

УДК 612.2

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПРИРОСТА НАГРУЗКИ ВО ВРЕМЯ СТУПЕНЧАТОГО ТЕСТА НА ПОКАЗАТЕЛИ АЭРОБНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

© 2024 г. В. В. Волков<sup>1, \*</sup>, Р. В. Тамбовцева<sup>1</sup>, В. Г. Конюхов<sup>1</sup>, В. С. Маркарян<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Российский университет спорта “ГЦОЛИФК”, Москва, Россия

\*E-mail: fitclub@list.ru

Поступила в редакцию 22.03.2023 г.

После доработки 30.04.2023 г.

Принята к публикации 10.05.2023 г.

Максимальное потребление кислорода является информативным показателем аэробной работоспособности, и его оценка связана с существенными затратами времени. В данной работе проведено сравнение результатов максимальных тестов со ступенчато возрастающей нагрузкой с разной продолжительностью одной ступени нагрузки: 15, 30, 60, 120 и 240 с. Оценивалось максимальное потребление кислорода, общее время работы и парная взаимосвязь протоколов. Было показано отсутствие статистически значимых различий по максимальной скорости потребления кислорода в протоколах с различной продолжительностью. Также все исследуемые протоколы показали высокую корреляцию между собой ( $r = 0.92–0.97$ ).

**Ключевые слова:** максимальное потребление кислорода (МПК), аэробная работоспособность, функциональная диагностика.

DOI: 10.31857/S0131164624010052

Показатели максимального потребления кислорода (МПК) и максимальной аэробной мощности получили широкое распространение в клинической и спортивной диагностике [1, 2]. Для определения МПК обычно рекомендуется выполнять работу на велоэргометре или на беговой дорожке. Необходимо предварительно выполнить разминку, а затем каждые 1–4 мин увеличивать интенсивность нагрузки до тех пор, пока испытуемый может выполнять упражнение. Для определения МПК исследователи стараются выбрать такой паттерн прироста нагрузки, чтобы соответствовать некой “правильной” временной продолжительности теста [3]. То есть, слишком короткая или слишком длительная продолжительность теста может привести к тому, что испытуемые достигнут своего отказа от продолжения работы до того, как будет определено МПК. В широко цитируемых рекомендациях отмечено, что для получения достоверных значений МПК, тесты с постоянно возрастающей нагрузкой должны длиться в диапазоне от 8 до 12 мин. Эти рекомендации включены в руководства по тестированию, опубликованные Американским колледжем спортивной медицины [4]. При рекомендуемой средней продолжительности нагрузочного теста для определения аэробных возможностей углубленное медицинское обследо-

вание, например, хоккейной команды может занять несколько дней. Также очень велика физиологическая нагрузка на организм испытуемого при выполнении длительных максимальных тестов, что может негативно сказаться на самочувствии в этот и последующие дни. В свою очередь в литературе существуют данные, не подтверждающие необходимую информативную продолжительность для определения МПК [5]. Также было продемонстрировано достижение МПК при выполнении так называемых верификационных тестов [6–9], которые значительно короче рекомендуемой продолжительности. Значения МПК в таких тестах могут быть получены в течение 2–3 мин работы около максимальной аэробной мощности.

Цель настоящего исследования — изучить взаимосвязь максимальной скорости потребления кислорода и скорости увеличения нагрузки в тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой.

### МЕТОДИКА

В эксперименте принимали участие 13 профессиональных спортсменов-единоборцев высокой квалификации (9 мужчин, 4 женщины, возраст  $26.6 \pm 6$  лет, вес  $72 \pm 11.7$  кг, рост  $176.2 \pm 10.5$  см). Все участники являются действующими

щими спортсменами и выступают на Российских и международных соревнованиях, а также в профессиональных международных лигах. Исследование проводили в отделении функциональной диагностики клиники “Международный центр охраны здоровья” (г. Москва).

**Организация эксперимента.** Испытуемые посещали клинику два раза с перерывом между визитами 24–72 ч. За два посещения испытуемые должны были выполнить пять максимальных нагрузочных тестов для определения аэробных возможностей. Участникам рекомендовали в течение двух дней до эксперимента воздержаться от объемных и интенсивных тренировок. На протяжении эксперимента участники сохраняли привычный режим питания.

**Протоколы тестирования.** Тестирование выполняли на велоэргометре “Lode Excalibur” (Нидерланды). В течение эксперимента испытуемые выполняли пять тестов со ступенчато повышающейся нагрузкой до отказа с разной скоростью увеличения нагрузки. Каждый тест начинался с трехминутной разминки с мощностью работы 60 Вт и темпом педалирования 80 об./мин. Далее, в зависимости от протокола, при таком же темпе педалирования мощность работы возрастала на 30 Вт каждые 15, 30, 60, 120 и 240 с. В процессе теста измеряли параметры газообмена и частота сердечных сокращений (ЧСС) с помощью стационарной системы кардиопульмонального тестирования “Cosmed” (Италия). Тест выполнялся до отказа, т.е. до неспособности испытуемого поддерживать необходимый темп педалирования или до достижения максимальной скорости потребления кислорода. Основным критерием достижения МПК являлось визуальное определение появления “плато” на графике зависимости “нагрузка - потребление кислорода”. Дополнительными критериями достижения МПК была величина дыхательного коэффициента выше 1.1, ЧСС выше 85% от максимальной расчетной ЧСС, активная респираторная компенсация, а также нарушение техники выполнения упражнения. В тестах с длительностью нагрузочной ступени 60, 120 и 240 с МПК и максимальную ЧСС определяли как наибольшее значение, усредненное за 30 с на последней нагрузке непосредственно перед завершением работы. В тестах с длительностью нагрузочной ступени 15 и 30 с МПК и максимальную ЧСС определяли как наибольшее значение, усредненное за 15 с на последней нагрузке. Максимальную аэробную мощность определяли как нагрузку, которую испытуемый выполнял не менее чем на 3/4 по продолжительности ступени перед отказом от работы. Если данный объем не выполнялся, за максимальную мощность принималось значение последней завершенной ступени.

**Первое посещение.** Во время первого посещения испытуемые выполняли кардиологическое обследование для допуска к нагрузочному тестированию и два экспериментальных теста с длительностью ступени нагрузки 60 и 120 с. Между двумя тестами испытуемые пассивно отдыхали 40–60 мин, выпивали сладкий напиток с содержанием 50 г углеводов и далее пили чистую воду без ограничений.

**Второе посещение.** Во время второго посещения испытуемые выполняли оставшиеся три теста с длительностью нагрузочной ступени 15, 30 и 240 с. Между тестами испытуемые также пассивно отдыхали 40–60 мин, выпивали сладкий напиток с содержанием 50 г углеводов и далее пили чистую воду без ограничений. Планирование нескольких максимальных тестов в один день, как было показано, не влияет на максимальное потребление кислорода [10]. И выполнение повторного измерения МПК с помощью так называемого верификационного теста уже через 15 мин после традиционного также не влияет на результат [11].

**Статистическая обработка экспериментальных результатов.** Для анализа результатов тестирования использовали критерий Вилкоксона, метод Блэнда-Альтмана и коэффициент корреляции Пирсона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Максимальное потребление кислорода и время теста.** Из 65 планируемых измерений удалось получить только 63. Для построения графиков и анализа отличий утраченные данные были заменены на среднее значение из результатов других тестов, которые выполнил тот же испытуемый. МПК для тестов с продолжительностью нагрузочной ступени 15, 30, 60, 120 и 240 с составило  $2865 \pm 630$ ,  $2894 \pm 603$ ,  $2855 \pm 588$ ,  $2910 \pm 611$  и  $2895 \pm 506$  мл/мин соответственно. Значения каждого протокола не имели значимых различий между собой (табл. 1).

В то же время было показано, что протоколы существенно отличались по времени работы между собой. Разница между тестами с длительностью нагрузочной ступени 15 и 240 с была почти восьмикратной. В табл. 1 показано среднее МПК и среднее время работы до отказа по каждому протоколу.

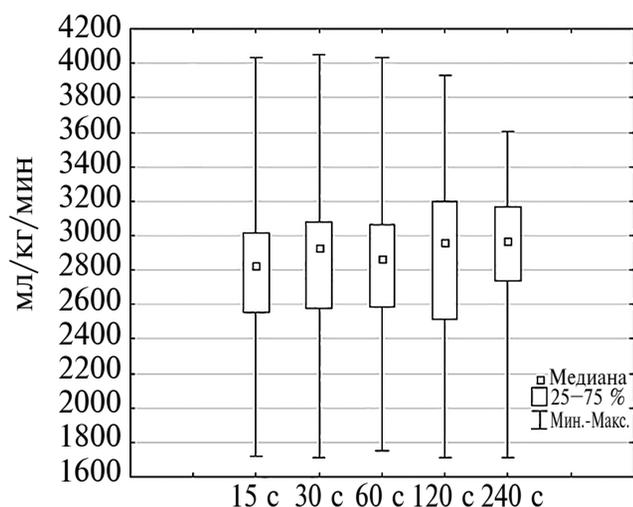
Поскольку для обоснования независимости результатов тестов от их продолжительности недостаточно визуального анализа, применим критерий Вилкоксона для сравнения результатов тестов с продолжительностью нагрузочной ступени 15, 30, 60 и 240 с с тестом с продолжительностью ступени 120 с, как с наиболее широко применяемым в функциональных обследованиях. Результаты расчетов, выполненных с помощью программы STATISTICA, приведены в нижней части табл. 1.

**Таблица 1.** Средние значения максимального потребления кислорода (МПК) и времени работы до отказа в протоколах с разной продолжительностью нагрузочной ступени

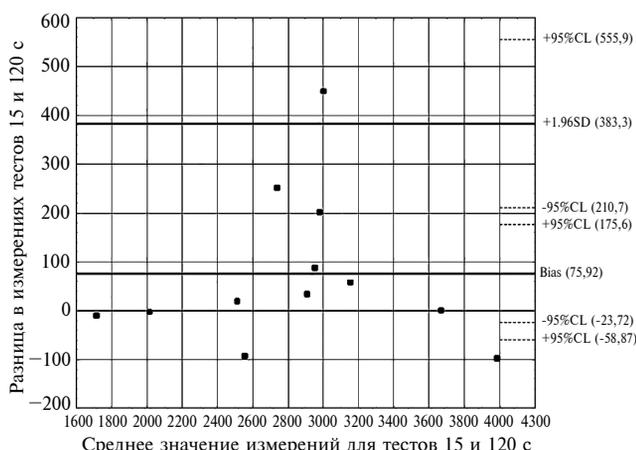
Продолжительность ступени	15 с	30 с	60 с	120 с	240 с
МПК, мл/мин	2865 ± 630	2894 ± 603	2855 ± 588	2910 ± 611	2895 ± 506
Время теста, с	152 ± 30.4	241 ± 50.9	395 ± 86.6	653 ± 156.9	1172 ± 289.4
<i>T</i>	34	36	24	—	45
<i>p</i>	0.42	0.51	0.13	—	0.97

*Примечание:* значения представлены в мл/мин и секундах ( $\pm SD$ ). *T* — значение критерия Вилкоксона, *p* — соответствующий уровень статистической значимости.

Как видим из рассмотрения двух последних строк табл. 1, значения уровней значимости существенно превосходят 0.05, что позволяет сделать вывод об одинаковом уровне исследуемого признака во всех экспериментах серии. Наглядно



**Рис. 1.** Диаграмма размаха для тестов различной продолжительности.



**Рис. 2.** График Блэнда-Альтмана для тестов с продолжительностью нагрузочной ступени 15 и 120 с.

этот факт можно продемонстрировать с помощью диаграммы размаха, приведенной на рис. 1.

Аналогичные результаты можно получить с помощью дисперсионного анализа, но при его применении встанет вопрос о соответствии законов распределения нормальному и равенстве дисперсий. Поэтому в условиях небольшого объема выборки лучше прибегнуть к его непараметрическому аналогу — критерию Фридмана. Уровень значимости для него, как показали расчеты, составляет  $p = 0.19$ , что значительно больше критического.

Для анализа результатов, полученных в тестах с различной продолжительностью нагрузки, удобно воспользоваться графиком Блэнда-Альтмана. В качестве примера на рис. 2 приведены результаты для тестов с продолжительностью нагрузочной ступени 15 и 120 с. По оси *X* графика отображается среднее значение измерений для двух тестов, а по оси *Y* — разница в измерениях для двух тестов. Результаты получены в программе *STATISTICA*.

Из рис. 2 видно, что средняя разница между измерениями в двух тестах равна  $-76$ , что составляет всего лишь 2% от значения измеряемой величины. Отсутствует зависимость разницы двух тестов от величины измеряемого параметра. Большая часть различий между двумя тестами попадает в доверительный интервал. На рис. 2 виден лишь один значительный выброс, который может быть объяснен состоянием участника эксперимента. Анализ теста других экспериментов свидетельствует, что при длительности ступени 15 с получен не характерный для него результат. Таким образом, график Блэнда-Альтмана иллюстрирует эквивалентность результатов, полученных в тестах с продолжительностью нагрузочной ступени 15 и 120 с.

В табл. 2 представлены индивидуальные значения МПК всех испытуемых в зависимости от длительности нагрузочной ступени в тесте со ступенчатой повышающейся нагрузкой.

В табл. 2 у испытуемых Х.Е. и Л.Д. звездочкой помечены утраченные данные и вместо них используется среднее значение потребления кислорода с использованием данных, полученных в четырех остальных тестах для этих же испытуемых.

**Таблица 2.** Индивидуальные значения максимального потребления кислорода (МПК) в протоколах с разной продолжительностью нагрузочной ступени

Испытуемый		Продолжительность ступени по 30 Вт					Среднее	SD
		15 с	30 с	60 с	120 с	240 с		
1	Н.Р.	2907	2814	2837	2996	2843	2879.4	73.8
2	Е.С.	2611	2644	2744	2864	2772	2727	101.8
3	О.А.	1719	1710	1751	1709	1713	1720.4	17.5
4	П.И.	3119	3090	3138	3178	3147	3134.4	32.7
5	Т.Е.	4030	4046	4032	3933	3603	3928.8	187.6
6	В.Э.	2888	3010	2892	2923	3090	2960.6	87.4
7	В.П.	2771	3073	2964	3222	3172	3040.4	180.1
8	М.М.	2014	2015	1978	2012	2134	2030.6	59.8
9	Х.Е.	3664	3449	3510*	3665	3272	3512	164.4
10	Ш.А.	2502	2505	2698	2523	2706	2586.8	105.5
11	Л.Д.	2645*	2851	2481	2523	2771	2654.2	157.9
12	Б.М.	2875	3060	2989	3078	3160	3032.4	107.0
13	С.Я.	3505	3364	3110	3224	3258	3292.2	149.5

Примечание: значения представлены в мл/мин. \* – расчетные средние значения взамен утраченных данных.

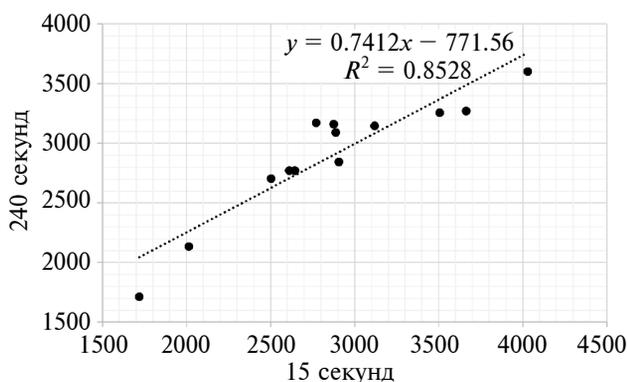
Взаимосвязь значений МПК в разных протоколах. На рис. 3 показана взаимосвязь индивидуальных показателей МПК, полученных в тестах с самой короткой (15 с) и с самой длинной (240 с) нагрузочной ступени. Найдена сильная прямая взаимосвязь ( $r = 0.92$ ), зависимость статистически значима ( $p < 0.01$ ).

На рис. 4 показана взаимосвязь индивидуальных показателей МПК, полученных в тесте с самой короткой (15 с) и с наиболее часто применяемой в диагностике (120 с) нагрузочной ступени.

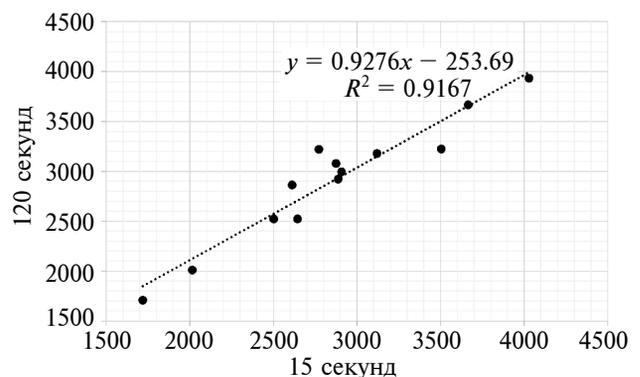
Найдена сильная прямая взаимосвязь ( $r = 0.95$ ), зависимость статистически значима ( $p < 0.01$ ).

На рис. 5 показана взаимосвязь индивидуальных показателей МПК, полученных в протоколах с длительностью ступени 15 и 60 с. Найдена сильная прямая взаимосвязь ( $r = 0.96$ ), зависимость статистически значима ( $p < 0.01$ ).

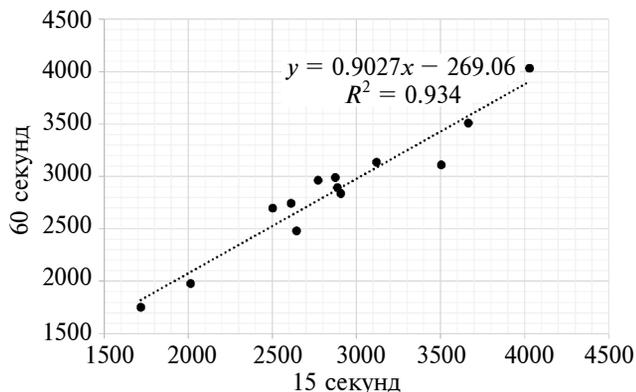
На рис. 6 показана взаимосвязь индивидуальных показателей МПК, полученных в протоколах с длительностью ступени 15 и 30 с. Найдена сильная прямая взаимосвязь ( $r = 0.97$ ), зависимость статистически значима ( $p < 0.01$ ).



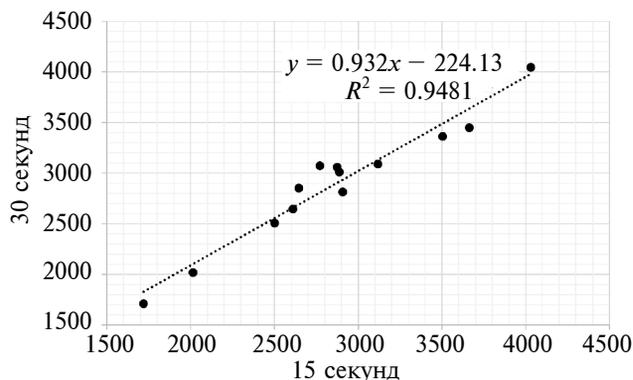
**Рис. 3.** Взаимосвязь показателей максимального потребления кислорода (МПК), полученных в самом коротком и самом длинном тестах. Значения представлены в мл/мин.



**Рис. 4.** Взаимосвязь показателей максимального потребления кислорода (МПК), полученных в самом коротком и самом «популярном» тестах. Значения представлены в мл/мин.



**Рис. 5.** Взаимосвязь показателей максимального потребления кислорода (МПК), полученных в протоколах с длительностью ступени 15 и 60 с. Значения представлены в мл/мин.



**Рис. 6.** Взаимосвязь показателей максимального потребления кислорода (МПК), полученных в протоколах с длительностью ступени 15 и 30 с. Значения представлены в мл/мин.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты данной работы демонстрируют отсутствие различий в показателях максимальной скорости потребления кислорода в широком диапазоне временной продолжительности нагрузочной ступени. При сравнении самой короткой и длинной ступени достигается восьмикратное снижение временных затрат на проведение тестирования.

Наши данные согласуются с наиболее близкой по дизайну работой *A. Adami et al.* [5], в которой также сравнивалась влияние скорости нарастания нагрузки на МПК. В этой работе 16 молодых здоровых мужчин выполнили шесть тестов с возрастающей нагрузкой с шагом прироста 25 Вт. Продолжительность шага составила 15, 30, 60, 90, 120 и 180 с. Было показано, что показатели МПК были одинаковыми во всех тестах вне зависимости от продолжительности нагрузочной ступени. Текущие данные подтверждают и дополняют наблюдения *A. Adami et al.* [5]. В качестве новых дополнений можно отметить следующее: в нашем исследовании участвовали профессиональные спортсмены-единоборцы, участвовали и женщины, и мужчины, мы расширили изучаемый диапазон длительности нагрузочной ступени до 240 с, а также в работе наших коллег не приводятся взаимосвязи между отдельными протоколами.

Что касается данных по профессиональным спортсменам, наше исследование также согласуется с наблюдениями, полученными *A. Riboli et al.* [12] и *S. Pierce et al.* [13]. В этих работах также было показано, что МПК не зависит от продолжительности нагрузочной ступени. Но, следует отметить, что нагрузочные ступени продолжительностью меньше 60 с в этих работах не изучались.

Подтверждение возможности применения коротких нагрузочных ступеней может быть найдено

в ряде работ, где изучалась кинетика потребления кислорода в так называемых анаэробных тестах. Например, в работе *O. Serresse et al.* [14] был показан существенный вклад аэробного энергообеспечения в максимальную работу продолжительностью 30 и 90 с, а в конце 90-секундной работы было даже продемонстрировано достижение максимального потребления кислорода. В работе *R. Beneke et al.* [15] было показано, что доли аэробного, креатинфосфатного и гликолитического механизмов при выполнении 30-секундного максимального Вингейт-теста составили 18.6, 31.1 и 50.3% соответственно. При завершении Вингейт-теста потребление кислорода составляло от 60 до 80% от МПК, измеренного в тесте с возрастающей нагрузкой. А в работе *M. Burnley et al.* [16] было показано, что максимальный 3-минутный тест можно использовать для определения МПК у взрослых активных испытуемых. *Sperlich B. et al.* [17] также демонстрируют, что не было существенной разницы между пиковым значением потребления кислорода в традиционном нагрузочном тесте и потреблением кислорода в конце 3-минутного максимального теста. Все, вышеприведенные работы, предполагают выполнение максимального спринтерского теста на велоэргометре. Как показали наблюдения авторов работы [18], данный тест субъективно очень тяжело переносится даже подготовленными испытуемыми, максимальные мышечные напряжения часто сопряжены с задержкой дыхания, что может повлиять на работу метабографа, а также максимальные спринтерские ускорения приводят к дополнительной активации мышц рук и туловища, что также может повлиять на МПК [19, 20]. Поэтому авторами было принято решение обойти эти ограничения путем применения быстро нарастающей нагрузки. Отдельно стоит отметить так называемые верификационные или провероч-

ные тесты, которые используются для уточнения измеренного в традиционном тесте показателя МПК. Основная цель такого этапа проверки — создание условий для достижения более высокого потребления кислорода по сравнению с уровнем, полученным в стандартном тесте. Для этого после отдыха или в отдельный день используется субмаксимальная, максимальная и даже супрамаксимальная нагрузка. И такие тесты демонстрируют достижение МПК всего за 3 мин у различных групп испытуемых, включая спортсменов [11]. V.A.B. Costa et al. проводят, как они утверждают, первый систематический обзор и мета-анализ по применению проверочных тестов [6]. Восемьдесят исследований, опубликованных в период с 1980 по 2020 гг., соответствовали критериям и были включены в систематический обзор. Обзор не показал существенных различий между стандартным тестированием и проверочными тестами для значений МПК после разделения экспериментов по интенсивности фазы верификации, используемому типу восстановления, по порядку проведения проверочных тестов и продолжительности тестов верификации (т.е. не более 80, от 81 до 120 с и более 120 с). Принимая во внимание все субанализы, не было никаких существенных различий между стандартным нагрузочным тестированием и проверочными тестами для МПК. Были сделаны основные выводы: 1) протоколы фазы проверки выявили самые высокие значения потребления кислорода, аналогичные тем, которые были получены в протоколах тестов с возрастающей нагрузкой; 2) соответствие между самыми высокими значениями потребления кислорода в стандартных и проверочных тестах не зависело от пола, уровня кардиореспираторной подготовки, вида упражнений, протокола нагрузки или протокола проверочных тестов. Эти данные подтверждают мнение о том, что проверочный тест, применяемый после теста с возрастающей нагрузкой, может доказать достижение максимально возможного потребления кислорода [6]. Однако, выполнение короткого проверочного теста возможно только при известной максимальной аэробной мощности, что исключено при первом тестировании. Поэтому снова возникает необходимость постепенного повышения нагрузки, но уже с учетом измерений кинетики потребления кислорода современными приборами. Что и было продемонстрировано в данном эксперименте.

**Ограничения работы.** Данная работа имеет ряд ограничений. К ним можно отнести небольшое количество испытуемых, смешанную по полу группу и применение одного и того же прироста нагрузки (30 Вт) для мужчин и женщин. Также эти данные справедливы только для велоэргометра и выбранной продолжительности тестов.

**Практическая значимость.** Во-первых, с учетом того, что определение МПК входит в программу углубленного медицинского обследования спортсменов, существенное снижение затрат времени на тестирование при сохранении его информативности может повысить пропускную способность диагностических стендов. Во-вторых, существенно снижается стрессогенность обследования, что важно для регулярно тренирующихся атлетов. В-третьих, неоднократно показанная, включая данное исследование, быстрая кинетика потребления кислорода должна побудить специалистов пересмотреть описание биоэнергетических процессов при выполнении коротких максимальных упражнений, изложенное в классических пособиях по физиологии и биохимии мышечной деятельности. Есть основания предполагать, что ранее посчитанный вклад анаэробных источников энергообеспечения был переоценен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование продолжительности нагрузочной ступени 15, 30, 60, 120 и 240 с с приростом мощности работы 30 Вт не выявило статистически значимых различий в достигнутой максимальной скорости потребления кислорода у высококвалифицированных спортсменов-единоборцев. Все используемые тесты показали сильную корреляцию между собой. Использование самого короткого теста (15 с) демонстрирует восьмикратную экономию времени по сравнению с самым длинным (240 с). Не было выявлено статистически значимых различий в максимальной скорости потребления кислорода в тесте с самой короткой продолжительностью ступени (15 с) и в тесте, который наиболее широко применяется в диагностике (120 с). Снижение продолжительности тестирования при сохранении его информативности может существенно повысить производительность труда специалистов по функциональной диагностике и снизить физиологическую нагрузку на организм испытуемых.

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Российского государственного университета физической культуры спорта молодежи и туризма (Москва), протоколы № 3051-12-58/3340, № 3050-12-57/3339 от 28.09.2023 г.

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

**Финансирование работы.** Авторы сообщают, что не получали никакого финансирования и все затраты на исследование были личными вкладами авторов.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lundby C., Montero D., Joyner M.* Biology of VO<sub>2</sub> max: looking under the physiology lamp // *Acta Physiol. (Oxf)*. 2017. V. 220. № 2. P. 218.
2. *Borszcz F.K., Tramontin A.F., de Souza K.M. et al.* Physiological correlations with short, medium, and long cycling time-trial performance // *Res. Q. Exerc. Sport*. 2018. V. 89. № 1. P. 120.
3. *Midgley A.W., Bentley D.J., Luttikholt H. et al.* Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO<sub>2</sub>max determination really need to last between 8 and 12 minutes? // *Sports Med*. 2008. V. 38. № 6. P. 441.
4. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription / American College of Sports Medicine // Ed. Linda S. Pescatello. 9th ed., Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, 2013. P. 126.
5. *Adami A., Sivieri A., Moia C. et al.* Effects of step duration in incremental ramp protocols on peak power and maximal oxygen consumption // *Eur. J. Appl. Physiol*. 2013. V. 113. № 10. P. 2647.
6. *Costa V.A.B., Midgley A.W., Carroll S. et al.* Is a verification phase useful for confirming maximal oxygen uptake in apparently healthy adults? A systematic review and meta-analysis // *PLoS One*. 2021. V. 16. № 2. P. e0247057.
7. *Iannetta D., de Almeida Azevedo R., Ingram C.P. et al.* Evaluating the suitability of supra-PO<sub>peak</sub> verification trials after ramp-incremental exercise to confirm the attainment of maximum O<sub>2</sub> uptake // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol*. 2020. V. 319. № 3. P. 315.
8. *Sawyer B.J., McMahon N., Thornhill K.L. et al.* Supra-versus submaximal cycle ergometer verification of VO<sub>2max</sub> in males and females // *Sports*. 2020. V. 8. № 12. P. 163.
9. *Schaun G.Z.* The maximal oxygen uptake verification phase: a light at the end of the tunnel? // *Sports Med. Open*. 2017. V. 3. № 1. P. 44.
10. *Scharhag-Rosenberger F., Carlsohn A., Lundby C. et al.* Can more than one incremental cycling test be performed within one day? // *Eur. J. Sport Sci*. 2014. V. 14. № 5. P. 459.
11. *Hebisz P., Jastrzębska A.D., Hebisz R.* Real assessment of maximum oxygen uptake as a verification after an incremental test versus without a test // *Front. Physiol*. 2021. V. 12. P. 739745.
12. *Riboli A., Rampichini S., Cè E. et al.* Effect of ramp slope on different methods to determine lactate threshold in semi-professional soccer players // *Res. Sports Med*. 2019. V. 27. № 3. P. 326.
13. *Pierce S.J., Hahn A.G., Davie A., Lawton E.W.* Prolonged incremental tests do not necessarily compromise VO<sub>2</sub>max in well-trained athletes // *J. Sci. Med. Sport*. 1999. V. 2. № 4. P. 356.
14. *Serresse O., Lortie G., Bouchard C., Boulay M.R.* Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration // *Int. J. Sports Med*. 1988. V. 9. № 6. P. 456.
15. *Beneke R., Pollmann C., Bleif I. et al.* How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? // *Eur. J. Appl. Physiol*. 2002. V. 87. № 4–5. P. 388.
16. *Burnley M., Doust J.H., Vanhatalo A.* A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state // *Med. Sci. Sports Exerc*. 2006. V. 38. № 11. P. 1995.
17. *Sperlich B., Haegele M., Thissen A. et al.* Are peak oxygen uptake and power output at maximal lactate steady state obtained from a 3-min all-out cycle test? // *Int. J. Sports Med*. 2011. V. 32. № 6. P. 433.
18. *Волков В.В., Тамбовцева П.В.* Сравнение скорости максимального потребления кислорода в традиционном ступенчатом тесте и в анаэробном Вингейт-тесте // *Современные вопросы биомедицины*. 2023. Т. 7. № 1. С. 37.
19. *Hermansen L., Saltin B.* Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise // *J. Appl. Physiol*. 1969. V. 26. № 1. P. 31.
20. *Волков В.В., Тамбовцева П.В.* Максимальное потребление кислорода и объем работающей мышечной массы во время ступенчатого теста: пилотное исследование // *Современные вопросы биомедицины*. 2022. Т. 6. № 4. С. 29.

## REFERENCES

1. *Lundby C., Montero D., Joyner M.* Biology of VO<sub>2</sub> max: looking under the physiology lamp // *Acta Physiol. (Oxf)*. 2017. V. 220. № 2. P. 218.
2. *Borszcz F.K., Tramontin A.F., de Souza K.M. et al.* Physiological correlations with short, medium, and long cycling time-trial performance // *Res. Q. Exerc. Sport*. 2018. V. 89. № 1. P. 120.
3. *Midgley A.W., Bentley D.J., Luttikholt H. et al.* Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO<sub>2</sub>max determination really need to last between 8 and 12 minutes? // *Sports Med*. 2008. V. 38. № 6. P. 441.
4. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription / American College of Sports Medicine // Ed. Linda S. Pescatello. 9th ed., Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, 2013. P. 126.
5. *Adami A., Sivieri A., Moia C. et al.* Effects of step duration in incremental ramp protocols on peak power and maximal oxygen consumption // *Eur. J. Appl. Physiol*. 2013. V. 113. № 10. P. 2647.
6. *Costa V.A.B., Midgley A.W., Carroll S. et al.* Is a verification phase useful for confirming maximal oxygen uptake in apparently healthy adults? A systematic review and meta-analysis // *PLoS One*. 2021. V. 16. № 2. P. e0247057.

7. *Iannetta D., de Almeida Azevedo R., Ingram C.P. et al.* Evaluating the suitability of supra- $\dot{V}O_{2peak}$  verification trials after ramp-incremental exercise to confirm the attainment of maximum  $\dot{V}O_2$  uptake // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2020. V. 319. № 3. P. 315.
8. *Sawyer B.J., McMahon N., Thornhill K.L. et al.* Supra-versus submaximal cycle ergometer verification of  $\dot{V}O_{2max}$  in males and females // *Sports.* 2020. V. 8. № 12. P. 163.
9. *Schaun G.Z.* The maximal oxygen uptake verification phase: a light at the end of the tunnel? // *Sports Med. Open.* 2017. V. 3. № 1. P. 44.
10. *Scharhag-Rosenberger F., Carlsohn A., Lundby C. et al.* Can more than one incremental cycling test be performed within one day? // *Eur. J. Sport Sci.* 2014. V. 14. № 5. P. 459.
11. *Hebisz P., Jastrzębska A.D., Hebisz R.* Real assessment of maximum oxygen uptake as a verification after an incremental test versus without a test // *Front. Physiol.* 2021. V. 12. P. 739745.
12. *Riboli A., Rampichini S., Cè E. et al.* Effect of ramp slope on different methods to determine lactate threshold in semi-professional soccer players // *Res. Sports Med.* 2019. V. 27. № 3. P. 326.
13. *Pierce S.J., Hahn A.G., Davie A., Lawton E.W.* Prolonged incremental tests do not necessarily compromise  $\dot{V}O_{2max}$  in well-trained athletes // *J. Sci. Med. Sport.* 1999. V. 2. № 4. P. 356.
14. *Serresse O., Lortie G., Bouchard C., Boulay M.R.* Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration // *Int. J. Sports Med.* 1988. V. 9. № 6. P. 456.
15. *Beneke R., Pollmann C., Bleif I. et al.* How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2002. V. 87. № 4-5. P. 388.
16. *Burnley M., Doust J.H., Vanhatalo A.* A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006. V. 38. № 11. P. 1995.
17. *Sperlich B., Haegeler M., Thissen A. et al.* Are peak oxygen uptake and power output at maximal lactate steady state obtained from a 3-min all-out cycle test? // *Int. J. Sports Med.* 2011. V. 32. № 6. P. 433.
18. *Volkov V.V., Tambovtseva R.V.* [Comparison of the rate of maximal oxygen consumption in the traditional step test and in the anaerobic wingate test] // *Modern Issues of Biomedicine.* 2023. V. 7. № 1. P. 37.
19. *Hermansen L., Saltin B.* Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise // *J. Appl. Physiol.* 1969. V. 26. № 1. P. 31.
20. *Volkov V.V., Tambovtseva R.V.* [Maximum oxygen consumption and muscle mass working during the step test: a pilot study] // *Modern Issues of Biomedicine.* 2022. V. 6. № 4. P. 29.

## Influence of Load Increase Rate During Incremental Test on Aerobic Performance Indicators

V. V. Volkov<sup>a,\*</sup>, R. V. Tambovtseva<sup>a</sup>, V. G. Konyukhov<sup>a</sup>, V. S. Markaryan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow, Russia*

*\*E-mail: fitclub@list.ru*

Maximum oxygen consumption is an informative indicator of aerobic performance, and its assessment is associated with a significant investment of time. The paper compares the results of maximum tests with a stepwise increasing load with different duration of one load step: 15, 30, 60, 120 and 240 s. Maximum oxygen uptake, total operating time, and pair-wise relationship of protocols were assessed. There was no statistically significant difference in maximum oxygen uptake rate in protocols of different duration. Also, all the studied protocols showed a high correlation with each other ( $r = 0.92-0.97$ ).

*Keywords:* maximum oxygen consumption, aerobic performance, incremental test.