который весил 96 кг (вес наибольший среди обследованных спортсменов), она была почти в два раза больше. Величина PWC_{170} у обследованных боксеров в среднем составляла 1360 кгм/мин (табл. 24), что намного выше средних величин этого показателя у нетренированных, а также у спортсменов, развивающих главным образом скоростно-силовые качества. Физическая работоспособность у боксеров практически такая же, как у борцов и представителей игровых видов спорта (в пересчете на 1 кг веса тела и 1 м² поверхности тела).

В группе обследованных боксеров максимальное потребление кислорода в среднем равнялось 4,1 л/мин, а относительное максимальное потребление кислорода — 61 мл/мин·кг. Объем сердца у боксеров колебался в пределах 615—1440 см³ (среднее значение составляло 948 см³), а средний относительный объем сердца равнялся 77 ед., что позволяет говорить о существенном расширении полостей сердца. Поскольку у боксеров относительно высокие величины PWC_{170} , повышенная аэробная работоспособность, такое увеличение объема сердца является рациональным, физиологически обусловленным. Оно возникло в связи с тренировкой «на выносливость».

Эти данные в основном совпадают с приводимыми в литературе. Так, по Rouš с соавт. (1970), средняя величина PWC_{170} у 7 высококвалифицированных боксеров Чехословакии равнялась $1338,57 \pm 115,56$ кгм/мин; по Szögy (1970), у боксеров сборной команды Румынии — $1428 \pm 158,4$ кгм/мин (в пересчете на 1 кг веса тела — 18,8 кгм/мин·кг). Таким образом, можно сделать вывод, что занятия боксом способствуют весьма существенному повышению физической работоспособности.

Теннис. Диапазон колебаний величины PWC_{170} у 9 обследованных теннисистов-перворазрядников был весьма широким: 1000—1800 кгм/мин. Наибольшие величины PWC_{170} характерны для очень подготовленных спортсменов, игра которых отличается высокой интенсивностью. Несколько выше физическая работоспособность у теннисистов старшего возраста и у спортсменов с большим весом тела. Средняя величина PWC_{170} у обследованных тен-

теннисистов равнялась 1260 кг/мин (табл. 25), что превосходит средние данные нетренированных лиц. Физическая работоспособность, отнесенная на 1 кг веса тела, у теннисистов-перворазрядников практически такая же, как у борцов той же квалификации.

Таблица 24

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у боксеров

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кг/мин	1360	335	2456	948
Физическая работоспособность в кг/мин·кг	20,2	2,36	26,1	15,5
Физическая работоспособность в кг/мин·м ²	751,3	103,2	1116,3	653,8
Объем сердца в см ³	948	193	1440	615
Относительный объем сердца в усл. ед.	77	18,7	120	40
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,41	0,23	2,00	0,98
Максимальное потребление кислорода в л/мин	4,1	0,73	6,5	3,2
Возраст (годы)	23	2,7	30	18
Вес в кг	68,1	10,7	96	48
Рост в см	173,7	8,7	195	156
Площадь поверхности тела в м ²	1,81	0,18	2,27	1,45

Полученные в исследовании данные аналогичны литературным. Так, по данным Saltin a. Astrand (1967), как и в наших наблюдениях, максимальное потребление кислорода у теннисистов составляло 3,8 л/мин. Величина PWC_{170} , отнесенная на 1 кг веса тела, у 18 обследованных теннисистов Чехословакии равнялась $18,49 \pm 0,272$ кг/мин·кг (Rouš с соавт., 1970).

Это позволяет сделать заключение, что занятия теннисом являются хорошим средством для развития физической работоспособности.

Прыжки в воду. Этот вид спорта отличается сложной координацией движений, которая предъявляет высокие

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у теннисистов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1260	284	1800	990
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	18,4	3,22	24,2	15,0
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	692,3	138,6	918,3	543,9
Объем сердца в см ³	847	119	1059	730
Относительный объем сердца в усл. ед.	61,6	10,6	82,5	52,3
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,44	0,11	1,68	1,36
Максимальное потребление кислорода в л/мин	3,8	0,77	4,0	2,2
Возраст (годы)	20,4	2,8	26	18
Вес в кг	67,5	5,9	77	60
Рост в см	173,8	3,5	180	170
Площадь поверхности тела в м ²	1,82	0,06	1,90	1,72

требования к нервной системе и двигательному аппарату спортсмена. У 16 обследованных мастеров спорта по прыжкам в воду (табл. 26) средняя величина PWC_{170} равнялась 1195 кгм/мин (диапазон колебаний 950—1450 кгм/мин) — это превышает средние данные не только лиц, не занимающихся спортом, но и гимнастов, конников, тяжелоатлетов. Что касается физической работоспособности испытуемых, отнесенной на вес тела и площадь поверхности тела, то она ненамного отличается от таковой у теннисистов, борцов, баскетболистов. Нелишне заметить, что по возрасту спортсмены, специализирующиеся в прыжках в воду, являются одними из самых молодых, и поэтому тем большее значение приобретают относительно высокие величины PWC_{170} , зарегистрированные у них.

Выявленные сдвиги в физической работоспособности у прыгунов связаны, видимо, с тем фактом, что за одно тренировочное занятие они выполняют так много прыжков, что, поднимаясь на вышку, совершают в общей слож-

ности «восхождение», равное примерно 1 км. Такая ежедневная дополнительная работа, возможно, и способствует развитию выносливости, повышению физической работоспособности.

Таблица 26

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у прыгунов в воду

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1195	190	1518	868
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	17,7	2,1	20,3	13,0
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	671,3	113,8	862,5	474,3
Объем сердца в см ³	770	201	1030	560
Относительный объем сердца в усл. ед.	51	16,1	76	38
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,55	0,36	1,97	1,12
Максимальное потребление кислорода в л/мин	3,7	0,41	4,4	3,0
Возраст (годы)	19,7	1,8	24	18
Вес в кг	67,1	6,3	76,5	58
Рост в см	171,3	5,9	180	160
Площадь поверхности тела в м ²	1,78	0,08	1,95	1,65

Тяжелая атлетика. Величины PWC_{170} у 33 высококвалифицированных тяжелоатлетов — участников эксперимента — колебались в широком диапазоне: 800—1600 кгм/мин, что объясняется существенными различиями в размерах тела спортсменов. Так, одни испытуемые имели вес 50—60 кг, вес других превышал 100 кг. Средняя величина PWC_{170} составляла 1148 кгм/мин (табл. 27) и была близка той, которую приводят в своих работах Tornvall (1177±211 кгм/мин), Sjöstrand (1213 кгм/мин), Rouš с соавт. (1248,86±54,50 кгм/мин). Она выше, чем у нетренированных. Эти различия обусловлены, главным образом, следующим фактом. Почти у 30% тяжелоатлетов вес тела превышал 85 кг, что было

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у тяжелоатлетов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1148	224	1660	750
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	15,2	2,6	20,5	10,0
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	617,2	73,2	784,4	487,0
Объем сердца в см ³	766	184	1200	550
Относительный объем сердца в усл. ед.	48,2	12,8	74,0	28,5
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,54	0,22	1,98	1,20
Максимальное потребление кислорода в л/мин	3,6	0,49	4,7	2,7
Минимальный объем кровообращения в л/мин*	16,2 (17,8)	4,63	22,0	11,8
Систолический объем крови в мл*	110	23	157	77,5
Возраст (годы)	23,6	3,4	32	18
Вес в кг	77,3	18	130	55
Рост в см	167	10,6	191	148
Площадь поверхности тела в м ²	1,86	0,13	2,07	1,51

* Величины сердечного выброса определялись во время второй нагрузки теста PWC_{170} ($N_2 = 900$ кгм/мин).

максимумом у нетренированных. У спортсменов с таким большим собственным весом (свыше 85 кг) величина PWC_{170} в среднем равнялась 1367 кгм/мин. Поскольку у представителей более тяжелых весовых категорий выявлены большие значения PWC_{170} , понятно, что и средняя величина этого показателя у всей группы испытуемых была выше, чем у лиц, не занимающихся спортом. Вместе с тем у квалифицированных тяжелоатлетов и нетренированных, имеющих одинаковый вес тела, величина PWC_{170} практически одинакова. Это свидетельствует о недостаточно разносторонней подготовке тяжелоатлетов.

Конный спорт. Величины PWC_{170} у обследованных высококвалифицированных конников, как правило, колебались в диапазоне 900—1300 кгм/мин, средняя величина равнялась 1115 кгм/мин (табл. 28). Абсолютная физическая работоспособность, равно как и работоспособность, отнесенная на вес тела и площадь поверхности тела, у конников самые низкие. Практически эти показатели у них были такими же, как у тяжелоатлетов и гимнастов. Особенно низкие величины PWC_{170} (такие же, как у нетренированных) зарегистрированы у тех, кто занимается выездкой. У спортсменов, специализирующихся в скачках, показатели физической работоспособности более высокие.

Таблица 28

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у конников

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	115	161	1332	872
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	15,6	1,6	17,7	13,0
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	602,6	88,8	727,0	473,9
Объем сердца в см ³	834	118	980	660
Относительный объем сердца в усл. ед.	58,3	16,0	80,0	36,6
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,42	0,21	1,56	1,0
Максимальное потребление кислорода в л/мин	3,5	0,35	4,0	3,0
Возраст (годы)	27,7	0,8	42	18
Вес в кг	69,8	4,9	75	61
Рост в см	174,5	3,2	180	171
Площадь поверхности тела в м ²	1,85	0,01	1,94	1,72

Спортивная гимнастика. Величины PWC_{170} у 30 обследованных квалифицированных гимнастов колебались примерно в том же диапазоне, что и у нетренированных. Естественно, что и средние данные были почти одинаковыми у этих групп исследуемых. Средняя величина PWC_{170} у гимнастов равнялась 1044 кгм/мин (табл. 29).

Физическая работоспособность и некоторые другие анатомо-физиологические показатели у гимнастов

Показатели	Средняя величина \bar{X}	Стандартное отклонение σ	max	min
Физическая работоспособность в кгм/мин	1044	150	1400	793
Физическая работоспособность в кгм/мин·кг	16,5	2,0	20,9	12,8
Физическая работоспособность в кгм/мин·м ²	589,8	81,8	818,7	486,5
Объем сердца в см ³	767	136	1030	550
Относительный объем сердца в усл. ед.	54,4	16,4	96	38
Соотношение $\frac{PWC_{170}}{HV}$	1,42	0,23	1,72	0,90
Максимальное потребление кислорода в л/мин	3,4	0,34	4,2	2,8
Минутный объем кровосращения в л/мин*	17,9 (16,6)	3,8	26,7	15,1
Систолический объем крови в мл*	118	28	159,6	88,4
Возраст (годы)	21,2	2,9	30	18
Вес в кг	63,5	4,7	72	53
Рост в см	173,9	3,9	176	160
Площадь поверхности тела в м ²	1,77	0,08	1,88	1,55

* Величины сердечного выброса определялись во время второй нагрузки теста PWC_{170} ($N_2 = 800$ кгм/мин).

Телерентгенологическое исследование показало, что абсолютный и относительный объемы сердца у гимнастов практически такие же, как у не занимающихся спортом. То же можно сказать и о максимальном потреблении кислорода. Лишь в пересчете на 1 кг веса тела этот показатель у гимнастов (53 мл·кг) оказался несколько выше, чем у нетренированных (47 мл·кг).

В видах спорта «на выносливость» величина PWC_{170} повышается с ростом мастерства спортсменов. В гимнастике такого параллелизма нет. Более того, у высококвалифицированных гимнастов, включающих в тренировку упражнения исключительно гимнастического многоборья, величины PWC_{170} ниже, чем у значительно уступающих им в классе гимнастов — студентов института физической

культуры. Объясняется это, видимо, тем, что студенты помимо гимнастики по учебной программе занимаются еще и легкой атлетикой, и плаванием, и другими видами спорта, направленными на развитие выносливости.

В литературе приводятся неодинаковые сведения о физической работоспособности у гимнастов. Так, у высококвалифицированных гимнастов Швеции и Чехословакии отмечаются относительно высокие показатели. Максимальное потребление кислорода у шведских гимнастов 3,9 л/мин, а отнесенное на 1 кг веса тела — около 60 мл (Sallin a. Åstrand, 1967). По данным этих же авторов, максимальное потребление кислорода у нетренированных составляет 3,1 л/мин. Средняя величина PWC_{170} у чехословацких гимнастов равна $1223,31 \pm 37,93$ кгм/мин, или 17,86 кгм/мин·кг (Rou с соавт., 1970). У румынских гимнастов, по данным Szögy с соавт. (1970), средняя величина PWC_{170} ниже 975 кгм/мин, а рассчитанная на 1 кг веса тела — 15,4 кгм/мин·кг. Максимальное потребление кислорода у них лишь 2,9 л/мин, а отнесенное на 1 кг веса тела — 46,2 мл. У гимнастов Канады максимальное потребление кислорода на 1 кг веса тела равно 42 мл·кг (Cumming, 1968).

Если исходить из того, что данные о физической работоспособности позволяют составить представление о функциональном состоянии вегетативных систем организма, и в первую очередь о кардио-респираторной системе, то исследования, проведенные в кардиологической лаборатории ГЦОЛИФК, свидетельствуют, что занятия спортивной гимнастикой, безусловно способствуя совершенствованию двигательной культуры спортсмена, вместе с тем оказывают умеренное влияние на вегетативные функции организма.

Величина PWC_{170} у спортсменок

Различия в физической работоспособности, зависящие от пола, отмечаются не только у нетренированных, но и у лиц, занимающихся спортом. Спортивная деятельность отражается на различных параметрах физиологических функций, ответственных за энергетическое обеспечение работающих мышц. Причем характер ее имеет существенное значение для величины PWC_{170} . С тем, чтобы исклю-

чить воздействие этого фактора, была сопоставлена физическая работоспособность у женщин и мужчин двух однородных по своему составу групп: первую составили спортсмены, занимающиеся гимнастикой и прыжками в воду, а вторую — специализирующиеся в видах спорта «на выносливость» (конькобежном, гребле, лыжном). Как видно из табл. 30, в обеих группах у женщин величина PWC_{170} намного ниже.

Таблица 30

PWC_{170} у женщин и мужчин, занимающихся спортом (кгм/мин)

Группы	I (гимнастика, прыжки в воду)	II (конькобежный, лыжный спорт, гребля)
Женщины	835	1144
Мужчины	1097	1630

Таким образом, физическая работоспособность у женщин, как не занимающихся спортом, так и у спортсменок, ниже, чем у мужчин.

Анализ величины PWC_{170} позволяет судить о морфологических особенностях, функциональном состоянии аппарата кровообращения и дыхания. В свою очередь, физическая работоспособность зависит от возможностей кардио-респираторной системы. Объем сердца у нетренированных женщин в возрасте 20—29 лет равен в среднем 579 см^3 , в то время как у мужчин того же возраста — 797 см^3 (Reindell с соавт., 1956). Величину объема сердца рассматривают как надежный критерий увеличения резервного объема крови. Последний, в свою очередь, является мерой функционального резерва сердца. Поскольку диастолическая емкость желудочков у женщин уменьшена, повышение ударного объема крови при мышечной деятельности у них оказывается менее выраженным, чем у мужчин (Christensen с соавт., 1931). В исследованиях Astrand с соавт. (1968) максимальный сердечный выброс во время мышечной работы у женщин достигал $18,5 \text{ л/мин}$, а у мужчин — $24,1 \text{ л/мин}$; ударный объем крови соответственно 100 и 134 мл. Следует добавить, что у женщин уменьшен и общий объем крови. Все это

ограничивает у них транспорт кислорода из окружающей среды к работающим мышцам и определяет более низкую физическую работоспособность.

Если принять физическую работоспособность у мужчин соответствующих групп за 100%, то у нетренированных женщин величина PWC_{170} составит лишь 62,3%, у спортсменок первой группы — 76,1%, а у спортсменок второй группы — 70,1%.

Величина PWC_{170} у спортсменов-юниоров

В процессе онтогенетического развития организма человека происходит ряд закономерных морфологических и функциональных изменений различных органов и систем, и в частности аппарата кровообращения. С возрастом уменьшается частота сердечных сокращений, увеличивается объем сердца и т. д. Рост сердца заканчивается к 16—20 годам. По данным А. Ю. Грубиной и Д. Е. Каплуновой (1937), в 60% случаев сердце подростков и юношей может относиться к типу взрослых. Параллельно с этими изменениями изменяются приспособление его к физическим нагрузкам и, следовательно, физическая работоспособность. Если величина PWC_{170} у 10-летних мальчиков составляет 316 кгм/мин, то к 15 годам она возрастает более чем в 2 раза (Alderman, 1969) и, наконец, у взрослых мужчин становится 1027 кгм/мин (по нашим данным).

В связи с «омоложением» современного спорта для наиболее эффективного отбора перспективных юношей, оптимального планирования тренировочного процесса особый интерес представляют сведения о физической работоспособности у юных спортсменов. Сравнительный анализ величин PWC_{170} у юношей-спортсменов и взрослых спортсменов производился с учетом их специализации. Полученные данные позволяют говорить, что у юношей, как и взрослых, величина PWC_{170} выражено зависит от характера мышечной работы. Самые высокие величины PWC_{170} выявлены у юношей, занимающихся видами спорта циклического характера, а самые низкие — у гимнастов и прыгунов в воду.

Как видно из табл. 31, средняя величина PWC_{170} у 17—18-летних велосипедистов, лыжников, конькобежцев, бегунов на средние дистанции равнялась 1531 кгм/мин,

что едва ли не на 50% выше данных нетренированных взрослых мужчин. Несколько меньше эта величина у юных футболистов (1452 кгм/мин), борцов, боксеров (1331 кгм/мин), т. е. у представителей тех видов спорта, в которых воспитанию выносливости, хотя она и не является ведущим качеством, уделяют большое внимание. У юношей-гимнастов, прыгунов в воду средняя величина PWC_{170} (1042 кгм/мин) была практически такой же, как у нетренированных взрослых мужчин.

Величины PWC_{170} у юношей-спортсменов практически такие же, как и у взрослых спортсменов. Статистическая обработка материала показала, что имеющиеся различия недостоверны. Таким образом, по-видимому, условия функционирования вегетативных систем у 17—18-летних спортсменов уже столь совершенны, что позволяют им достичь уровня физической работоспособности взрослых спортсменов.

Таблица 31

Физическая работоспособность у спортсменов различного
возраста и специализации
(средняя величина PWC_{170} в кгм/мин)

Группы видов спорта	Возраст	\bar{X}	σ	max	min	Число обследованных
Велосипедный, лыжный, конькобежный, легкоатлетический бег на средние дистанции	17—18 лет	1531	263	2070	1155	11
	19 лет и старше	1675	250	2400	1200	63
Футбол	17—18 лет	1452	175	1781	1080	17
	19 лет и старше	1556	231	1910	1230	18
Бокс, борьба	17—18 лет	1331	358	2150	1085	10
	19 лет и старше	1390	335	2456	948	62
Гимнастика, прыжки в воду	17—18 лет	1042	166	1294	793	13
	19 лет и старше	1119	188	1518	835	32

PWC_{170} и спортивная квалификация

Поскольку физическая работоспособность у спортсменов выше, чем у нетренированных, можно было бы предположить, что чем выше квалификация спортсмена, тем

большей должна быть величина PWC_{170} . Однако анализ данных, полученных при исследовании спортсменов различных специализаций, показал, что это положение справедливо лишь отчасти.

Испытуемые были разделены на 4 группы в зависимости от характера спортивной деятельности. В первую группу вошли конькобежцы, бегуны на средние дистанции, гребцы и лыжники, во вторую — баскетболисты, в третью — борцы и боксеры, в четвертую — тяжелоатлеты. Как видно из табл. 32, у спортсменов I разряда величины PWC_{170} меньше, чем у мастеров спорта. При этом прослеживается определенная закономерность: в первой группе у специализирующихся в тех видах спорта, в которых воспитанию выносливости уделяется наибольшее внимание, разница в величинах PWC_{170} особенно выражена. Во второй группе и (в меньшей степени) в третьей у мастеров спорта величины PWC_{170} также больше, чем у перворазрядников; однако статистический анализ показал, что эта разница недостоверна. У спортсменов четвертой группы, которые обычно мало работают над совершенствованием общей выносливости, физическая работоспособность не зависела от спортивной квалификации.

Таблица 32

Величины PWC_{170} (кгм/мин) у спортсменов различной квалификации

Группа спортсменов	Квалификация		Достоверность различия
	Мастера спорта $\bar{X} \pm S_x$	I разряд $\bar{X} \pm S_x$	
1-я	1797 ± 36,2	1533 ± 28,9	$P < 0,001$
2-я	1664 ± 46,0	1464 ± 96,1	$P > 0,05$
3-я	1389 ± 47,5	1323 ± 60,2	$P > 0,05$
4-я	1153 ± 46,6	1134 ± 81,6	$P > 0,05$

PWC_{170} и вес тела

На величину PWC_{170} существенное влияние оказывают особенности физического развития спортсмена. Так, на одних и тех же соревнованиях по боксу у победителя в наилегчайшем весе величина PWC_{170} равнялась

1150 кгм/мин, у спортсмена, занявшего первое место в полусредней весовой категории, — 1518 кгм/мин, а у лучшего тяжеловеса — 2456 кгм/мин.

Изучение физической работоспособности и веса тела у спортсменов, специализирующихся в различных видах спорта, в той или иной мере способствующих развитию выносливости, показало, что чем выше вес тела, тем больше величина PWC_{170} : у спортсменов весом тела от 50 до 59 кг средняя величина PWC_{170} равнялась 1185 кгм/мин, от 60 до 69 кг — 1335 кгм/мин, от 70 до 79 кг — 1475 кгм/мин и т. д. Создается впечатление, что имеется линейная зависимость между этими показателями. Однако, поскольку среди обследованных были представители различных видов спорта, с различным физическим развитием, очевидно, на значении величины PWC_{170} могло отразиться влияние как спортивной специализации, так и особенностей конституции спортсмена. Следовательно, методологически такой подход к анализу показателей физической работоспособности и веса тела, хотя и основанный на достаточно большом числе наблюдений, не является идеальным. Чтобы исключить влияние спортивной специализации и выявить «чистую» зависимость физической работоспособности от веса тела, были изучены взаимоотношения между этими показателями у спортсменов тех видов спорта, в которых введены весовые категории. В табл. 33 представлены значения величин PWC_{170} у тяжелоатлетов, борцов и боксеров различных весовых категорий. Отчетливо видно, что, как и в группе спортсменов других специализаций, у представителей единоборств и тяжелоатлетов с нарастанием веса тела физическая работоспособность увеличивается. Между величинами PWC_{170} и весом тела (P кг) имеется взаимосвязь (рис. 11), которая может быть описана простыми линейными уравнениями:

$$PWC_{170} \text{ (для боксеров)} = 15,0 \cdot P + 300. \quad (14)$$

$$PWC_{170} \text{ (для борцов)} = 19,0 \cdot P + 50. \quad (15)$$

$$PWC_{170} \text{ (для тяжелоатлетов)} = 8,5 \cdot P + 495. \quad (16)$$

В спорте нередко возникает необходимость сопоставить физическую работоспособность у спортсменов различного веса. Чтобы сгладить влияние этого антропометрического показателя на величину PWC_{170} , ее целесообразно выражать в относительных величинах, т. е. PWC_{170}

**Физическая работоспособность у спортсменов
различных весовых категорий**

Тяжелая атлетика		Борьба		Бокс	
Исходные категории в кг	PWC_{170} в кг/мин*	Весо- вые ка- тегории в кг	PWC_{170} в кг/мин*	Весоные кате- гории в кг	PWC_{170} в кг/мин*
56	925(16,5)	57	1130 (19,8)	57	1134 (19,9)
60	920(15,3)	63	1241 (19,8)	60	1267 (21,1)
67,5	1086(16,2)	68	1290 (16,0)	63,5	1196 (18,9)
75	1063(14,1)	74	1416 (19,1)	67	1299 (19,4)
82	1268(15,1)	82	1557 (18,9)	71	1374 (19,3)
90	1361(15,1)	90	—	75	—
110	1359(12,3)	100	—	81	1389 (17,1)
Свыше 110 .	1390	Свыше 100	—	Свыше 81	1761

* В скобках PWC_{170} в кг/мин·кг.

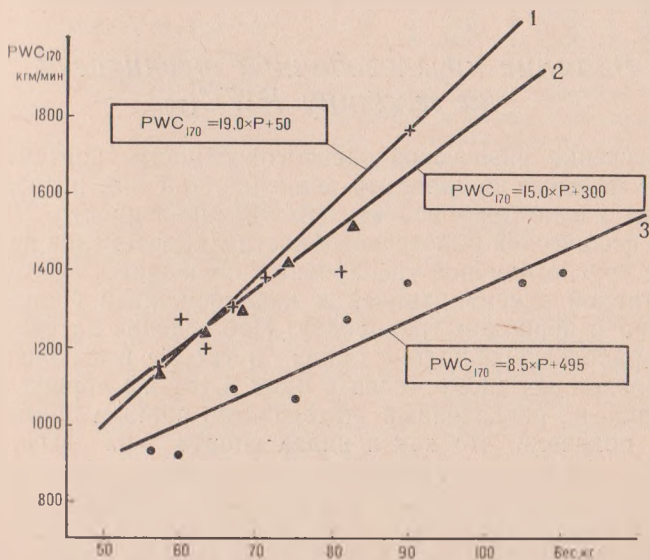


Рис. 11. Зависимость величины PWC_{170} от веса тела у борцов (1), боксеров (2) и тяжелоатлетов (3)

делить на вес тела в кг. Это дает возможность более объективно характеризовать физическую работоспособность у спортсменов.

Следует заметить, что относительная физическая работоспособность (см. табл. 33) с увеличением веса тела не только не увеличивается, но даже имеет тенденцию к уменьшению. По-видимому, это отражает сравнительно меньшую двигательную активность людей, имеющих большой вес тела, и, что еще важнее, тот факт, что у лиц различных весовых категорий соотношения между жировой тканью и мышечной неодинаковы, в то время как при расчете относительной физической работоспособности исходят из общего веса тела.

Высокие значения абсолютной физической работоспособности, например у баскетболистов или ватерполистов (см. рис. 10), в большей мере определяются их антропометрическими особенностями, чем характером спортивной деятельности. Наиболее высокие показатели PWC_{170} , отнесенные на 1 кг веса тела, отмечаются у спортсменов, специализирующихся в видах спорта, направленных на развитие выносливости.

Влияние круглогодичной тренировки на величину PWC_{170}

Изучение физической работоспособности спортсменов имеет большое прикладное значение, так как позволяет судить о некоторых аспектах их тренированности. Динамика физической работоспособности у спортсменов в процессе круглогодичной тренировки определяется не только спортивной специализацией и квалификацией спортсменов, но и периодом тренировки. Наблюдение за физической работоспособностью одних и тех же высококвалифицированных спортсменов в один и тот же период тренировки, но разделенный интервалом, равным примерно году, показало, что как в видах спорта «на выносливость», так и в специализациях, в которых воспитанию этого качества уделяется значительно меньше времени, величина PWC_{170} практически не изменяется. Так, средняя величина PWC_{170} у гимнастов в 1969 г. в подготовительном периоде составляла 1065 ± 163 кгм/мин, в 1970 г., также в подготовительном периоде, — 1005 ± 192 кгм/мин;

у пятиборцев в аналогичных условиях она равнялась соответственно 1629 ± 386 кгм/мин и 1605 ± 287 кгм/мин; у боксеров, обследованных в соревновательном периоде, — 1459 ± 243 кгм/мин, а через год — 1418 ± 271 кгм/мин.

Исследование физической работоспособности у спортсменов в различные периоды годичного тренировочного цикла показало иную картину. У высококвалифицированных пятиборцев физическая работоспособность за шестимесячный период увеличилась на 10% (заключительное обследование проводилось за 2 недели до начала крупных международных соревнований).

Средняя величина PWC_{170} у баскетболистов одной из ведущих команд страны составляла в подготовительном периоде тренировки 1458 ± 354 кгм/мин, а в соревновательном — 1728 ± 211 кгм/мин. У команды ватерполистов в подготовительном периоде величина PWC_{170} в среднем равнялась 1552 ± 53 кгм/мин, а сразу после соревнований на первенство СССР и непосредственно перед ответственной международной встречей — 1882 ± 102 кгм/мин. Таким образом, у баскетболистов величина PWC_{170} с нарастанием спортивной формы увеличилась в среднем на 18,5% (270 кгм/мин), а у ватерполистов даже на 21,2% (330 кгм/мин), что свидетельствует о значительном повышении уровня тренированности. Вместе с тем у гимнастов величина PWC_{170} в различные периоды тренировки практически не изменяется. Это понятно, поскольку тренировке общей выносливости в гимнастике уделяют значительно меньше внимания (рис. 12).

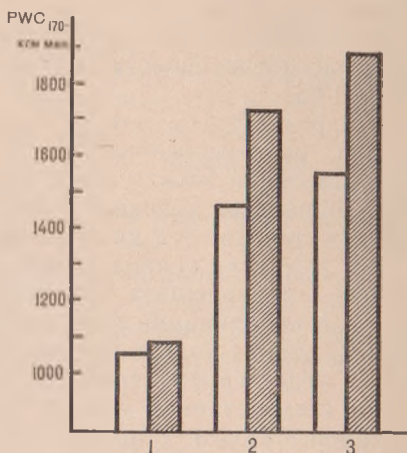


Рис. 12. Повышение физической работоспособности в соревновательном периоде (заштрихованные столбики) по сравнению с подготовительным периодом (белые столбики) у гимнастов (1), баскетболистов (2) и ватерполистов (3)

В литературе приводятся данные, касающиеся динамики самых различных показателей вегетативных систем организма в процессе тренировки. По мнению Л. Н. Жуковой, В. И. Левичева, Л. Н. Маркова, В. С. Павлова, Н. В. Ромм (1972), одними из самых информативных, наряду с данными кардиодинамики и объема сердца, являются показатели физической работоспособности. Определяя последнюю по тесту PWC_{170} , авторы установили, что в процессе годового тренировочного цикла физическая работоспособность у лыжников-гонщиков повышается на 17%.

По результатам динамических наблюдений за физической работоспособностью у спортсменов различных специализаций можно высказать следующие соображения. Во-первых, величина PWC_{170} у высококвалифицированных спортсменов лишь незначительно изменяется в одном и том же периоде тренировки. Во-вторых, в видах спорта, направленных на развитие силы, скорости и высокой координации движений, величина PWC_{170} на различных этапах подготовки спортсменов остается стабильной; в видах спорта, способствующих развитию выносливости, с нарастанием уровня тренированности она увеличивается. Таким образом, индивидуальная динамика величины PWC_{170} у спортсменов, специфическая деятельность которых требует развития общей выносливости, облегчает определение их физической подготовленности.

Величина PWC_{170} у спортсменов с электрокардиографическими признаками перенапряжения сердца

В значительной части случаев электрокардиографические признаки перенапряжения сердца обнаруживаются случайно, без каких-либо жалоб со стороны спортсмена (С. В. Степанова, 1971). Следовательно, некоторые спортсмены тренируются с явлениями ЭКГ-патологии. Сказывается ли это на их физической работоспособности?

Электрокардиографические признаки перенапряжения сердца были выявлены у 59 спортсменов в возрасте от 17 до 32 лет. У 45 из них имелись выраженные нарушения фазы реполяризации, а у 14 — умеренные. В первом случае нарушения можно было рассматривать как признаки

синдрома перенапряжения II—III степени, а во втором — I степени, по А. Г. Дембо (1964).

Для дальнейшего анализа все спортсмены были распределены на 3 группы: первую составили 20 спортсменов, тренирующихся «на выносливость», вторую — 20 спортсменов, в тренировке которых развитие общей выносливости не было доминирующим, и третью — 10 спортсменов с низким уровнем развития выносливости (гимнасты, тяжелоатлеты, стрелки, спринтеры). В каждой из этих групп определялась физическая работоспособность по тесту PWC_{170} . Полученные результаты сопоставлялись с величинами PWC_{170} у спортсменов той же специализации и квалификации, но с нормальной электрокардиограммой (табл. 34).

Исследование показало, что у спортсменов с перенапряжением сердца, относящихся к первой и второй группам, отмечается относительное уменьшение физической работоспособности с достоверной разницей. В третьей группе хотя и было обнаружено относительное снижение физической работоспособности, оно оказалось статистически недостоверным.

Таблица 34

Физическая работоспособность у спортсменов с электрокардиографическими признаками перенапряжения сердца

Группы испытуемых	Величина PWC_{170} в кг/мин		Достоверность
	Спортсмены с перенапряжением сердца $\bar{X} \pm m$	Здоровые спортсмены $\bar{X} \pm m$	
1-я	1409 ± 75	1558 ± 12	$P < 0,05$
2-я	1204 ± 38	1458 ± 10	$P < 0,001$
3-я	1097 ± 92	1139 ± 44	$P > 0,1$

Таким образом, возникновение ЭКГ-синдрома перенапряжения сердца у спортсменов с высокой физической работоспособностью приводит к ухудшению ее. У спортсменов, специфическая деятельность которых не развивает высокой физической работоспособности, изменения ЭКГ не сопровождаются существенным уменьшением величины PWC_{170} .

Глава IV. Физическая работоспособность и кардио-респираторная производительность

Как уже было сказано, физическая работоспособность — в определенной мере интуитивное понятие. Количественное выражение физической работоспособности с помощью теста PWC_{170} является важным шагом на пути объективизации этого полезного физиологического понятия. Вместе с тем для широкого использования величин PWC_{170} в качестве меры физической работоспособности человека необходимо сопоставлять их с важнейшими физиологическими показателями.

В предыдущей главе было отмечено, что наибольшие величины PWC_{170} наблюдаются у спортсменов, для которых характерна высокая кардио-респираторная производительность. И, наоборот, если спортсмены по функциональным возможностям кровообращения и дыхания существенно не отличаются от нетренированных лиц, величины PWC_{170} у них невелики. В связи с этим представляется целесообразным сопоставлять величины PWC_{170} с показателями кардио-респираторной производительности. В лаборатории кардиологии ГЦОЛИФК было проведено несколько серий исследований, в которых изучались взаимоотношения между величинами PWC_{170} , с одной стороны, и максимальным потреблением кислорода, объемом сердца, сердечным выбросом и фазами сердечного цикла — с другой.

PWC_{170} и аэробная работоспособность

Как известно, величина потребляемого мышцами кислорода эквивалентна производимой ими работе. Поэтому потребление организмом кислорода возрастает пропорционально мощности выполняемой человеком физической работы. Однако этот рост наблюдается в определенных пределах. Сверх некоторой индивидуально предельной

величины (максимальное потребление кислорода) потребление кислорода не увеличивается, даже если мощность мышечной работы будет повышаться.

Величина максимального потребления кислорода весьма надежно характеризует физическую работоспособность спортсмена, или, точнее, так называемую аэробную работоспособность. Как показывают экспериментальные данные, между максимальным потреблением кислорода и результатами в стайерском беге, плавании, лыжных гонках и т. д. имеется высокодостоверная корреляция (Н. И. Волков, 1967; В. С. Фарфель, 1969; Р. О. Åstrand, 1956, и др.).

Для изучения вопроса о связи между величинами PWC_{170} и максимального потребления кислорода была обследована группа из 114 спортсменов различной квалификации (от второразрядников до мастеров спорта международного класса). 69 из них занимались видами спорта циклического характера, 27 — спортивными играми, 8 — боксом или борьбой, 10 — тяжелой атлетикой или гимнастикой. Дополняют характеристику испытуемых данные, представленные в табл. 35.

Таблица 35

Рост, вес и возраст испытуемых

Показатели	Средняя величина $\bar{X} \pm \sigma$	Пределы колебаний
Рост в см	175,4 ± 8,6	158—192
Вес в кг	71,1 ± 11,4	61—112
Возраст (годы)	23,6 ± 3,8	18—36

Процедура исследования заключалась в следующем. Испытуемый выполнял на велоэргометре три нагрузки. Две первые продолжались по 5 мин. каждая с трехминутным отдыхом между ними. Интенсивность их подбирались таким образом, чтобы частота пульса в конце первой увеличивалась до 100—120 уд/мин, а в конце второй — до 140—160 уд/мин. Испытуемые работали без масок, применяемых для забора выдыхаемого воздуха, без предварительной разминки. Частота сердечных сокращений

в конце каждой нагрузки определялась по электрокардиограмме. На основании данных этих двух нагрузок рассчитывалась физическая работоспособность по тесту PWC_{170} .

Третья нагрузка представляла собой работу повышающейся мощности, которую испытуемый выполнял через 5—10 мин. после второй. Величина начальной мощности составляла 450—900 кгм/мин и в дальнейшем каждые 3 мин. повышалась на 300—450 кгм/мин до тех пор, пока испытуемый был в состоянии педалировать на велоэргометре.

По данным третьей нагрузки, у спортсменов определялось максимальное потребление кислорода. Для этого выдыхаемый воздух собирался в мешки Дугласа в течение последних 30 сек. на каждом уровне мощности работы, а также в конце работы. Расчеты, связанные с определением количества потребляемого кислорода, производились на основании номограммы Dill et al (цит. по Consolazio, 1963).

Безусловным доказательством достижения испытуемым индивидуального «кислородного потолка» в соответствии с представлениями Herbst (1928) служило возникновение «плато» (рис. 13) на графике зависимости потребления кислорода от мощности работы (leveling off — в англо-американской литературе). В качестве дополнительных критериев рассматривались величина дыхательного коэффициента и частота сердечных сокращений, достигнутые в момент отказа от продолжения работы.

Из табл. 36, где представлены результаты исследования, видно, что индивидуальные величины максимального потребления кислорода колебались в довольно широ-

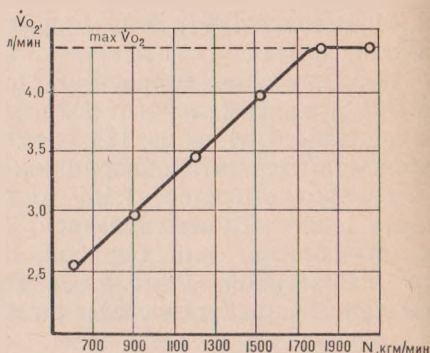


Рис. 13. Изменение потребления кислорода (\dot{V}_{O_2}) при мышечной работе повышающейся мощности (N)

ких пределах. Этот факт объясняется тем, что среди испытуемых были спортсмены, как тренирующиеся «на выносливость», так и развивающие скоростно-силовые качества.

Таблица 36

Физическая работоспособность, максимальное потребление кислорода и некоторые другие показатели, зарегистрированные в условиях максимального потребления кислорода

Показатели	Средняя величина $\bar{X} \pm \sigma$	Пределы колебаний
PWC_{170} в кгм/мин	1527 ± 339	735—2400
Максимальное потребление кислорода в л/мин, $STPD$	4,43 ± 0,89	2,45—6,23
Частота сердечных сокращений в уд/мин	189,7 ± 8,8	170—216
Легочная вентиляция в л/мин, $BTPS$	149,8 ± 36,4	74,8—247,4
Дыхательный коэффициент	1,14 ± 0,08	1,01—1,36
Мощность физической работы в кгм/мин	1847 ± 284	900—3240

Корреляционный анализ показал, что между величинами PWC_{170} и максимального потребления кислорода у спортсменов имеется высокая положительная связь. Так, коэффициент корреляции (r) оказался равным +0,905. Эти данные хорошо согласуются с данными,

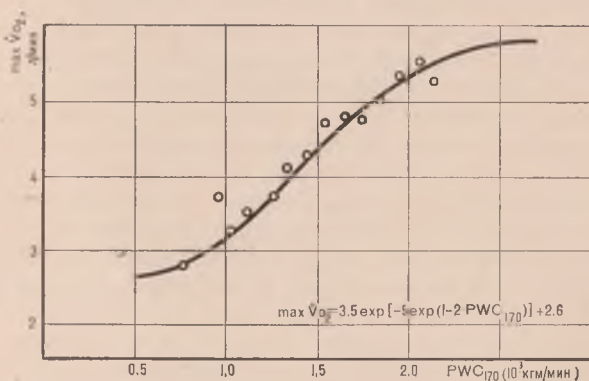


Рис. 14. Взаимосвязь между величинами PWC_{170} и максимального потребления кислорода ($max \dot{V} O_2$)

приведенными в литературе: по Millahn (1965), $r = +0,893$; по de Vries u. Klafs (1965), $r = +0,703$.

Более детальный анализ показал, что между величинами максимального потребления кислорода и PWC_{170} имеет место сложная S-образная взаимосвязь (рис. 14). При этом в зоне больших значений PWC_{170} прирост максимального потребления кислорода невелик, что, по-видимому, связано с лимитацией производительности кардиореспираторной системы у человека, специально развивающего аэробную работоспособность. В зоне низких значений PWC_{170} механизм ослабления взаимосвязи между PWC_{170} и максимальным потреблением кислорода другой: если спортсмен специально не развивает аэробной работоспособности, индивидуальная вариабельность величин максимального потребления кислорода определяется лишь биологически детерминированной производительностью кардиореспираторной системы.

В зоне нормальных для спортсменов величин PWC_{170} (1100—1800 кгм/мин) взаимосвязь между максимальным потреблением кислорода и PWC_{170} имеет выраженный и близкий к линейному характер.

Следовательно, объективность информации о состоянии физической работоспособности по PWC_{170} хорошо подтверждают величины, характеризующие кислородный режим организма, его аэробную производительность.

Использование величин PWC_{170} для определения максимального потребления кислорода. Факт высокой положительной корреляции между PWC_{170} и максимальным потреблением кислорода позволяет говорить о возможности использования величин PWC_{170} для определения максимального потребления кислорода. Такая возможность при субмаксимальном тестировании имеет большое практическое значение. Дело в том, что процедура определения максимального потребления кислорода является крайне тяжелой для испытуемого, поэтому не должна проводиться часто. Вместе с тем необходимость частого определения этого показателя диктуется запросами врачебного и педагогического контроля.

Попытки использования PWC_{170} для предсказания максимального потребления кислорода уже делались. Недостаточная надежность их объясняется, по-видимому, тем, что между максимальным потреблением кислорода и PWC_{170} искались линейные взаимоотношения.

Величины максимального потребления кислорода (МПК),
рассчитанные по уравнению (17)

	МПК в л/мин	PWC_{170} в кгм/мин	МПК в л/мин	PWC_{170} в кгм/мин	МПК в л/мин	PWC_{170} в кгм/мин	МПК в л/мин
500	2,62	1000	3,15	1500	4,37	2000	5,32
600	2,66	1100	3,38	1600	4,62	2100	5,43
700	2,72	1200	3,60	1700	4,83	2200	5,57
800	2,82	1300	3,88	1800	5,06	2300	5,66
900	2,97	1400	4,13	1900	5,19	2400	5,72

При аппроксимации S-образных взаимоотношений между максимальным потреблением кислорода и PWC_{170} (В. Л. Карпман, И. А. Гудков и Г. А. Койдинова, 1972) было получено следующее уравнение:

$$\max \dot{V}O_2 = 3,5 \exp [-5 \exp (1 - 2 \cdot PWC_{170})] + 2,6, \quad (17)$$

где

$\max \dot{V}O_2$ — максимальное потребление кислорода в л/мин (STPD),

PWC_{170} — физическая работоспособность в тысячах кгм/мин.

Сопоставление индивидуальных величин максимального потребления кислорода, зарегистрированных в экспериментах, с рассчитанными по формуле (17) показало, что почти у всех испытуемых расхождения не превышали $\pm 15\%$ (лишь у двух человек они достигали $\pm 20\%$). Таким образом, создается впечатление, что эта формула может быть использована для определения максимального потребления кислорода по величинам PWC_{170} у высококвалифицированных спортсменов. В табл. 37 приведены данные, позволяющие, не прибегая к решению уравнения, определять величину максимального потребления кислорода.

С целью сравнительного анализа взаимоотношений между максимальным потреблением кислорода и величинами PWC_{170} у здоровых нетренированных людей и у высококвалифицированных спортсменов была произведе-

дена линейная аппроксимация наших наблюдений. Уравнение регрессии при этом имеет следующий вид:

$$\max V_{O_2} = 2,2 \cdot PWC_{170} + 1070 \quad (18)$$

Сопоставление этого уравнения с аналогичным уравнением, приведенным в работе В. Л. Карпмана, З. Б. Белоцерковского, Б. Г. Любиной (1969), показывает, что повышение уровня физической подготовленности человека характеризуется увеличением соотношения максимальное потребление кислорода в среднем с 1,7

PWC_{170} до 2,2. Уравнение (18) весьма близко к аналогичному уравнению, полученному Millahn (1965).

Таким образом, результаты описанного исследования дают основание рекомендовать расчеты максимального потребления кислорода у спортсменов по величине PWC_{170} . То, что между индивидуальными величинами максимального потребления кислорода, рассчитанными по формуле (17) и полученными эмпирическим путем, нет идеального совпадения, в достаточной степени компенсируется простотой и доступностью предлагаемого косвенного метода.

При динамическом наблюдении за колебаниями индивидуальных значений максимального потребления кислорода у того или иного спортсмена (например, в течение годового тренировочного цикла) весьма перспективным является однократное сопоставление расчетных данных с результатами прямого тестирования. Обнаруживаемая при этом ошибка используется для коррекции последующей расчетной информации.

Физическая работоспособность и сердечно-сосудистая система

В системе транспорта кислорода основным лимитирующим звеном является аппарат кровообращения. Из этого известного факта следует, что физическая работоспособность человека также определенным образом зависит от функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы.

Производительность спортивного сердца, его функцио-

нально-резервные возможности детерминированы главным образом диастолической емкостью желудочков и сократимостью миокарда (В. Л. Карпман, 1970). В связи с этим представлялось целесообразным рассмотреть в первую очередь взаимоотношения между величинами объема сердца, который является мерой диастолической емкости желудочков, и величинами PWC_{170} .

Объем сердца. При систематической спортивной тренировке развивающаяся физиологическая дилатация полостей сердца приводит к увеличению резервного объема крови. Благодаря этому при мышечной работе увеличение минутного объема кровообращения достигается наиболее рационально за счет существенного увеличения систолического объема крови. Из этих фактов следует, что информация об объеме сердца может быть использована для объективной оценки физической работоспособности по тесту PWC_{170} .

Исследование объема сердца в последнее время получило широкое распространение в спортивной медицине (Reindell с сотр., 1960; Ю. А. Борисова, 1969; С. В. Хрушев, 1970, и др.). Для расчета величин объема сердца применяется биплановая телерентгенометрия сердца.

Анализ корреляционных взаимоотношений между величинами PWC_{170} и объема сердца, проведенный у 410 спортсменов различной специализации и квалификации, показал высокую положительную корреляцию: коэффициент корреляции (r) для всей совокупности оказался равным $+0,62$ ($P < 0,005$). Таким образом, чем больше объем спортивного сердца (в физиологическом диапазоне дилатации), тем выше физическая работоспособность спортсмена, измеренная по тесту PWC_{170} . В соответствии с этим взаимосвязь между величинами объема сердца и PWC_{170} является физиологически детерминированной и подтверждающей объективность информации о физической работоспособности, получаемой с помощью теста PWC_{170} .

При более детальном анализе было установлено, что между величинами объема сердца и PWC_{170} имеет место параболическая взаимосвязь (рис. 15). Кривая, характеризующая эту взаимосвязь в зоне высоких значений PWC_{170} , приобретает близкое к горизонтальному направление. Это означает, что физическая работоспособность, превышающая 1900 кгм/мин, достигается при физиологи-

чески предельной дилатации сердца (около 1200 см³).

В целях использования значения PWC_{170} для предсказания нормальной величины объема сердца у спортсмена применяется уравнение параболы, аппроксимирующее

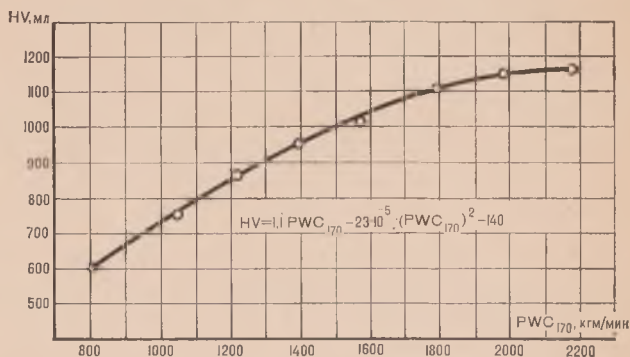


Рис. 15. Взаимосвязь между объемом сердца (HV) и PWC_{170}

экспериментальные точки (приведенные на рис. 15). Это уравнение имеет следующий конкретный вид:

$$HV = 1,1 \cdot PWC_{170} - 23 \cdot 10^{-5} (PWC_{170})^2 - 140, \quad (19)$$

где

HV — объем сердца в см³.

Как показано на рис. 16, взаимоотношения между относительным объемом сердца (RHV) и величиной PWC_{170} имеют линейный характер. Они надежно аппроксимируются следующим простым уравнением (Ю. А. Борисова):

$$RHV = 0,035 PWC_{170} + 17,5. \quad (20)$$

В настоящее время проводится практическая проверка надежности формул (19) и (20).

Систолический объем крови. Объем сердца определяет величину максимального систолического объема крови при физической работе (Р. А. Меркулова, Ю. А. Борисова, 1971). Поэтому можно ожидать, что максимальный систолический объем крови также будет взаимосвязан с величиной PWC_{170} .

В специальном исследовании Bevegård, Holmgren и Jonsson (1963) показали, что такая взаимосвязь действительно наблюдается. Они получили следующее уравнение регрессии:

$$Q_s = 49,1 + 0,0716 PWC_{170}, \quad (21)$$

где Q_s — систолический объем крови в мл.
 В лаборатории кардиологии ГЦОЛИФК на значительно большем числе наблюдений были проанализиро-

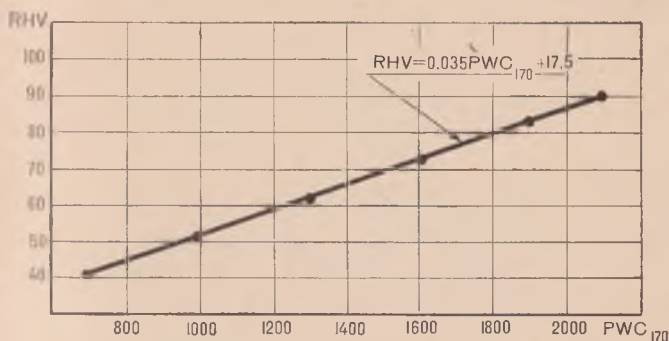


Рис. 16. Взаимосвязь между относительным объемом сердца (RHV) и PWC_{170}

ваны взаимоотношения между показателями систолического выброса и PWC_{170} . В исследовании участвовали 158 спортсменов высокой квалификации, представляющих самые разные виды спорта. Изучалось взаимоотношение: 1) между величинами PWC_{170} и ударного объема в покое, 2) между этими же величинами при умеренной работе и 3) между величинами PWC_{170} и максимального систолического объема. Сердечный выброс определялся по методу возвратного дыхания CO_2 . Все определения ударного объема производились в положении испытуемых сидя.

В табл. 38 суммированы полученные данные. Они хорошо согласуются с литературными (В. Л. Карпман и Р. А. Карамзина, 1969; Bevegård, 1962; Astrand и др., 1964; Shephard и др., 1968, и др.).

Физическая работоспособность и систолический выброс
у спортсменов высокой квалификации

Показатели	\bar{X}	σ	Пределы колебаний	
			max	min
Ударный объем в покое	70,5	16,1	98	42
Ударный объем при стандартной работе (600 кгм/мин)	130	22	189	81
Максимальный ударный объем	144,1	27,5	205	81
PWC_{170}	1497	319	2241	714

При помощи корреляционного анализа между максимальным систолическим объемом и величиной PWC_{170} у спортсменов была установлена высокодостоверная положительная связь ($P < 0,001$; $r = +0,851$). Менее тесной оказалась зависимость между уровнем физической работоспособности, оцениваемой по тесту PWC_{170} , и величиной ударного объема при стандартной работе ($r = +0,61$; $P < 0,001$). Корреляция между величинами ударного объема в покое и PWC_{170} оказалась недостоверной ($r = +0,26$; $P > 0,05$).

На основе первой высокодостоверной зависимости было признано целесообразным вывести простую формулу, по возможности надежно описывающую данную взаимосвязь. В результате регрессионного анализа 158 пар экспериментальных значений максимального ударного объема и уровня физической работоспособности было получено следующее уравнение:

$$\max Q_s = 0,08 (PWC_{170}) + 25, \quad (22)$$

где PWC_{170} — в кгм/мин, а ударный объем ($\max Q_s$) — в мл. Стандартные ошибки данной формулы при 95%-ном уровне вероятности составляют ± 25 мл.

При сравнении надежности уравнений (21) и (22) выявляется, что если PWC_{170} больше 1800 кгм/мин, различия в предсказании индивидуальной величины максимального систолического выброса у спортсменов практически несутсущественны. Однако у спортсменов с более низкими показателями PWC_{170} формула 21 будет давать завышенные данные о величине максимального ударного

объема, а у атлетов с более высокими показателями PWC_{170} , наоборот, заниженные.

Кардиодинамика. Длительность фаз сердечного цикла в условиях покоя и ее изменения при мышечной работе дают представление о сократимости миокарда. В связи с этим, безусловно, интересно сопоставление данных фазового анализа и величин PWC_{170} .

У 50 спортсменов различной квалификации и специализации регистрировалась длительность фаз систолы левого желудочка в покое и при различной по мощности физической работе. Все испытуемые были разделены на 3 группы в зависимости от их физической работоспособности. В первую группу были включены спортсмены с работоспособностью 800—1200 кгм/мин (в среднем 990 кгм/мин); во вторую — с работоспособностью 1200—1800 кгм/мин (в среднем 1590 кгм/мин); в третью — с работоспособностью 2000—2300 кгм/мин (в среднем 2140 кгм/мин).

В условиях покоя у большинства спортсменов отмечался фазовый синдром гиподинамии миокарда (В. Л. Карпман, 1965), свидетельствующий о специфической для спортивного сердца перестройке сердечного сокращения. Несколько реже этот синдром обнаруживался у спортсменов первой группы.

В табл. 39 и 40 представлены данные об изменениях длительности фазы изометрического сокращения и длительности сердечного цикла в связи с выполнением мышечной работы повышающейся мощности. В каждом случае исследование велось до момента минимизации фазы изометрического сокращения, который свидетельствовал о том, что контрактильность миокарда достигла индивидуального максимума (В. Л. Карпман, В. Л. Уткин, 1970).

Регистрация длительности фаз сердечного цикла велась с помощью специальной вычислительной машины, разработанной В. Л. Уткиным (1968). Благодаря этому можно было точно установить момент минимизации фазы изометрического сокращения.

Как следует из табл. 39, у спортсменов с низкими значениями PWC_{170} минимизация длительности изометрического сокращения наступает при относительно легкой работе. И, наоборот, у спортсменов с высокой физической работоспособностью этот момент возникает лишь при очень тяжелой работе. Таким образом, высокая физиче-

Длительность фазы изометрического сокращения
(средние данные в мсек.) во время мышечной работы
у спортсменов с различной физической работоспособностью

Мощность мышечной работы в кгм/мин	Средняя физическая работоспособность в кгм/мин		
	$PWC_{170}=990$ (1-я группа)	$PWC_{170}=1590$ (2-я группа)	$PWC_{170}=2140$ (3-я группа)
300	21 ± 9	35 ± 8	51 ± 6
600	12 ± 5	18 ± 4	34 ± 8
1200	0*	4 ± 1,6	16 ± 5
1600	—	0	6 ± 2
2000	—	—	0

* См. примечание к табл. 4.

ская работоспособность характеризуется наибольшей эффективностью сердечного сокращения. Миокард спортсмена с высокой физической работоспособностью затрачивает значительно меньшее усилие на пропульсивную деятельность сердца, нежели миокард спортсмена с низкой физической работоспособностью при сходных физических нагрузках.

Таблица 40

Длительность сердечного цикла (средние данные в мсек.)
во время мышечной работы у спортсменов с различной
физической работоспособностью

Мощность мышечной работы в кгм/мин	Средняя физическая работоспособность в кгм/мин		
	$PWC_{170}=990$ (1-я группа)	$PWC_{170}=1590$ (2-я группа)	$PWC_{170}=2140$ (3-я группа)
300	555 ± 28	660 ± 78	762 ± 53
600	466 ± 57	566 ± 70	676 ± 45
1200	326 ± 9	400 ± 34	483 ± 26
1600	—	347 ± 7	402 ± 31
2000	—	—	366 ± 10

Из данных, приведенных в табл. 40, следует, что лица с низкой физической работоспособностью выполняют сходную по мощности (по сравнению с теми, у кого показатели PWC_{170} высокие) мышечную работу при большей частоте сердечных сокращений. У них максимизация сер-

дочного сокращения возникает при более высоком сердечном ритме. Так, у спортсменов I группы этот момент наступил при частоте сердечных сокращений 183 уд/мин, а у спортсменов III группы — при 164 уд/мин.

И, наконец, спортсмены с высокой физической работоспособностью выполняют значительно большую работу при относительно сниженном пульсе.

Восстановление после физической работы фазовой структуры сердечного цикла, изменения в которой были названы нагрузкой, протекает у лиц с различной физической работоспособностью также по-разному. Об этом свидетельствуют материалы специального исследования кардиодинамики в восстановительном периоде у 106 высококвалифицированных спортсменов. В процессе исследования мощность работы во время нагрузок и их продолжительность варьировали в довольно широких пределах (от 500 до 5000 кгм/мин и от 30 сек. до 15 мин.).

Результаты этого исследования показывают, что чем выше уровень физической работоспособности спортсмена, тем быстрее протекает восстановительная перестройка кардиодинамики (после выполнения одной и той же по мощности работы).

Заключение

Под влиянием систематической тренировки физическая работоспособность спортсмена повышается. Насколько выражено это повышение, в значительной мере зависит от мастерства спортсмена и его специализации. Наибольшие величины физической работоспособности, рассчитанные по тесту PWC_{170} , отмечаются у специально тренирующихся «на выносливость» — лыжников, гребцов, легкоатлетов — бегунов на средние и длинные дистанции, велосипедистов-шоссейников и др. Среди этих спортсменов максимальные величины PWC_{170} показывают те, у кого наивысшая аэробная работоспособность.

У спортсменов, в тренировке которых развитию выносливости не придается специального значения, величины PWC_{170} увеличиваются лишь немного по сравнению с зарегистрированными у нетренированных. У тех, кто занимается спортивными играми, единоборствами и другими видами спорта, где на развитие выносливости отводится ограниченный объем тренировочных занятий, увеличение PWC_{170} носит умеренный характер.

Эти данные, естественно, не дают еще оснований для детального ранжирования видов спорта по тесту PWC_{170} , поскольку величина последней зависит от большого числа факторов, не связанных непосредственно с выносливостью человека. К числу таких факторов можно отнести спортивную квалификацию. Так, у гребцов — чемпионов СССР, мира и олимпийских игр величины PWC_{170} на 500 кгм/мин и более превышают средние значения для данного вида спорта.

Определенную роль играет и уровень тренированности спортсмена. Так, в процессе увеличения этого уровня в подготовительном периоде величины PWC_{170} могут возрасти на 10—20%.

Определение физической работоспособности по тесту PWC_{170} является физиологически детерминированным. Это вытекает из факта наличия сильных корреляционных связей между показателями данной функциональной пробы, с одной стороны, и величинами максимального потребления кислорода, объема сердца, сердечного выброса, данных кардиодинамики — с другой.

И наконец, обращает на себя внимание высокая методологическая корректность теста PWC_{170} . При определении физической работоспособности с помощью этого теста испытуемому задается нагрузка в конкретных физических единицах. Она строго дозирована, что позволяет сравнивать ее у разных испытуемых. Задаваемая нагрузка сравнительно невелика, поэтому можно определять PWC_{170} сколь угодно часто, не вызывая переутомления спортсмена.

Важным достоинством пробы PWC_{170} является то, что в процессе тестирования исключается субъективное отношение испытуемого к исследованию.

Результаты тестирования физической работоспособности выражаются в единицах мощности той работы, которая повышает частоту сердечных сокращений до 170 уд/мин. Возможность количественно оценивать результаты пробы также является достоинством теста и выгодно отличает его от применяемых в настоящее время во врачебном контроле проб с качественной оценкой результатов тестирования.

Простота теста PWC_{170} , его необременительность для испытуемого, физиологическая надежность и высокая мелко-биологическая информативность позволяют рекомендовать этот тест для медицинской и педагогической практики в спорте.

Литература

Артыков М. А. «Теория и практика физической культуры», 1968, № 4.

Борисова Ю. А. «Теория и практика физической культуры», 1969, № 5.

Вайнбаум Я. С., Аскеров А. А. «Теория и практика физической культуры», 1970, № 2.

Волков Н. И. «Теория и практика физической культуры», 1967, № 4.

Волков Н. И. Энергетический обмен и работоспособность человека в условиях напряженной мышечной деятельности. Дисс. М., 1969.

Гуминский А. А., Тарасов А. В., Елизарова О. С., Самсонов О. А. В сб. «Материалы XI Всесоюзной научной конференции по физиологии, морфологии, биомеханике и биохимии мышечной деятельности». Свердловск., 1970.

Дембо А. Г. В кн. «Сердце и спорт». М., 1968.

Жукова Л. Н., Левичев В. И., Марков Л. Н., Павлов В. С., Ромм Н. В. В сб. «Вопросы спортивной кардиологии». М., 1972.

Зациорский В. М., Мачин А. М., Чепик В. Д. В сб. «Материалы к научно-технической конференции «Электроника и спорт». Л., 1968.

Зациорский В. М. Кибернетика, математика, спорт. ФиС, 1969.

Карпман В. Л. Фазовый анализ сердечной деятельности. М., 1965.

Карпман В. Л. В сб. «Актуальные вопросы физиологии спорта». Л., 1970.

Карпман В. Л. В сб. «Вопросы спортивной кардиологии». М., 1972.

Карпман В. Л., Белоцерковский З. Б., Любина Б. Г. «Теория и практика физической культуры», 1969, № 10.

Карпман В. Л., Уткин В. Л. «Теория и практика физической культуры», 1970, № 8.

Карпман В. Л., Гудков И. А., Койдинова Г. А. «Теория и практика физической культуры», 1972, № 1.

Лисаев В. П. В тезисах докладов молодых ученых ГЦОЛИФК 1969.

Меркулова Р. А., Борисова Ю. А. В сб. «Вопросы спортивной кардиологии». М., 1972.

- Михайлов В. В., Огольцов И. Г. «Теория и практика физической культуры», 1964, № 5.
- Орлов В. А. В сб. «Конькобежный спорт», вып. 3, ФиС, 1970.
- Раменская Т. И., Корягин Н. А., Огольцов И. Г. «Теория и практика физической культуры», 1968, № 3.
- Смирнов К. М. В сб. «Физическая работоспособность человека». Новосибирск, 1970.
- Степанова С. В. В сб. «Исследование кровообращения и дыхания у спортсменов». М., 1972.
- Уткин В. Л. В кн. «Сердце и спорт». М., 1968.
- Уткин В. Л., Чепик В. Д., Поляков В. Я. «Теория и практика физической культуры», 1971, № 11.
- Фарфель В. С. Исследование по физиологии предельной мышечной работы и выносливости. Автореферат дисс. Л., 1945.
- Фарфель В. С. В сб. «Исследования по физиологии выносливости». Труды ВНИИФК, М., 1949.
- Хрущев С. В. Объем сердца, динамика сердечной деятельности и аэробная производительность у спортсменов. Дисс. Иваново, 1970.
- Alderman R. B. Res. Quart., 40, 1, 1—5, 1969.
- Astrand P.-O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, 1952.
- Astrand P.-O. Physiol. Rev., 36, 307, 1956.
- Astrand P.-O., Rodahl K. Textbook of work physiology, 1970.
- Bevegård S., Holmgren A., Jonsson B. Acta Physiol. Scand., 57, 26—50, 1963.
- Bevegård S. Acta Physiol. Scand., 57, 61—80, 1963.
- Christensen E. H. Arbeitsphysiol., 4, 453—469, 1931.
- Consolazio F. C., Jonsson R. F., Pecora L. J. Physiological measurements of metabolic functions in man. M. Grow—Hill. N.-Y., 1963.
- Cumming G. R. 1st Annual Meeting Canadian Association of Sport Sciences. Toronto, Ontario, 1968.
- Denolin H. В кн. Physical activity and the heart. Illinois, p. 21—32, 1967.
- Eckermann P., Millahn M. Int. Z. angew. Physiol., 23, 340—344, 1967.
- Grosse-Lordemann H., Müller E. T. Arbeitsphysiol., 9, 4, 454—475, 1936.
- Herbst R. Dtsch. Arch. Klin. Med., 162, 33—50, 1928.
- Hill A. V. Sci. Monthly, 21, 409, 1925.
- Hollman W. Höchst und Dauerleistungsfähigkeit. München, 1963.
- Lange Andersen K., Shephard R. T., Denolin H. a. o. Fundamentals of Exercise Testing. Geneva, 1971.
- Millahn M. Int. Z. angew. Physiol., 21, 179—189, 1965.
- Mocellin R., J. Rutenfranz. В кн. Proceedings of the Second Symposium of Pediatric group of working physiology. Praha, 9—13, 1970.
- Placheta Z. Med. und Sport, 5, 153—157, 1971.
- Reindell H. u. a. Herz, Kreislaufkrankheiten und Sport. München, 1960.
- Rouš J., Matejkova J., Placheta Z., Blahova D., Kočnar K., Drazil V. Sb. vědecké rady úv čto 4, 147—205, 1970.

- Rutenfranz T. *Bibl. Pediat.* 82, 1, 1964.
- Saltin B., Åstrand P.-O. *J. Appl. Physiol.*, 23, 253—258, 1967.
- Seliger V. *Metody a díleči vysledky vyzkumu fisiske Zdatnosti obyvatelstva.* Praha, 1970.
- Sjöstrand T. *Acta med. scand. suppl.* 196, p. 687—699, 1947.
- Sjöstrand T. В кн. *Clinical cardiopulmonary physiology.* N.-Y. Grune & Stratton, 1960.
- Sjöstrand T. *Clinical Physiology, Pathophysiological basis and practical application.* Stockholm, 1967.
- Szögy A., Cherebetiu J. В кн. *Lucrarile celii de—A—III—A sesium stiintifice.* v. 3. Bucuresti, 1970.
- Tornvall G. *Acta physiol. scand.*, 58, suppl. 201, 1963.
- de Vries H., Klafs C. *J. Sports Med. and Physical Fitness*, 5, 4, 207—214, 1965.
- Wahlund H. *Acta med. scand.* 132, suppl. 215, 1948.

Оглавление

Предисловие	3
Глава I. Теоретические основы тестирования физической работоспособности	5
Физическая работоспособность при пульсе 170 уд/мин (тест PWC_{170})	7
Кардио-респираторная система при пульсе 170 уд/мин	9
Глава II. Методика проведения теста PWC_{170}	17
Техника проведения пробы	—
Воспроизводимость результата пробы	21
Методические ограничения пробы	23
Физическая работоспособность при пульсе 150 и 130 уд/мин	31
Требования к функциональным пробам и тест PWC_{170}	32
Прямое определение PWC_{170}	33
Глава III. Физическая работоспособность у спортсменов	34
Величина PWC_{170} у здоровых нетренированных лиц	35
Величина PWC_{170} у спортсменов	38
Величина PWC_{170} у спортсменок	65
Величина PWC_{170} у спортсменов-юниоров	67
PWC_{170} и спортивная квалификация	68
PWC_{170} и вес тела	69
Влияние круглогодичной тренировки на величину PWC_{170}	72
Величина PWC_{170} у спортсменов с электрокардиографическими признаками перенапряжения сердца	74
Глава IV. Физическая работоспособность и кардио-респираторная производительность	76
PWC_{170} и аэробная работоспособность	—
Физическая работоспособность и сердечно-сосудистая система	82
Заключение	90
Литература	92

*Виктор Львович Карпман,
Зиновий Борисович Белоцерковский,
Илья Аврамович Гудков*

**Исследование физической работоспособности
у спортсменов**

Редактор **А. С. Иванова**
Художник **А. Г. Кружкова**
Художественный редактор **Ю. Н. Маркаров**
Технический редактор **Г. А. Федотова**
Корректор **В. А. Шашкова**

А 10642. Сдано в производство 24/IV 1973 г. Подписано к печати 7/IX 1973 г. Бумага тип. № 2. 84×108¹/₃₂. Печ. л. 3,0. Усл. п. л. 5,04. Уч.-изд. л. 4,96. Бум. л. 1,5. Тираж 21 000 экз. Издат. № 5032. Цена 30 коп. Зак. 359.

Издательство «Физкультура и спорт»
Государственного комитета Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Москва, 103006. Каляевская ул., 27
Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Ярославль, ул. Свободы, 97