220062 г. Минск, ул. Нарочанская, 8
тел.факс: +375173081001 (приемная)
info@medsport.by

www.medsport.by

МИНИСТЕРСТВО СПОРТА И ТУРИЗМА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР СПОРТА»

Захаревич А.Л.
Марченко Д.С.
Титова Е.М.

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРЕСС-ТЕСТА С ГАЗОАНАЛИЗОМ

СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА

Практическое пособие

Минск
РНПЦ спорта
2022

МИНИСТЕРСТВО СПОРТА И ТУРИЗМА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР СПОРТА»

Захаревич А.Л., Марченко Д.С., Титова Е.М.

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРЕСС-ТЕСТА С ГАЗОАНАЛИЗОМ СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА

Практическое пособие

Минск
РНПЦ спорта
2022

УДК 796/799+796.01+796.011
ББК 75.02
З 38

Рекомендовано к изданию экспертной комиссией РНПЦ спорта, протокол №2 от 31 августа 2022 года.

Подготовлено в рамках отраслевого проекта 123-20 «Разработать референтные значения показателей кардиореспираторной выносливости спортсменов различных видов спорта с использованием эргоспирометрии»

А в т о р ы:
А.Л. Захаревич; Д.С. Марченко, Е.М. Титова

Рецензенты:
доктор медицинских наук, профессор *Н.Г. Кручинский,*
кандидат медицинских наук *Н.Н. Мороз-Водолажская*

Захаревич, А.Л.
З 38 Практические аспекты стресс-теста с газоанализом спортсменов различных видов спорта: практ. пособие / А.Л. Захаревич, Д.С. Марченко, Е.М. Титова. – Минск: РНПЦ спорта, 2022. – 36 с.
ISBN 978-985-90574-1-0

УДК 796/799+796.01+796.011
ББК 75.02
З 38

В пособии представлена информация о методических и технических особенностях проведения кардиореспираторного нагрузочного тестирования в качестве высокотехнологичного метода определения уровня кардиореспираторной выносливости спортсменов. В пособии представлены оценочные таблицы показателей газоанализа, оценочные шкалы аэробной производительности и оценочные шкалы аэробных возможностей спортсменов различных видов спорта.

Издание предназначено для врачей спортивной медицины, специалистов организаций, обеспечивающих научно-методическое и медицинское сопровождение подготовки спортсменов.

ISBN 978-985-90574-1-0

© Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр спорта», 2022
© Оформление. Государственное учреждение «Республиканский учебно-методический центр физического воспитания населения», 2022

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АД – артериальное давление (мм.рт.ст)
ПАО – порог аэробного обмена
МПК (VO_2peak) – максимальное потребление кислорода (мл/мин/кг)
O_2 пульс (КП) – кислородный пульс (мл/уд)
ПАНО – порог анаэробного обмена
КРВ – кардиореспираторная выносливость
КРНТ – кардиореспираторное нагрузочное тестирование
ССЗ – сердечно-сосудистые заболевания
ЧСС – частота сердечных сокращений (уд/мин)
ЭКГ – электрокардиография
AHA – American Heart Association (Американская ассоциация сердца)
EACPR – European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (Европейская ассоциация сердечно-сосудистой профилактики и реабилитации)
$PetO_2$, $PetCO_2$ – конечное экспираторное давление кислорода и углекислого газа (мм. рт.ст.)
RER –дыхательный коэффициент, частота респираторного обмена
Ve – минутная вентиляция (л/мин)
Ve/VCO_2 ($EQCO_2$) – вентиляторный эквивалент по отношению вдыхаемого воздуха (л/мин) к количеству выдыхаемого углекислого газа (л/мин)
Ve/VO_2 (EQO_2) – отношение вдыхаемого воздуха (л/мин) к количеству потребляемого кислорода (л/мин)

ВВЕДЕНИЕ

Объективный и своевременный контроль функциональной подготовленности атлетов является важной задачей спортивной подготовки. Мониторирование функционального состояния организма и различных сторон подготовленности спортсмена позволяет рационально строить тренировку, регулировать нагрузку и отдых [1]. В связи с этим особое значение приобретают динамические исследования функционального состояния кардиореспираторной системы спортсменов [2].

Функциональное нагрузочное тестирование спортсменов является важной составляющей частью тренировочного процесса. Цели и задачи нагрузочного тестирования имеют разнонаправленный характер: отбор перспективных спортсменов, отслеживание динамики изменений в организме под воздействием систематических физических нагрузок различного объема и интенсивности, оценка эффективности тренировочного процесса в условиях подготовки к важным стартам, планирование тренировочных нагрузок и т.д. В связи с этим данные, полученные по результатам тестов, являются эффективным инструментом, позволяющим оценивать реакцию организма на физические нагрузки и предотвращать возникновение потенциальной патологии со стороны сердечно-сосудистой системы, а также своевременно вносить необходимые корректировки в тренировочный процесс [3–6].

Особое место среди проб с дозированными физическими нагрузками занимает стресс-тест с газоанализом (эргоспирометрия или кардиореспираторное нагрузочное тестирование). На сегодняшний день в подготовке спортсменов кардиореспираторное нагрузочное тестирование используется для оценки аэробной работоспособности, а также определения эффективности тренировочного процесса. На основании данных, полученных в результате регулярного тестирования, можно контролировать динамику функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем и уровня физической работоспособности спортсменов [7–14].

В этой связи вполне определенно встает задача использования современных информативных методов диагностики состояний спортсмена, позволяющих качественно производить оценку спортивного потенциала атлетов, выявлять основные недостатки и определять перспективы совершенствования системы подготовки.

1. ЭРГОСПИРОМЕТРИЯ КАК ВАЖНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СПОРТСМЕНОВ

Широкое использование в клинической практике эргоспирометрических исследований ограничивается целым рядом факторов: стоимостью оборудования, необходимостью глубоких специальных знаний. Растущий объем доказательств в поддержку кардиореспираторного нагрузочного тестирования ускорил выход многочисленных научных заявлений обществ и ассоциаций. В 2012 году Европейская ассоциация сердечно-сосудистой профилактики и реабилитации (EACPR) и Американская ассоциация сердца (AHA) разработали совместный документ с первичным намерением рационализировать интерпретацию эргоспирометрии и повысить его практическое применение [15]. Однако ввиду обилия исследований, посвященных КРНТ, и получения новых научных данных, целесообразным стал пересмотр ряда алгоритмов, который отображен в документе EACPR/AHA 2016 г. В рекомендациях EACPR/AHA 2016 г. представлен раздел «КРНТ у практически здоровых лиц». Однако авторы рекомендуют проводить дальнейшие исследования в популяции здоровых лиц для выработки рекомендаций по интерпретации КРНТ для каждой конкретной группы испытуемых, в том числе для атлетов. В связи с этим перед исследователями стоит непростая задача подбора наиболее подходящего вида тестирования, а также протокола исследования в зависимости от поставленной перед ним цели. В ряде случаев неправильный выбор вида тестирования, протокола нагрузки, нагрузочного устройства и т.д. может приводить к снижению информативности исследования [16–23].

В клинической практике эргоспирометрия (рисунок 1) применяется с целью прогноза, реабилитации, дифференциальной диагностики, определения показаний к оперативным вмешательствам у лиц с различной кардиопульмональной патологией (сердечная недостаточность, гипертрофическая кардиомиопатия, легочная артериальная гипертензия/вторичная легочная гипертензия, ишемия миокарда, необъяснимая одышка, хроническая инструктивная болезнь легких) [18, 24–26].

В практике современной спортивной медицины и науки кардиореспираторное нагрузочное тестирование используется для определения кардиореспираторной выносливости (КРВ). КРНТ позволяет оценить работоспособность, порог аэробного обмена, порог анаэробного обмена, а также установить количественное значение максимального потребления кислорода. Кроме традиционных эргометрических показателей – мощность нагрузки, коэффициент работоспособности, время работы, объем выполненной работы – КРНТ предоставляет широкий спектр так называемых специфических показателей. В протоколах тестирования обозначаются как показатели вентиляции и показатели газообмена [10, 27–29].

Рисунок 1 – Кардиореспираторное тестирование на эргометрическом комплексе

Показатели эргоспирометрии (МПК, ПАНО и КП) являются объективными и информативными для оценки общей физической работоспособности и функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Объединение этих данных с электрокардиографическими параметрами, частотой сердечных сокращений, динамикой артериального давления дает много ценной диагностической и прогностической информации, интерпретация которой позволяет оценить функциональное состояние дыхательной и сердечно-сосудистой систем организма [30–33].

Потребление кислорода – количество O_2, поглощенное организмом в течение определенного отрезка времени. В диапазоне аэробных нагрузок потребление O_2 линейно зависит от мощности циклической работы и связано линейными зависимостями с ЧСС и Ve. Потребление кислорода является наиболее надежным показателем текущих энергозатрат организма, поэтому измерение этого показателя является важным методом в диагностике общей и специальной работоспособности спортсменов [34].

Потребление O_2 на уровне ПАНО – может служить индикатором уровня тренированности, поэтому применяется для мониторинга эффектов физических тренировок. ПАНО является объективным и воспроизводимым количественным показателем физической работоспособности. Потребление кислорода на пороговых значениях определяют «рабочую» производительность организма спортсмена, так как именно потребление кислорода на уровне анаэробного порога (косвенно на это указывают вентиляторный порог 1 и вентиляторный порог 2) определяет результативность и позволяет прогнозировать достижения атлетов в видах спорта с преимущественным проявлением выносливости [35, 36].

Кислородный пульс является важной характеристикой согласованности и экономичности работы кардиореспираторной системы при физической нагрузке

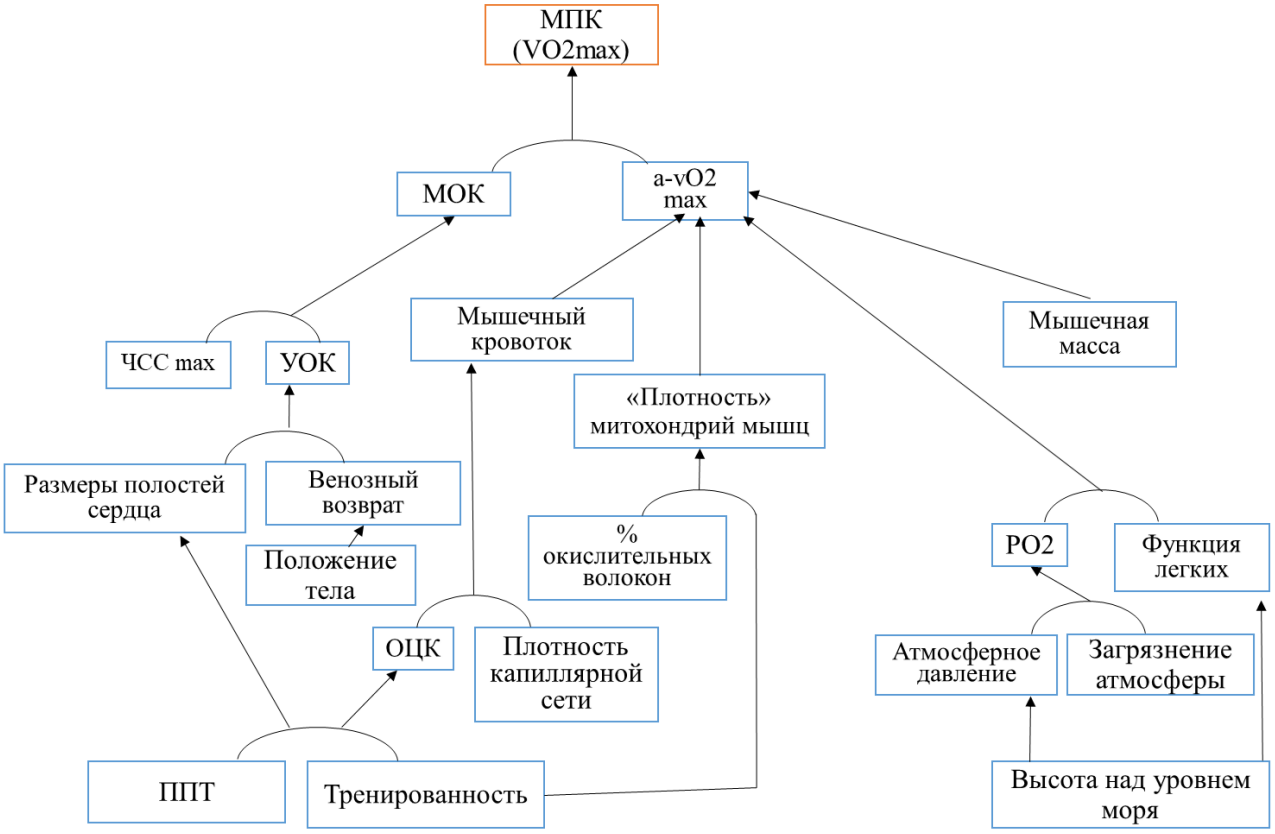
(отношение скорости потребления кислорода к частоте пульса). Данный показатель отражает, сколько кислорода транспортируется к потребляющим кислород тканям, и в первую очередь – к работающим мышцам, за одно сердечное сокращение. Высокий кислородный пульс соответствует высокому функциональному состоянию и может являться предиктором перспективности спортсмена [30, 37].

Вентиляционные эквиваленты Ve/VCO_2 и Ve/VO_2 ($EQCO_2$ и EQO_2). Под вентиляционным эквивалентом по кислороду принято понимать отношение вдыхаемого воздуха (л/мин) к количеству потребляемого кислорода (л/мин), а под эквивалентом по углекислому газу – отношение вдыхаемого воздуха (л/мин) к количеству выдыхаемого углекислого газа. Повышение дыхательных эквивалентов свидетельствует о повышении активности респираторной системы [38].

Наиболее объективным показателем физической работоспособности является максимальное потребление кислорода (МПК/VO_2peak). VO_2 выражают в абсолютных значениях – в л/мин и в процентах от должного. VO_2 может быть нормализовано к весу тела (мл/мин/кг), росту, индексу массы тела. МПК зависит от уровня физической активности (тренированности) и является «золотым стандартом» для оценки физического состояния [33, 39, 40]. Показатели пикового потребления кислорода позволяют не только более точно определить выносливость среди спортсменов разной специализации, но и судить об их аэробной тренированности, функциональном состоянии и состоянии здоровья в каждом конкретном случае. Показатели на уровне ПАНО хорошо предсказывают физическую подготовленность в однородной группе спортсменов и могут быть использованы тренерами как инструмент для оценки и контроля уровня выносливости и степени тренированности [41, 42].

В настоящее время большинство специалистов рассматривают показатель максимального потребления кислорода, отражающий аэробную мощность, как наиболее оптимальную и объективную меру оценки КРВ [43].

Необходимо понимать, что параметр МПК является интегральным индикатором физической подготовленности спортсменов и зависит от множества факторов (рисунок 2). МПК зависит от двух основных факторов: совершенства кислородтранспортной системы (соматического благополучия сердечно-сосудистой и респираторной систем) и способности скелетных мышц усваивать поступающий кислород. Таким образом, можно предположить, что снижение МПК может быть связано либо с низкими окислительными возможностями работающих мышц, либо с неблагополучием со стороны сердечно-сосудистой и легочной систем [44, 45].



МОК – минутный объем крови, МПК (VO2max) – максимальное потребление кислорода, ОЦК – объем циркулирующей крови, ППТ – площадь поверхности тела, УОК – ударный объем крови, ЧСС – частота сердечных сокращений, a-vO2 max – артериовенозная разница по кислороду, РО2 – парциальное давление кислорода

Рисунок 2 – Факторы, влияющие на величину МПК [44]

Необходимо учитывать составляющие, которые определяют величину МПК:

– объем сердечного выброса (в минуту);

– способность крови транспортировать кислород (определяется содержанием гемоглобина в эритроцитах);

– количество скелетных мышц, задействованных в упражнениях, и способность мышц использовать поставляемый кислород.

Чем больше в процессе движения задействовано мышц, тем больше потенциал для повышения МПК. Кроме того, способность мышц потреблять поставляемый кислород определяется и типом мышечного волокна [46].

Величина МПК также зависит от пола, возраста, вида спорта, физической подготовленности спортсмена, массы и композиционного состава тела. Особенно важно, что показатель МПК также зависит от направленности тренировок, обусловленных типом и интенсивностью физической нагрузки разных видов спорта, этапов спортивной подготовки и периодов тренировочно-соревновательного процесса [10].

В настоящее время для определения МПК используются протоколы со ступенчатой и непрерывно-возрастающей нагрузкой (РАМП-протоколы).

Длительность ступени задается специалистом и составляет 1 или 2 минуты. Такие тестирования позволяют более корректно оценивать параметры в тестах [6, 32, 39, 47, 48].

При проведении сравнительного анализа результатов тестов либо оценки функционального состояния спортсмена в динамике необходимо учитывать, что сопоставимыми являются величины, полученные с помощью одной и той же методики [49, 50]. Несмотря на достаточную информативность показателя МПК для тренера и спортивного врача, важно подчеркнуть, что у методики определения данного параметра есть недостатки. К факторам, ограничивающим эффективность и результативность нагрузочного теста, можно отнести недостаточную мотивацию спортсменов к выполнению максимальной нагрузки, а также изнуряющий характер исследования.

Полагается, что ключевым фактором при выборе эргометра является специфичность тестирования с приближенностью нагрузки (с точки зрения вида мышечной работы) к реальным тренировочным и соревновательным условиям [5, 51–54]. Однако следует учитывать, что применение даже специального эргометра не позволяет в полной мере обеспечить «специализированность» теста: отличной будет биомеханика движений (кинематические и динамические характеристики задаются эргометром, а не спортсменом), условия окружающей среды будут лабораторными: идеальное покрытие, качество материала покрытия, отсутствие ветра, температура и т.п. [55–57].

Проведение КРНТ в динамике, с одной стороны, позволяет определить состояние спортсмена, дает возможность планировать оптимальную тренировочную программу, продлить спортивную жизнь и достигнуть максимальных результатов; с другой стороны, дает понимание спортсмену, чего он достиг в ходе тренировок и над чем следует еще поработать [27, 32].

Российскими исследователями разработаны оценочные таблицы для определения уровня аэробной производительности организма спортсменов разного пола, имеющих разный уровень спортивного мастерства, тренирующихся в видах спорта на развитие выносливости (таблица 1, 2).

Таблица 1 – Оценка аэробной производительности спортсменов в видах спорта на развитие выносливости [58]

Оценка аэробной производительности	МПК (л/мин)		МПК/кг (мл/мин/кг)		O_2 пульс (мл O_2/1сокр)	
	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины
Очень высокая	>5,5	>4,8	>80	>80	>30	>23
Высокая	5,0–5,5	4,2–4,8	70–80	70–80	27–30	20–23
Хорошая	4,5–4,99	3,6–4,19	60–69,9	60–69,9	24–26,9	17–19,9
Выше средней	4,0–4,49	3,0–3,59	50–59,9	50–59,9	20–23,9	14–16,9
Средняя	3,5–3,99	2,4–2,99	40–49,9	40–49,9	16–19,9	11–13,9
Ниже средней	<3,5	<2,4	<40	<40	<16	<11

2. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОРОГА АНАЭРОБНОГО ОБМЕНА

ПАНО, наряду с величиной МПК, является индикатором аэробного обмена в организме и играет важную роль в выборе наиболее эффективного вида тренировок. В ряде исследований было показано, что именно изменение величины ПАНО является более чувствительным, чем самого показателя МПК [27, 35, 59, 60]. Считается, что тренировка в зоне мощности на уровне порога анаэробного обмена положительно влияет как на совершенствование физической формы, так и на профилактику сердечно-сосудистых заболеваний. В кардиологии этот параметр также играет важную роль в оценке аэробных возможностей у пациентов с хронической сердечной недостаточностью, а также при дозировании физических нагрузок у лиц с гипертензией, гиперлипидемией и диабетом [26, 61–63].

Важным аспектом тестирования функционального состояния кардио-респираторной системы на фоне дозированной (заданной) физической нагрузки является определение различных пороговых значений (начала и завершения аэробно-анаэробного метаболизма).

Во время отдыха и упражнений с низкой интенсивностью для получения энергии организм расходует равное соотношение жиров и углеводов (белки играют незначительную роль). Метаболическое окисление жиров сопровождается выделением около 700 мл CO_2 и 1 000 мл O_2, а частота составляет около 1,0. (RER = CO_2/VO_2) составляет приблизительно 0,7. Расщепление углеводов приводит к образованию 1 000 мл CO_2 и 1 000 мл O_2, RER составляет около 1,0. В покое RER составляет следующие значения: (0,70±1,0)/2=0,85. При повышенной физической нагрузке линейно возрастает энергетический запрос организма и потребление тканями O_2. Повышение производительности сопровождается преобладанием распада углеводов и избыточным образованием CO_2. Когда потребность в O_2 превышает его доставку, энергетический дефицит восполняется активацией анаэробного метаболизма. В мышцах накапливается молочная кислота, диссоциирующаяся на протоны водорода (H+) и лактат, снижается pH крови с развитием лактатного ацидоза. Часть протонов H+ взаимодействует с бикарбонатным буфером крови с образованием CO_2 и воды. Образовавшееся дополнительное количество CO_2 стимулирует дыхательные рецепторы и увеличивает Ve, что при нарастании нагрузки приводит к гипервентиляции [64, 65].

Изменения метаболизма при КРНТ на графике отображаются в виде точек (пороговых значений) (рисунок 3). «Пороги» – это переходные области, которые не отображаются как отдельные точки данных, а появляются как область перехода. В 2013 г. рабочей группой КРНТ (M. Westhoff) выделены по 2 дыхательных (вентиляторные пороги VT1 и VT2) и метаболических (лактатные пороги LT1 и LT2) порога. Оба пороговых понятия отражают начало и конец аэробно-анаэробного перехода. Пороги концентрации лактата определяют метаболические реакции, а дыхательные пороги – дыхательный ответ на метаболические изменения [57, 64]. Обнаружить наступление лактатных порогов можно и по его уровню в крови, взятой во время КРНТ (повышается), или стандартного

бикарбоната (уменьшается). Дыхательные пороги рассчитываются при помощи компьютерной программы на основании изменения показателей газообмена и вентиляции.

При анализе зависимости VCO_2–VO_2 методом V-slope определяется VT1 как изменение угла наклона, в котором образование CO_2 превышает потребление O_2 в условиях нормальной вентиляции (рисунок 3А). Дополнительными критериями служат изменения на графиках: $EQCO_2$ – уменьшение с последующим формированием плато (рисунок 3D) и $PetCO_2$ – увеличение с последующим формированием плато в процессе нагрузки (рисунок 3В). Уровень CO_2 и лактата в этот момент не достигает критических значений и, если не происходит увеличения нагрузки, этот избыток метаболизируется. Дальнейший рост концентрации молочной кислоты приводит к повышению CO_2 и гипервентиляции (основной критерий VT2) (рисунок 3А, В, D). Происходит пересечение $EQCO_2$ и EQO_2 от нагрузки с последующим доминированием EQO_2 (рисунок 3D).

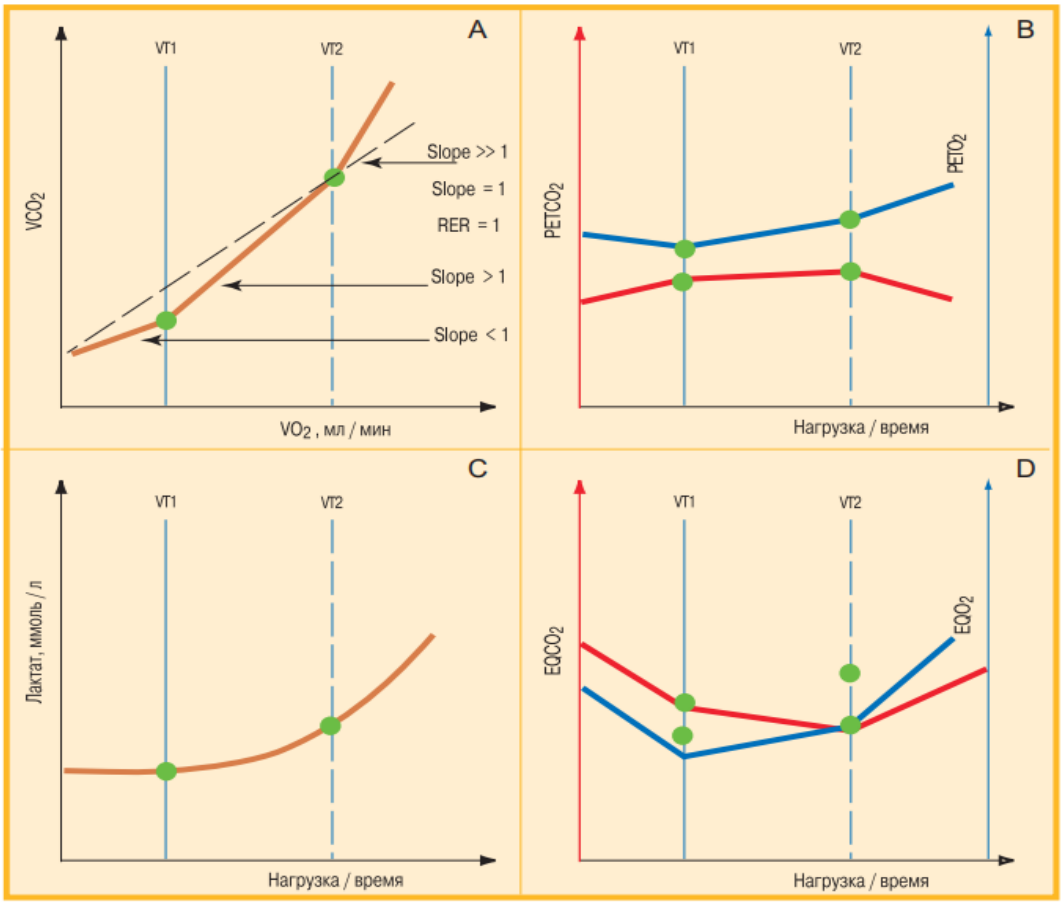


Рисунок 3 – Графики определения дыхательных (вентиляторных) порогов [66]

В этот момент показатель RER повышается и достигает ≥ 1,0. Происходит систематическое увеличение $PetO_2$ и снижение $PetCO_2$ (рисунок 3С) [64, 66]. В норме VT1 появляется на уровне 40–60% от должного VO_2max, а VT2 – 70–80%.

3. АЛГОРИТМ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭРГОСПИРОМЕТРИИ

3.1. Технология проведения велоэргометрии с газоанализом

Данный алгоритм описывает технологию велоэргометрии с газоанализом с использованием нагрузки возрастающей мощности до «отказа». Обязательным условием проведения тестирования является отсутствие высокоинтенсивных тренировок накануне исследования (за 24–48 часов), достаточная гидратация, а также прием пищи не менее, чем за 2 часа и не более чем за 4 часа до тестирования (для предотвращения состояний гипогликемии на фоне нагрузки).

Крайне важно определить цели и задачи тестирования, а также мотивировать спортсмена на выполнение максимальной нагрузки.

Этапы проведения спировелоэргометрии включают в себя: подготовительный этап, этап тестирования и заключительный этап.

1. Перечень необходимого инструментария и оборудования:

– велоэргометр;

– газоаналитический комплекс или беспроводная портативная система для определения потребления параметров вентиляции и газообмена;

– маски нескольких размеров;

– шапочки для фиксирования масок на лице;

– тонометр;

– фонендоскоп;

– ЭКГ аппарат;

– дефибриллятор;

– аптечка для оказания неотложной помощи;

– дезинфицирующие средства для обработки инструментария и оборудования.

2. Контингент:

– спортсмены (национальные и сборные команды, спортивный резерв), допущенные к тренировочно-соревновательной деятельности по результатам углубленного медицинского осмотра (рекомендуемый возраст – с 15 лет).

3. Показания к проведению теста:

– определение МПК (уровня кардиореспираторной выносливости);

– определение уровня общей работоспособности;

– определение ПАО и ПАНО;

– определение оптимального режима двигательной активности (тренировочных зон);

– текущий контроль функционального состояния организма/уровня подготовленности;

– контроль в динамике функционального состояния организма/уровня подготовленности;

– целенаправленный отбор перспективных спортсменов, как для различных видов спорта, так и для разных специализаций в конкретном виде спорта.

4. Противопоказания к проведению теста:*

– любое острое/подострое заболевание;

– обострение хронического заболевания;

– повышение температуры тела;

– наличие травмы/последствия травмы, препятствующей максимальному выполнению нагрузки;

– наличие патологических изменений на ЭКГ (частая желудочковая/суправентрикулярная экстрасистолия, нарушения проводимости);

– синусовая тахикардия (более 100 уд/мин);

– исходное АД выше 150/90 мм.рт.ст.

**Два уровня выявления лиц, которым максимальное нагрузочное тестирование с газоанализом противопоказано (не показано): первый – на этапе отбора спортсменов для предстоящего тестирования (врач спортивной медицины), второй – непосредственно специалистом, проводящим тестирование (в день обследования).*

5. Подготовка к тестированию:

Подготовка помещения, оборудования:

– в помещении перед началом проведения тестирования необходимо провести влажную уборку, включить кондиционер, установить оптимальную температуру воздуха (температура в помещении – 20–21°С, относительная влажность воздуха – 50–60%);

– газоанализатор должен быть включен для прогрева. Время прогрева составляет не менее 40 минут. По истечении указанного срока необходимо приступить к калибровке;

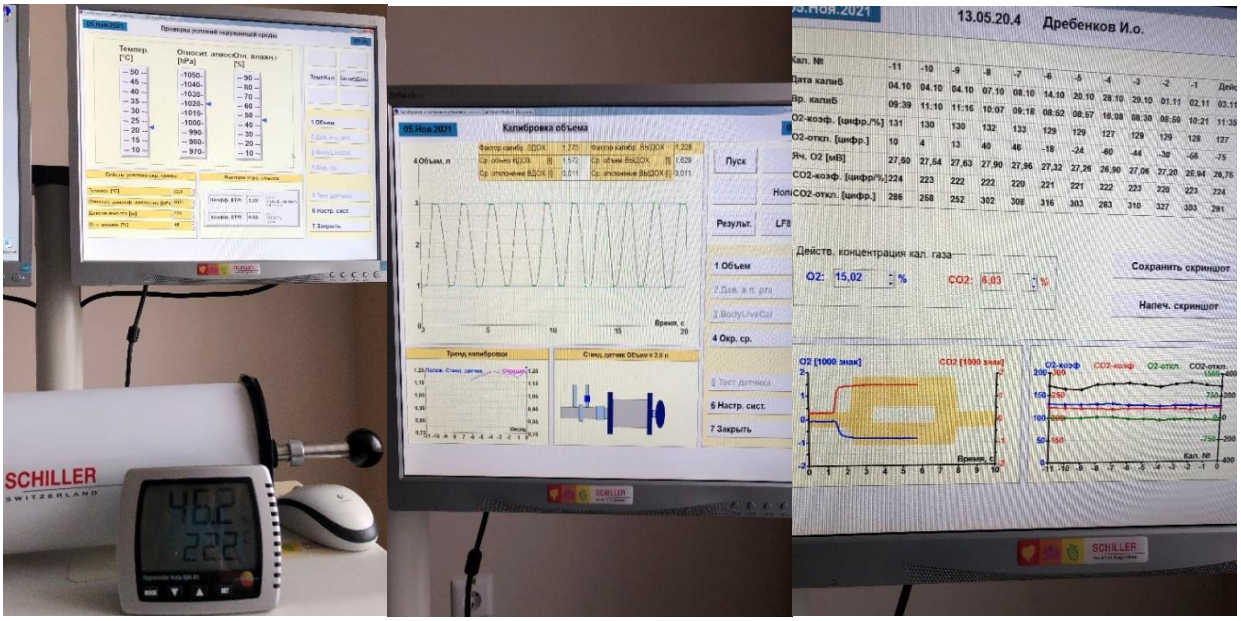
– калибровка газоанализатора предусматривает следующие варианты – калибровка по параметрам окружающей среды, калибровка датчика «поток-объем», газовая калибровка (рисунок 4);

– калибровка по параметрам окружающей среды проводится автоматически перед началом каждого теста (стационарная установка);

– калибровка датчика «поток-объем» проводится ежедневно. Для этого датчик присоединяется к калибровочному шприцу и после запуска программы осуществляются плавные, медленные, нагнетательные движения шприцом, пока программа не подаст сигнал об успешной калибровке;

– далее выполняется калибровка по газам при помощи калибровочного баллона. Необходимо подсоединить трубку отбора газа к калибровочному баллону и запустить калибровку. Рекомендовано проводить калибровку по газам ежедневно, а также в течение дня тестирования при изменении окружающей среды помещения;

– сроки замены трубок забора газа, кислородного датчика согласно правилам эксплуатации, замена калибровочного баллона по мере необходимости.



А Б С

А – калибровка по параметрам окружающей среды,
В – калибровка датчика «поток-объем», С – газовая калибровка

Рисунок 4 – Этапы калибровки газоаналитического комплекса

Подготовка спортсмена:

– непосредственно перед выполнением велоэргометрии необходимо:

– измерить у обследуемого АД в положении сидя, лежа;

– выполнить ЭКГ, провести интерпретацию (ЧСС, ритм, нарушения ритма/проводимости, сравнить ЭКГ в динамике);

– определить наличие противопоказаний для проведения тестирования;

– описать кратко методику проведения тестирования с газоанализом, правила поведения во время тестирования и технику безопасности;

– при отсутствии противопоказаний подписать информированное согласие на проведение максимального нагрузочного теста.

6. *Тестирование:*

после регулировки уровня подъема сидения и руля велоэргометра, необходимо подключить электроды для непрерывного мониторирования ЭКГ, наложить манжету тонометра на плечо. Измерить АД исходно сидя на велоэргометре (рисунок 5).

Маска после определения индивидуального размера при помощи специальной «шапочки» закрепляется на лице спортсмена. Для определения правильного закрепления маски необходимо попросить испытуемого вдохнуть, после чего закрыть рукой входное отверстие маски и попросить спортсмена

выдохнуть. В результате воздух не должен выходить за ее пределы. Неправильно закрепленная маска станет причиной некорректных измерений во время пробы. Спортсмену необходимо сообщить, что недопустимо разговаривать во время пробы.

Рисунок 5 – Подготовка к тестированию

Используемый протокол (таблица 3) должен быть рассчитан таким образом, чтобы продолжительность нагрузочной части теста составляла не более 10 минут, что обусловлено известными данными о достоверно более низких достигаемых значениях МПК и мощности при увеличении длительности теста более 12 минут.

В среднем продолжительность теста составляет от 6 до 18 минут в зависимости от специализации, уровня квалификации и спортивного стажа атлетов. Используемые протоколы тестирований были разработаны с учетом международных рекомендаций для проведения нагрузочных тестирований [6,7, 32, 67].

Таблица 3 – Протокол эргоспирометрии

ПЕРИОД НАГРУЗКИ	
Тип нагрузки	Ступенчатая, непрерывно возрастающая
Скорость педалирования	60–80 оборотов в минуту
Мощность 1 ступени для женщин*	50, 75, 100 Вт
Мощность 1 ступени для мужчин*	50, 75, 100, 125 Вт
Продолжительность ступени	1, 2 минуты

Шаг нагрузки	25 Вт
Запись стандартной ЭКГ, показателей вентиляции и газоанализа	Непрерывно
Измерение АД	В конце каждой ступени нагрузки, не прекращая процесса педалирования
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД	
Мощность ступени	25 Вт
Скорость педалирования	30–40 оборотов в минуту
Продолжительность ступени*	Первые 2 минуты (по истечении времени педалирование прекратить)
Измерение АД	каждую минуту (вплоть до достижения исходного уровня)
Запись стандартной ЭКГ, показателей вентиляции и газоанализа	Непрерывно весь период
Общее время восстановительного периода	5–15 минут (до полного восстановления исходных показателей АД и ЧСС, но не менее 5 минут)

** Мощность первой ступени устанавливается в зависимости от уровня квалификации, вида спорта, возраста, пола.*

Персонал, осуществлявший нагрузочные тестирования должен внимательно наблюдать за исследуемыми и при появлении каких-либо симптомов, являющихся индикаторами прекращения теста по медицинским показаниям, тестирование должно быть прекращено.

Критерии остановки пробы:*

– клинические;
– электрокардиографические;
– технические.

Клинические:

– выраженное тахипноэ (более 60 вдохов в минуту) или диспноэ (можно использовать шкалу Борг);

– снижение систолического АД на 10 и более мм.рт.ст., несмотря на увеличение мощности следующей ступени нагрузки**;

– повышение систолического АД свыше 230 мм.рт.ст., диастолического – 120 мм.рт.ст.;

– симптомы со стороны центральной нервной системы (нарушение координации движений, головокружение, бледность, тошнота);

– отказ спортсмена от продолжения пробы;

– невозможность удерживать спортсменом скорость педалирования;

– снижение величины потребления кислорода после формирования плато в процессе нагрузки.

Электрокардиографические:

– достижение максимальной ЧСС;
– диагностически значимая девиация сегмента ST;
– изменение комплекса QRS;
– желудочковая тахикардия;
– суправентрикулярная тахикардия;
– частая желудочковая и суправентрикулярная экстрасистолия;
– мерцательная аритмия, трепетание предсердий;
– атриовентрикулярная блокада II-III степени;
– синоатриальная блокада II-III степени;
– появление блокад ножек пучка Гиса.

Технические:

– неполадки в газоаналитической системе, ЭКГ-оборудовании, дефибрилляторе.

**Нагрузка выполняется «до отказа» либо появления критериев остановки пробы* [26, 68].

*** Учитывать, что при проведении пробы на пике нагрузки может быть отмечено снижение АД. Это связано с тем, что спортсмен не держит скорость педалирования, не может наращивать усилия и снижает их мощность.*

Тест считается максимальным при выполнении следующих условий:

– наличие плато на графике зависимости величины потребления кислорода от мощности физической нагрузки;

– замедление прироста потребления кислорода при продолжающемся возрастании мощности физической нагрузки;

– существенное падение каденса (скорости педалирования) вследствие невозможности нижних конечностей поддерживать заданную скорость из-за критического накопления молочной кислоты в мышцах;

– регистрация объективных абсолютных и относительных критериев остановки теста. К числу последних относятся достижение максимально допустимого с учетом возраста пульса, появление признаков утомления нервной и сердечно-сосудистой систем, резкое увеличение одышки, выраженные изменения цвета кожных покровов, жалобы исследуемого и т.д.

7. Анализ и интерпретация результатов тестирования:

анализ данных тестирования, интерпретацию его результатов осуществляет специалист, проводивший тестирование.

Интерпретация результатов нагрузочного тестирования с газоанализом включает:

– оценку потребления кислорода на пике нагрузки и соотнесение ее с должными величинами в зависимости от пола, возраста, роста и массы тела, вида спорта обследуемого;

– оценку динамики потребления кислорода на уровне АП и ПАНО;

– оценку уровня общей физической работоспособности;

– оценку динамики АД, ЧСС во время нагрузки;

– оценку динамики АД, ЧСС в восстановительный период;

– оценку ЭКГ (наличие проявлений ишемии миокарда, индуцированы или не индуцированы нарушения ритма или проводимости) как во время нагрузки, так и в восстановительный период;

– оценку реакции дыхательной системы (вентиляция, частота дыхания) во время нагрузки и в восстановительный период.

В качестве наиболее информативных показателей максимального нагрузочного тестирования анализируются следующие данные, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Наиболее информативные показатели КРНТ

Показатели кардиореспираторной системы	ЧСС уд/мин % от максимальной возрастной ЧСС Потребление кислорода VO_2, мл/кг/мин, л/мин Кислородный пульс мл/уд Вентиляция л/мин Частота дыхания, 1/мин Дыхательный коэффициент Вентиляционные эквиваленты Ve/VCO_2 и Ve/VO_2 ($EQCO_2$ и EQO_2) Метаболическая эффективность, мл/мин/Вт
Показатели эргометрии	Время работы, мин Объем выполненной работы, кгм Мощность выполненной работы, Вт Коэффициент работоспособности, Вт/кг

Вышеуказанные показатели должны быть проанализированы исходно сидя, на первых ступенях нагрузочного теста, на уровне ПАО и ПАНО, на пике нагрузки и на этапах восстановления (рисунок 6).

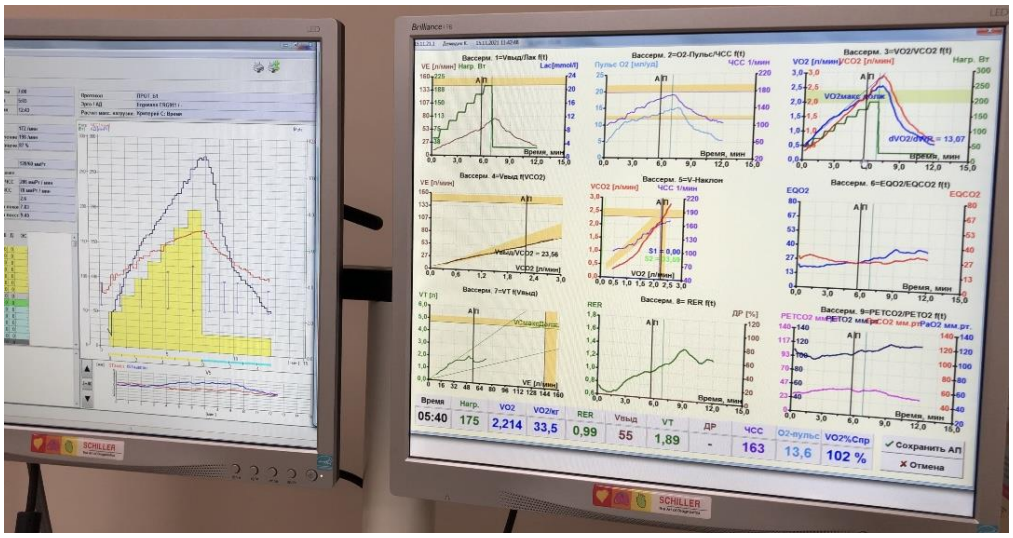


Рисунок 6 – Основные параметры, регистрируемые во время эргоспирометрии

3.2. Формирование заключения по результатам тестирования

В заключении по результатам тестирования спортсмена должна быть отображена следующая информация:

– паспортная часть (фамилия, имя, отчество, возраст, вид спорта, уровень квалификации, период подготовки);

– табличные данные с информацией о динамике (тренды) ЧСС, АД, мощности ступени (как правило, такая информация содержится в протоколе по результатам тестирования и формируется программой автоматически);

– причины прекращения теста (медицинские, психологические, отказ спортсмена от дальнейшего продолжения пробы);

– оценка результативности теста. Тест оценить как «неинформативный», если он прекращен по желанию спортсмена (ввиду низкой мотивации, последствий перенесенных заболеваний и травм и др.) до достижения критериев остановки теста (максимальная ЧСС, предельная утомляемость) при недостигнутой субмаксимальной ЧСС (менее 85%);

– максимально достигнутая мощность в тесте (Вт). Выставляется программой автоматически;

– объем выполненной работы (кгм). Выставляется программой автоматически;

– максимально достигнутая ЧСС и ее процент от максимальной возрастной;

– максимальное АД (на пике нагрузке);

– оценку уровня общей физической работоспособности;

– оценку реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку (ЧСС, АД);

– оценку реакции дыхательной системы на физическую нагрузку (вентиляция, частота дыхания, эффективность внешнего дыхания);

– оценку динамики ЧСС, АД в восстановительный период;

– отметку о наличии/отсутствии нарушений ритма/проводимости, изменения сегмента ST во время пробы;

– в комментариях может быть отображена дополнительная важная информация о динамике ЭКГ;

– максимальное потребление кислорода (потребление кислорода на пике нагрузки);

– потребление кислорода на уровне ПАО и ПАНО;

– распределение зон интенсивности тренировочной нагрузки (тренировочных зон) [50];

– оценку результатов в динамике (при проведении повторной велоэргометрии);

– при необходимости рекомендации о дальнейших (дополнительных) диагностических манипуляциях, необходимости консультации другими специалистами.

Алгоритм интерпретации данных по результатам эргоспирометрии может быть представлен следующим образом (таблица 5).

Таблица 5 – Алгоритм интерпретации данных по результатам эргоспирометрии (на примере циклических видов спорта, мужчины)

<table>
<tr><th colspan="4">ФУНКЦИЯ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ</th></tr>
<tr><td colspan="2">Жизненная емкость легких (% от должного)</td><td colspan="2">Эффективность внешнего дыхания (%)</td></tr>
<tr><td colspan="2">>118</td><td colspan="2">>56</td></tr>
<tr><td colspan="2">103–118</td><td colspan="2">45–55</td></tr>
<tr><td colspan="2">< 103</td><td colspan="2"><45</td></tr>
<tr><td colspan="4">Объем форсированного выдоха за первую секунду (%)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Прирост ОФВ1 после проведения НТ</td><td colspan="2">≥ 10% снижение ОФВ1 после проведения НТ</td></tr>
<tr><th colspan="4">АЭРОБНАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ</th></tr>
<tr><td colspan="4">Основные показатели</td></tr>
<tr><td>VO_2 max (мл/мин/кг)</td><td>Кислородный пульс(мл/уд)</td><td colspan="2">Динамика восстановления ЧСС к 5 мин (%)</td></tr>
<tr><td>>62</td><td>>25</td><td colspan="2">>48</td></tr>
<tr><td>51–63</td><td>20–25</td><td colspan="2">39–48</td></tr>
<tr><td><51</td><td><20</td><td colspan="2">><39</td></tr>
<tr><td colspan="4">Дополнительные показатели</td></tr>
<tr><td colspan="2">Коэффициент работоспособности (Вт/кг)</td><td colspan="2">Метаболическая эффективность (мл/мин/Вт)</td></tr>
<tr><td colspan="2">>4,9</td><td colspan="2" rowspan="2">>9</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">3,9–4,9</td></tr>
<tr><td colspan="2"><8,9</td></tr>
<tr><td colspan="2"><3,9</td><td colspan="2"><8,9</td></tr>
<tr><td colspan="4">Завершение теста</td></tr>
<tr><td colspan="2">Максимальное утомление</td><td colspan="2">Не мотивирован на выполнение максимальной нагрузки</td></tr>
</table>

Алгоритм интерпретации результатов:

• Все показатели зеленого цвета: коррекция учебно-тренировочного процесса не требуется.

• Большинство показателей в красном/желтом цветах: выявить причину несоответствия показателей «модельным» характеристикам (возможны дополнительные исследования). Коррекция тренировочных нагрузок.

• Все показатели в красном цвете: риск развития/наличия неблагоприятных патологических состояний (заболеваний) высокий. Необходима консультация врача и дополнительные методы исследования. Возможно отстранение от тренировочного процесса.

Следует подчеркнуть, что использование полученной информации по результатам требует определенной компетентности участников тренировочного процесса в вопросах интерпретации результатов функционального нагрузочного тестирования, при наличии которой возможна адекватная коррекция

тренировочных воздействий, направленная не только на достижение максимального результата, но и на профилактику дезадаптивных состояний.

3.3. Практические рекомендации

Выбор протокола тестирования и оценка получаемых результатов после должны проводиться дифференцированно с учетом цели и задач тестирования, возраста спортсменов и вида спортивной деятельности, уровня квалификации.

Оценку тестирования аэробной работоспособности следует проводить на разных этапах подготовки, что позволит, с одной стороны, получить более надежные данные о функциональном состоянии спортсмена, а с другой – исследовать зависимость между состоянием спортсмена и физическими нагрузками.

Результаты тестирования могут быть представлены тренеру в различных формах. Использование показателей аэробной работоспособности в динамике позволяет оценить функциональное состояние организма спортсмена и индивидуализировать тренировочный процесс с учетом данных результатов спировелоэргометрии (разработанных «модельных» характеристик). В качестве модели может быть выбран среднегрупповой результат тестирования всей команды или результат лидера команды. Кроме того, такое представление данных поможет тренеру в сравнении групп между собой.

Шкалы оценки аэробной производительности организма спортсменов по величинам абсолютного, относительного максимального потребления кислорода и кислородного пульса спортсменов с использованием формул в программе Excel, представлены в таблицах (приложение А, Б).

Справочно. При разработке оценочных шкал спортсмены в каждой группе поделены по уровню квалификации и с учетом возраста.

Возрастная группа 1 – спортсмены в возрасте 15–17 лет, возрастная группа 2 – 18–25 лет, возрастная группа 3 – спортсмены старше 26–30 лет.

Квалификационная группа 1 – спортсмены до кандидатов в мастера спорта, квалификационная группа 2 – спортсмены высокой квалификации.

Данные таблицы могут использоваться при оценке результатов эргоспирометрии, выполненной по протоколу, описанному в данном пособии.

Важно учитывать, что сопоставимыми являются величины, полученные с помощью одной и той же методики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка функциональной готовности спортсменов любого пола, возраста, квалификации и специализации является важным аспектом управления тренировочным процессом. В настоящее время широко используются различные методы и протоколы тестирования спортсменов. В большей степени выбор методики зависит от сложившихся подходов к медико-биологическому сопровождению спортсменов в зависимости от уровня квалификации и специализации, а также технического оснащения и кадровых возможностей кабинетов/центров спортивной медицины, научно-исследовательских и отраслевых лабораторий.

Корректность выбора и использования того или иного метода и протокола тестирования спортсменов может в значительной степени влиять на результат тестирования и, соответственно, на итоговые данные для дальнейшей интерпретации на этапе научно-методического сопровождения спортсменов.

На современном этапе в подготовке спортсменов эргоспирометрия применяется для оценки физической работоспособности, кардиореспираторной выносливости, определения эффективности тренировочного процесса. На основании данных, полученных в результате тестирования в динамике, можно контролировать происходящие изменения, а также своевременно корректировать тренировочный процесс.

Наиболее часто для определения аэробных способностей и общей физической работоспособности спортсменов применяются пробы со ступенчатым и непрерывным повышением нагрузки с использованием различных нагрузочных устройств. Выбор того или иного нагрузочного устройства и протокола тестирования зачастую обусловлен спецификой вида спорта тестируемого спортсмена, а также технической обеспеченностью лаборатории.

Показатель МПК рассматривается как наиболее оптимальная и объективная мера оценки КРВ. При проведении исследований, направленных на определение МПК должно уделяться внимание мотивации. В некоторых случаях отказ от нагрузки и невозможность продолжения теста не всегда связаны с выполнением спортсменом работы критической мощности, т.е. максимальной нагрузки.

Перечисленное выше подтверждает актуальность вопроса и необходимость разработки информативных, доступных методов нагрузочных тестирований спортсменов различных уровней квалификации и специализации. Данный аспект особенно важен как с позиции развития спортивной науки и внедрения новых технологий тестирования, так и постоянно повышающихся требований к функциональной готовности спортсменов. Другими словами, корректная оценка функционального состояния спортсменов с использованием эффективных методов и соответствующих нагрузочных устройств крайне важна для управления спортивной подготовкой спортсменов любых специализаций и всех уровней квалификации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н. Платонов. – М.: Советский спорт, 2005. – 820 с.
2. Ванюшин, Ю.С. Роль и значение компонентов кардиореспираторной системы спортсменов при адаптации к функциональным нагрузкам/ Ю.С. Ванюшин, Н.А. Федоров, Г.К. Хузина // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2021. – Vol.16(2). – С. 101–105.
3. Функциональная диагностика: национальное руководство / под ред. Н.Ф. Берестень, В.А. Сандрикова, С.И. Федоровой. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 784 с.
4. Parizher, G. Exercise Stress Testing in Athletes / G. Parizher, M.S. Emery // Clinics in sports medicine. – 2022. – Vol.41(3). – P. 441–454.
5. Löllgen, H. Exercise Testing in Sports Medicine / H. Löllgen, D. Leyk // Deutsches Arzteblatt international. – 2018. – Vol.115(24). – P. 409–416.
6. ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription / Linda S. Pescatello [et al.] / Lippincott Williams & Wilkins, 9th Ed. – Philadelphia, 2014. – 456 p.
7. Laveneziana, P. The clinical value of cardiopulmonary exercise testing in the modern era / P. Laveneziana, M. Di Paolo, P. Palange // European Respiratory Review. – 2021. – №30. – 9 p.
8. Protocols of exercise testing in athletes and cardiopulmonary testing: assessment of fitness/ A. Pelliccia [et al.] // The ESC Textbook of Sports Cardiology. – 2019 – P. 88–97.
9. Захаревич, А.Л. Спировелоэргометрия в оценке функционального состояния атлетов единоборств, пятиборья и велоспорта / А.Л. Захаревич, Н.Н. Мороз-Водолажская // Российский национальный конгресс кардиологов 2017: материалы конгресса кардиология 2017: профессиональное образование, наука и инновации, Санкт-Петербург, 24–27 окт. 2017 г. – СПб., 2017. – С. 1105.
10. Рылова, Н.В. Уровень максимального потребления кислорода как показатель работоспособности спортсменов, специализирующихся в различных видах спорта / Н.В. Рылова, А.А. Биктимирова, А.С. Назаренко // Практическая медицина. – 2014. – №9. – С. 85.
11. Aerobic capacity as an indicator in different kinds of sports / G. Rankovic [et al.] // Bosnian journal of basic medical sciences. – 2010. – Vol.10(1). – P. 44–48.
12. Ростовцев, В.Л. Маркеры специальной подготовленности высококвалифицированных спортсменок по показателям газоанализа / В.Л. Ростовцев, В.Д. Кряжев // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2021. – №4(194). – С. 396–401.
13. Взаимосвязь данных функционального тестирования и результатов соревновательной деятельности спортсменов с различной направленностью физических нагрузок / Е.В. Быков [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2018. – №8(162). – С. 32–38.

14. Синиченко, Р.П. Информативные показатели анализа результатов соревновательной деятельности биатлонистов высокой квалификации / Р.П. Синиченко, И.Л. Рыбина // Здоровье для всех. – 2018. – №1. – С. 24–27.

15. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations / M. Guazzi [et al.] // Circulation. – 2012. – №126(18). – P. 2261–2274.

16. Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations / M. Guazzi [et al.] // Circulation. – 2016. – №133. – P. 694–711.

17. How accurate is the prediction of maximal oxygen uptake with treadmill testing? [Electronic resource] / J.R. Wicks, N.B. Oldbridge. – PLoS ONE, 2016. – Mode of access: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5119771. – Date of access: 06.05.2021.

18. Cardiopulmonary Exercise Testing: The ABC for the Clinical Cardiologist / H. Triantafyllidi [et al.] // Cardiology. – 2022. – №147. – P. 62–71.

19. Formenti, F. Pedaling rate is an important determinant of human oxygen uptake during exercise on the cycle ergometer / F. Formenti, A.E. Minetti, F. Borrani // Physiological Reports. – 2015. – Vol.3 – P. 1–10.

20. Incremental and decremental cardiopulmonary exercise testing protocols produce similar maximum oxygen uptake in athletes / N.M. Frade [et al.] // Scientific report. – 2021. – Vol.11(1). – P. 13118.

21. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and [Formula: see text] / N.A. Jamnick [et al.] // PloS one. – 2018. – №13(7). – e0199794.

22. Сравнение процедур тестирования пикового потребления кислорода, аэробного и анаэробного порогов у биатлонистов высокого класса / Е.Б. Мякинченко // Вестник спортивной науки. – 2017. – №2. – С. 41–46.

23. Exercise Physiology for the Sports Cardiology Fellow [Electronic resource] / [et al.]. – American college of cardiology, 2019. – Mode of access: https://www.acc.org/latest- in- cardiology/articles/2019/05/24/14/07/exercise-physiology-for-the-sports-cardiology-fellow. – Date of access: 06.01.2022.

24. Glaab, T. Practical guide to cardiopulmonary exercise testing in adults / T. Glaab, C. Taube // Respir Res. – 2022. – №23(9). – 12 p.

25. ARTP statement on cardiopulmonary exercise testing / A. Pritchard [et al.] // BMJ Open Respiratory Research. – 2021. – 26 p.

26. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association / G.J. Balady [et al.] // Circulation. – 2010. – Vol.122(2). – P. 191–225.

27. Cardiopulmonary Exercise Test Parameters in Athletic Population: A Review / R. Mazaheri [et al.] // Journal of clinical medicine. – 2021. – Vol.10(21). – P. 5073.

28. The Brazilian Society of Cardiology and Brazilian Society of Exercise and Sports Medicine Updated Guidelines for Sports and Exercise Cardiology – 2019 / N. Ghorayeb [et al.] // Arquivos brasileiros de cardiologia. – 2019. – Vol.112(3). – P. 326–368.

29. Cardiopulmonary Exercise Testing: What Is its Value? / M. Guazzi [et al.] // Journal of the American College of Cardiology. – 2017. – №70(13). – P. 1618–1636.

30. Возможности кардиопульмонального нагрузочного тестирования в оценке физической работоспособности и функционального состояния дыхательной системы у здоровых лиц / Л.Б. Постникова [и др.] // Вестник современной клинической медицины. – 2015. – Т.8, №1. – С. 35–42.

31. Современный взгляд на кардиопульмональное нагрузочное тестирование (обзор рекомендаций EACPR/AHA, 2016) / А.С. Ватутин [и др.] // Архив внутренней медицины. – 2016. – №1(33). – С. 5–14.

32. Cardiopulmonary Exercise Testing in Athletes: Expect the Unexpected / B.J. Petek [et al.] // Current treatment options in cardiovascular medicine. – 2021. – Vol.23(7). – 49 p.

33. Колоскова, Н.Н. Определение пикового потребления кислорода: физиологические основы и области применения / Н.Н. Колоскова, К.В. Шаталов, Л.А. Бокерия // Креативная кардиология. – 2014. – №1. – С. 48–57.

34. Classification of selected cardiopulmonary variables of elite athletes of different age, gender, and disciplines during incremental exercise testing / C. Zinner [et al.] // SpringerPlus. – 2015. – №4. – P. 544.

35. Ghosh, A.K. Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport / A.K. Ghosh // Malays J Med Sci. – 2004. – Vol.11(1). – P. 24–36.

36. Pennington, C. The Exercise Effect on the Anaerobic Threshold in Response to Graded Exercise / C. Pennington // International Journal of Health Sciences. – 2015. – Vol.3, N1. – P. 225–234.

37. Показатели аэробной работоспособности у спортсменов игровых видов спорта / Ф.А. Мавлиев [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2018 – №1(155) – С. 150–153.

38. Корнеева, И.Т. Функциональное состояние подростков, занимающихся спортом, по данным сердечно-легочного теста / И.Т. Корнеева // Медицина для спорта: I всерос. конгр., Москва 19–20 сент. 2011 г. – М., 2011. – С. 217–220.

39. Mezzani, A. Cardiopulmonary Exercise Testing: Basics of Methodology and Measurements / A. Mezzani // Ann Am Thorac Soc. – 2017. – Vol.14. – Suppl. 1. – P. 3–11.

40. ATS/ACPP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing / Am J Respir Crit Care Med. – 2003. – Vol.167. – P. 211–277.

41. Попов, Д.В. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне / Д.В. Попов, А.А. Грушин, О.Л. Виноградова. – М.: Советский спорт, 2014. – 78 с.

42. Individual training-load and aerobic-fitness variables in premiership soccer players during the precompetitive season / V. Manzi [et al.] // Journal of strength and conditioning research. – 2013. – №27(3). – P. 631–636.

43. Ватутин, Н.Т. Роль кардиореспираторной выносливости в клинической практике / Н.Т. Ватутин, А.С. Смирнова, В.К. Гусака // Практична ангіологія. – 2017. – №(77). – С. 53–60.

44. Cardiopulmonary Exercise Testing in Athletes: Pearls and Pitfalls [Electronic resource] / M. Scott Emery. – American college of cardiology. – Mode of access: https://www.acc.org/latest-in- cardiology/articles/2021/04/13/13/12/cardiopulmonary-exercise-testing-in-athletes. – Date of access: 08.12.2021.

45. Lee, J. Physiological determinants of VO2max and the methods to evaluate it: A critical review / J. Lee, X-L Zhang. // Science & Sports. – 2021. – №35(05). – 13 p.

46. Bassett, DR. Jr. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance / DR. Jr. Bassett, E.T. Howley // Med Sci Sports Exerc. – 2000. – №(1). – P. 70–84.

47. Stress tests in Sports Medicine Consensus Document of the Spanish Society of Sports Medicine (SEMED-FEMEDE) [Electronic resource] / P.M. Marqueta [et al.] // Archivos de medicina del deporte. – Mode of access: http://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/Portada_supl-1-2016.pdf. – Date of access: 18.02.2022.

48. IOC Manual of Sports Cardiology [Electronic resource] / Mathew G. Wilson [et al.] // An IOC Medical Commission Publication. – Mode of access: – https://stillmed.olympics.com/media/Document%20Library/OlympicOrg/IOC/Who- We-Are/Commissions/Medical-and- Scientific- Commission/Manuals/2017_Wilson.pdf. – Date of access: 03.02.2022

49. A review: Maximal oxygen uptake (VO2 max) and its estimation methods / K.B. Karampreet [et al.] // International Journal of Physical Education, Sports and Health. – 2019. – №6(6). –P. 24–32

50. Jemni, M. RETRACTED ARTICLE: Assessing Cardiorespiratory Fitness of Soccer Players: Is Test Specificity the Issue?–A Review / M. Jemni, M.S. Prince, J.S. Baker // Sports Med. – 2018. – №4(1). – 28 p.

51. Сравнительный анализ нагрузочного тестирования на различных видах эргометров / В.И. Павлов [и др.] // Наука и спорт: современные тенденции. – 2013. – №1(1) – С. 105–111.

52. Mendel, R.W. Laboratory and Field Techniques for Measuring Performance / R.W. Mendel, C.C. Cheatham // Essentials of Sports Nutrition and Supplements. – 2008. – P.159–182.

53. The Use of Ergometry in the Kayakers´ Special Physical Conditioning / У. Chenqing [et al.] // Sport Mont. – 2021. – №19(S2). – P. 119–124.

54. A sport-specific upper-body ergometer test for evaluating submaximal and maximal parameters in elite rock climbers / M.L. Michailov [et al.] // Int J Sports Physiol Perform. – 2015. – №10(3). – P. 374–380.

55. A novel incremental slide board test for speed skaters: reliability analysis and comparison with a cycling test / T. Piucco [et al.] // Apunts: Medicina de l'esport. – 2015. – Vol.50(186). – P. 57–63.

56. Differences in maximal oxygen consumption between progressive on-ice and cycle ergometer tests with short track speed skaters Pitfalls [Electronic resource] / F. St-Jean Miron. – European College of Sport Sciences. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/335023144_Differences_in_maximal_oxygen_consumption_between_progressive_onice_and_cycle_ergometer_tests_with_short_track_speed_skaters. – Date of access: 18.12.2021.

57. Мехдиева, К.Р. Функциональное тестирование профессиональных спортсменов: специфическое или универсальное? / К.Р. Мехдиева, А.В. Захарова // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – №1(19). – С. 22–28.

58. Ландырь, А.П. Тесты с дозируемой физической нагрузкой в спортивной медицине / А.П. Ландырь, Е.Е. Ачкасов, И.Б. Медведев // М.: Спорт, 2019. – 256 с.

59. Wasserman, K. Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications / K. Wasserman [et al.] // 5th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2012. – P. 71–106.

60. Comparison of aerobic power and capacity between athletes from different sports / F. de B. Souza [et al.] // Rev Bras Med Esporte. – 2018. – Vol.24(6). – P. 432–435.

61. Paolillo, S. Prognostic Role of Cardiopulmonary Exercise Testing in Clinical Practice / S. Paolillo, P. Agostoni // Ann Am Thorac Soc. – 2017. – Vol.14. – P. 53–58.

62. The double anaerobic threshold in heart failure / S. Rovai [et al.] // Int J Cardiol. – 2022. – Vol. 353. – P.68–70.

63. . Secondary prevention through cardiac rehabilitation: physical activity counselling and exercise training: key components of the position paper from the Cardiac Rehabilitation Section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation / U. Corrà [et al.] // Eur Heart J. – 2010. – Vol.31(16). – P. 1967–1974.

64. ATS/ACPP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing / Am J Respir Crit Care Med. – 2003. – Vol.167. – P. 211–277.

65. Биохимические изменения при занятиях физкультурой и спортом: учеб. пособие / И.С. Селезнева, М.Н. Иванцова; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 162 с.

66. Westhoff, M. Ventilatorische und metabolische (Laktat-) Schwellen / M. Westhoff // Dtsch. Med. Wochenschrift. – 2013. – Vol.138 (6). – P. 275−280.

67. Смоленский, А.В. Курс лекций по спортивной медицине: учебное пособие / А.В. Смоленский – М.: Физическая культура. – 2011. – 280 с.

68. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association / G.F. Fletcher [et al.] // Circulation. – 2013. – Vol.128,8. – P. 873–934.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Показатели газоанализа и оценочные шкалы аэробной производительности спортсменов с учетом возрастной группы

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВИДЫ СПОРТА

Мужчины
15–17 лет

Таблица А.1 – Показатели газоанализа (n=48)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	18,8	16,95	21,40	12,89	27,70
VE/VO_2 пик	32,9	30,99	35,98	24,03	47,02
VE/VCO_2 пик	29,7	27,45	33,35	22,99	43,26

Таблица А.2 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=48)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<3,47	3,48–4,30	4,31>
% от макс возрастной ЧСС	<89,01	89,02–97,32	97,33>
VE/VCO_2 slope	<22,92	22,93–26,51	26,52 >
VO_2 пик, л/мин	<3,19	3,20–4,05	4,06>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<47,02	47,03–58,12	58,13>
O_2 пульс пик, мл/уд	<16,94	16,95–21,40	21,41>

Мужчины
18–25 лет

Таблица А.3 – Показатели газоанализа (n=250)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	22,5	20,27	24,89	14,39	32,53
VE/VO_2 пик	31,9	28,31	35,76	18,51	50,16
VE/VCO_2 пик	28,5	25,36	31,64	19,26	43,28

Таблица А.4 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=250)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<3,89	3,90–4,88	4,89>
% от макс возрастной ЧСС	<88,31	88,32–96,06	96,07>
VE/VCO_2 slope	<20,40	20,41–24,73	24,74>
VO_2 пик, л/мин	<3,78	3,79–4,62	4,63>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<51,12	51,13–62,95	62,96>
O_2 пульс пик, мл/уд	<20,26	20,27–24,89	24,90>

Женщины
15–17 лет

Таблица А.5 – Показатели газоанализа (n=65)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	14,0	13,01	16,52	10,17	22,25
VE/VO_2 пик	31,6	28,16	34,69	21,26	42,55
VE/VCO_2 пик	27,3	26,24	29,73	21,26	41,41

Таблица А.6 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=65)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<2,91	2,92–3,71	3,72>
% от макс возрастной ЧСС	<86,82	86,83–93,20	93,21>
VE/VCO_2 slope	<22,42	22,43–27,75	27,76>
VO_2 пик, л/мин	<2,39	2,40–2,94	2,95>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<38,67	38,68–47,35	47,36>
O_2 пульс пик, мл/уд	<13,00	13,01–16,52	16,53>

Женщины
18–25 лет

Таблица А.7 – Показатели газоанализа (n=150)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	15,8	14,20	17,52	10,56	26,08
VE/VO_2 пик	30,9	27,28	33,99	21,43	67,93
VE/VCO_2 пик	26,7	24,21	28,95	18,92	57,17

Таблица А.8 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=150)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<3,43	3,44–4,24	4,25>
% от макс возрастной ЧСС	<87,74	87,75–94,58	94,59>
VE/VCO_2 slope	<21,11	21,12–24,91	24,92>
VO_2 пик, л/мин	<2,66	2,67–3,26	3,27>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<41,96	41,97–51,63	51,64>
O_2 пульс пик, мл/уд	<14,25	14,26–17,52	17,53>

ИГРОВЫЕ ВИДЫ СПОРТА

Мужчины
15–17 лет

Таблица А.9 – Показатели газоанализа (n=92)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	17,9	15,55	19,51	12,14	28,79
VE/VO_2 пик	32,1	28,89	37,08	23,55	44,63
VE/VCO_2 пик	28,8	26,47	30,69	22,36	36,01

Таблица А.10 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=92)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<3,28	3,29–4,2	4,21>
% от макс возрастной ЧСС	<86,88	86,89–92,72	92,73>
VE/VCO_2 slope	<22,71	22,72–27,15	27,16>
VO_2 пик, л/мин	<2,93	2,94–3,65	3,66>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<45,90	45,91–53,49	53,50>
O_2 пульс пик, мл/уд	<15,54	15,55–19,52	19,53>

Мужчины
18–25 лет

Таблица А.11 – Показатели газоанализа (n=251)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	21,7	19,15	23,94	12,10	31,15
VE/VO_2 пик	30,9	27,52	34,82	17,39	52,67
VE/VCO_2 пик	27,7	24,89	30,11	17,69	98,66

Таблица А.12 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=251)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<3,54	3,55–4,30	4,31>
% от макс возрастной ЧСС	<86,56	86,57–94,00	94,01>
VE/VCO_2 slope	<21,21	21,22–25,21	25,22 >
VO_2 пик, л/мин	<3,50	3,51–4,32	4,33>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<43,00	43,10–53,42	53,43>
O_2 пульс пик, мл/уд	<19,14	19,15–23,94	23,95>

Мужчины
26–30 лет

Таблица А.13 – Показатели газоанализа (n=68)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	22,8	21,09	25,48	14,25	34,16
VE/VO_2 пик	31,3	26,58	34,67	20,91	47,28
VE/VCO_2 пик	28,2	25,36	30,43	19,93	40,28

Таблица А.14 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=68)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<3,39	3,40–4,07	4,08>
% от макс возрастной ЧСС	<87,49	87,50–95,77	95,78>
VE/VCO_2 slope	<19,89	19,9–24,21	24,22>
VO_2 пик, л/мин	<3,73	3,74–4,47	4,48>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<44,04	44,05–51,43	51,44>
O_2 пульс пик, мл/уд	<21,09	21,10–25,48	25,49>

Женщины
15–17 лет

Таблица А.15 – Показатели газоанализа (n=31)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	14,4	12,74	15,64	9,40	17,84
VE/VO_2 пик	31,0	24,11	32,59	22,03	35,29
VE/VCO_2 пик	29,1	24,06	30,53	21,36	31,89

Таблица А.16 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=31)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<2,41	2,42–2,88	2,89>
% от макс возрастной ЧСС	<82,43	82,44–86,89	86,90>
VE/VCO_2 slope	<21,69	21,70–25,26	25,27>
VO_2 пик, л/мин	<2,18	2,19–2,79	2,80>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<31,73	31,74–44,02	44,03>
O_2 пульс пик, мл/уд	<12,73	12,74-15,64	15,65>

Женщины
18–25 лет

Таблица А.17 – Показатели газоанализа (n=110)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	14,7	13,49	16,54	10,85	21,46
VE/VO_2 пик	30,5	27,32	34,46	20,88	41,43
VE/VCO_2 пик	26,9	24,77	29,08	20,25	36,72

Таблица А.18 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=110)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<3,20	3,21–3,80	3,81>
% от макс возрастной ЧСС	<86,66	86,67–92,61	92,62>
VE/VCO_2 slope	<20,89	20,90–25,32	25,33>
VO_2 пик, л/мин	<2,40	2,41–2,92	2,93>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<39,46	39,47–47,85	47,86>
O_2 пульс пик, мл/уд	<13,48	13,49–16,54	16,55>

Женщины
26–30 лет

Таблица А.19 – Показатели газоанализа (n=29)

Показатель	Me	Q_{25}	Q_{75}	Min	Max
O_2 пульс пик, мл/уд	15,6	14,07	18,35	11,03	21,39
VE/VO_2 пик	29,6	26,90	35,31	21,01	49,29
VE/VCO_2 пик	27,4	24,26	32,19	20,82	35,55

Таблица А.20 – Оценка аэробной производительности по результатам эргоспирометрии (n=29)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
Коэффициент работоспособности, Вт/кг	<2,98	2,99–3,88	3,89>
% от макс возрастной ЧСС	<87,22	87,23–93,81	93,82>
VE/VCO_2 slope	<21,33	21,34–26,2	26,21>
VO_2 пик, л/мин	<2,46	2,47–3,01	3,02>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<38,73	38,74–47,19	47,20>
O_2 пульс пик, мл/уд	<14,06	14,07–18,35	18,36>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Оценка аэробных возможностей спортсменов по уровню максимального потребления кислорода с учетом квалификации

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВИДЫ СПОРТА

Мужчины
высокой квалификации

Таблица Б.1 – Оценка аэробных возможностей (n=265)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<3,76	3,77–4,61	4,62>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<51,05	51,06–62,63	62,64>

низкой квалификации

Таблица Б.2 – Оценка аэробных возможностей (n=39)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<3,24	3,25–4,04	4,05>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<43,64	43,65–57,63	57,64>

Женщины
высокой квалификации

Таблица Б.3 – Оценка аэробных возможностей (n=203)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<2,55	2,56–3,18	3,19>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<41,60	41,61–50,75	50,76>

низкой квалификации

Таблица Б.4 – Оценка аэробных возможностей (n=16)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<2,38	2,39–2,95	2,96>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<32,22	32,23–45,89	45,90>

ИГРОВЫЕ ВИДЫ СПОРТА

Мужчины
высокой квалификации

Таблица Б.5 – Оценка аэробных возможностей (n=223)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<3,66	3,67–4,38	4,39>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<42,6	42,61–52,54	52,55>

низкой квалификации

Таблица Б.6 – Оценка аэробных возможностей (n=188)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<3,12	3,13–3,96	3,97>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<45,59	45,6–53,98	53,99>

Женщины
высокой квалификации

Таблица Б.7 – Оценка аэробных возможностей (n=132)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<2,40	2,41–2,97	2,98>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<39,44	39,45–47,67	47,68>

низкой квалификации

Таблица Б.8 – Оценка аэробных возможностей (n=38)

Показатель	Ниже среднего	Средний	Выше среднего
VO_2 пик, л/мин	<2,18	2,19–2,73	2,74>
VO_2 пик, мл/кг/мин	<32,62	32,63–41,3	41,31>

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень сокращений и обозначений 3
Введение 4
1. Эргоспирометрия как важный инструмент оценки функциональной подготовленности спортсменов 5
2. Основные подходы к определению порога анаэробного обмена 10
3. Алгоритм выполнения эргоспирометрии 12
3.1. Технология проведения велоэргометрии с газоанализом 12
3.2. Формирование заключения по результатам тестирования 19
3.3. Практические рекомендации 21
Заключение 22
Список использованных источников 23
Приложение А 28
Приложение Б 33
Содержание 35

Производственно-практическое издание

Захаревич Анна Леонидовна
Марченко Дарья Сергеевна
Титова Елена Михайловна

**ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
СТРЕСС-ТЕСТА С ГАЗОАНАЛИЗОМ
СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА**

Корректор А.Н. Чернявская
Компьютерная верстка В.А. Роговская
Оформление обложки В.А. Роговская

Подписано в печать 26.09.2022.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 1,58. Тираж 100 экз. Заказ 323.

Издатель: РНПЦ спорта
Свидетельство №1/447 от 14 ноября 2014 г.
Ул. Нарочанская, 8, 220062, Минск

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение «Республиканский учебно-методический центр физического воспитания населения»
Свидетельство №1/42 от 1 октября 2013
Ул. Гусовского, 4–1, 220073, Минск