Дата публикации: 01.09.2022
DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_5
УДК: 611.2; 796

Publication date: 01.09.2022
DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_5
UDC: 611.2; 796

ИЗМЕРЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА: К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ПРОТОКОЛА

В.В. Волков, Р.В. Тамбовцева
Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма, г. Москва, Россия

Аннотация. Тестирование аэробной работоспособности с определением максимального потребления кислорода входит в программу медицинского обследования спортсменов. Традиционный нагрузочный тест требует от испытуемого внушительных временных и энергетических затрат. Особенно остро эта проблема встает в командных обследованиях. Спортсмены, тренеры и специалисты по функциональной диагностике заинтересованы в снижении продолжительности и стрессогенности нагрузочного тестирования с обязательным сохранением информативности. Данный обзор литературы демонстрирует возможность и направление дальнейших исследований для решения этой задачи.
Ключевые слова: максимальное потребление кислорода, функциональная диагностика, нагрузочное тестирование.

MEASUREMENT OF MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION: ON THE QUESTION OF CHOOSING A PROTOCOL

V.V. Volkov, R.V. Tambovtseva
Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Moscow, Russia

Annotation. Aerobic performance testing with identification of maximum oxygen consumption is included in the program of medical examination of athletes. A traditional load test requires an impressive amount of time and energy from the subject. This problem is especially relevant in team examination. Athletes, coaches and specialists in functional diagnostics are interested in reducing the duration and stress of load testing with the obligatory preservation of informational value. This literature review demonstrates the possibility and direction of further research to solve this problem.
Keywords: maximum oxygen consumption, functional diagnostics, load testing.

Введение. Регулярный контроль функционального состояния является неотъемлемой частью педагогического процесса в спорте и оздоровительной физической культуре. Данные, полученные в ходе такого тестирования, используются для оценки занимающегося, соответствует ли он нормам, принятым в фитнесе или в избранном виде спорта, для выявления факторов, лимитирующих спортивный результат. Также эти данные часто используются для планирования тренировочных нагрузок, например при расчете так называемых «пульсовых зон».

Тестирование физической работоспособности, а особенно ее аэробный компонент, очень часто входит в батарею фитнес и спортивных тестов. Для определения аэробной производительности наиболее распространен нагрузочный тест с использованием ступенчато или плавно возрастающей нагрузки. В ходе такого тестирования определяют параметры, по которым оценивают аэробные возможности человека: максимальное потребление кислорода (МПК), максимальную аэробную мощность (P max), мощность и потребление кислорода на аэробном (АэП) и анаэробном (АнП) порогах [1]. Тесты с постепенно возрастающей физической нагрузкой, используемые для определения максимального потребления кислорода, часто значительно различаются по методологическим характеристикам, таким как продолжительность

нагрузочного этапа и степень увеличения нагрузки. Различия могут быть связаны с личными предпочтениями специалиста/ испытуемого или установленным регламентом в диагностической лаборатории. Также может стоять задача определить дополнительные показатели, такие как лактатный и вентиляционный пороги, эффективность и энергетическую составляющую выполняемой работы и другие параметры, которые используются в оценке физической подготовленности и мониторинга интенсивности упражнений.

Для определения МПК обычно рекомендуется выполнять работу на велоэргометре или на беговой дорожке. Необходимо предварительно выполнить разминку, а затем каждые 1-4 минуты увеличивать интенсивность нагрузки до тех пор, пока испытуемый может выполнять упражнение [2]. Если МПК является единственной интересующей переменной, то стараются выбрать такой протокол, чтобы соответствовать «правильной» 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. Таким образом, диапазон продолжительности нагрузочного теста, который позволяет выявить достоверные значения МПК, представляет интерес для исследователей и клиницистов, работающих в области функциональной диагностики.

В широко цитируемых рекомендациях отмечено, что для получения достоверных значений МПК тесты с постоянно возрастающей нагрузкой должны длиться в диапазоне от 8 до 12 минут. Эти рекомендации включены в руководства по тестированию, опубликованные Американским колледжем спортивной медицины [4], Американским торакальным обществом/ Американским колледжем торакальных врачей [5]. При такой рекомендованной продолжительности тестирования спортсмены и тренеры командных видов спорта могут сталкиваться с дополнительными трудностями при прохождении регулярных лабораторных испытаний. При средней продолжительности нагрузочного теста для определения только аэробных возможностей 8-12 минут (не считая подготовку и калибровку оборудования) и хоккейной команды в среднем в 25 человек тестирование может занять несколько дней. Также очень велика физиологическая нагрузка на организм спортсмена при выполнении таких длительных максимальных тестов, что может негативно сказаться на тренировочном процессе. Поэтому перед специалистами по функциональной диагностике встает вопрос – можно ли уменьшить продолжительность и стрессогенность нагрузочного тестирования при сохранении его информативности.

Методы и организация исследования. В качестве метода исследования был использован контент-анализ отечественных и зарубежных литературных источников.

Результаты исследования и их обсуждение. *Информативная продолжительность тестирования.* Критерий 8-12 минут возник из результатов одного экспериментального исследования, проведенного Buchfuhrer и соавт. в 1983 году. В этом исследовании приняли участие пять здоровых мужчин, каждый из которых выполнил пять тестов с постепенно возрастающей нагрузкой на беговой дорожке и три теста на велоэргометре. Средняя продолжительность пяти тестов на беговой дорожке составила: 7,0±0,5 минут, 10,6±1,0 минут, 11,4±1,0 минут, 15,1±0,9 минут и 26,4±1,6 минут, для трех тестов на велоэргометре: 5,8±0,5 минут, 10,6±1,0 минут и 18,0±1,6 минут соответственно. Авторы получили следующие результаты: МПК для беговой дорожки составило: 3,68±0,41, 3,89±0,44, 3,94±0,43, 3,88±0,44 и 3,77±0,39 л/мин для вышеописанной продолжительности протоколов соответственно. МПК для велоэргометра составило: 3,35±0,38, 3,77±0,43 и 3,62±0,40 л/мин также для вышеописанной продолжительности протоколов соответственно. МПК было самым высоким для теста средней продолжительности от 8

до 17 минут на обоих эргометрах. Тесты продолжительностью менее 8 минут привели к среднему снижению МПК на 10%. Тесты более 17 мин также показали снижение МПК [6].

Основываясь на этих результатах, авторы пришли к выводу, что для «получения максимального МПК во время упражнений с постоянно возрастающей нагрузкой необходимо выбирать увеличение мощности работы таким образом, чтобы довести испытуемого до его истощения примерно за 10±2 мин». Хотя данное исследование является важным вкладом в научные знания, его не следует рассматривать как достаточное доказательство в поддержку рекомендаций о том, что для достоверного определения максимального потребления кислорода тест должен длиться от 8 до 12 минут.

Во-первых, из пяти тестов на беговой дорожке статистически значимыми для МПК были только различия между тестами со средним временем работы до утомления 7,0 и 11,4 минут. Во-вторых, испытуемыми были мужчины средней физической подготовки, поэтому неизвестно, можно ли достоверно экстраполировать результаты на малоподвижных или хорошо тренированных людей, женщин, детей, пожилых людей или людей с хроническими заболеваниями, у которых, вероятно, будут различия в толерантности к физической нагрузке. В-третьих, обобщение результатов такой небольшой выборки (по 5 испытуемых на велоэргометре и беговой дорожке) также может быть связано со значительной ошибкой [3].

Проверка «информативной» продолжительности в других работах. Некоторые исследования действительно подтверждают выводы Buchfuhrer и соавт. Например, в работе McLellan и соавт. 10 мужчин выполняли ступенчатые тесты на велоэргометре с длительностью ступени 1, 3 и 5 минут и величиной прироста 30 Вт. МПК было значительно выше для протокола с длительностью ступени 1 минута (3,88 л/мин) по сравнению с протоколом 3 минуты (3,68 л/мин) или 5 минут (3,63 л/мин). Для этого исследования средняя общая продолжительность 1-минутного теста с шагом нагрузки 30 Вт составила 10,2 минуты [7].

Позднее Lukaski и соавт. протестировали 16 здоровых мужчин с использованием трех разных протоколов на тредмиле: Balke, Ellestad и Bruce. В результате протокол Balke привел к большему времени работы до истощения – 27,6±0,7 минут, но к самому низкому МПК – 45,6±1,4 мл/кг/мин. В свою очередь протокол Bruce показал МПК 47,9±1,5 мл/кг/мин и время работы 18±0,4 минуты, протокол Ellestad – МПК 47,4±6,3 мл/кг/мин и время работы 16,4±0,2 минуты. Снова видим, что более длинный протокол дает меньшее значение МПК. К сожалению, протоколы более короткой продолжительности в данной работе не изучались. Анализ влияния времени усложняется разными паттернами прибавки нагрузки. Например, протокол Balke подразумевает начало без угла наклона полотна, а протокол Bruce – начальную нагрузку с углом наклона уже 10%. Разница в технике выполнения движения, возможно, могла повлиять на потребление кислорода [8].

Исследования, не подтверждающие данную рекомендацию. Не все исследователи согласны с выводами Buchfuhrer и соавт. Например, Froelicher и соавт. в 1974 году провели сравнение максимального потребления кислорода и других физиологических параметров у волонтеров-неспортсменов при использовании трех стандартных протоколов нагрузочного тестирования на тредмиле: Bruce, Balke и Taylor. Данные протоколы сопоставимы по длительности и по нагрузочному шагу, но протокол Taylor включал перерывы между нагрузками по 5 минут. В результате по МПК наблюдалась разница между протоколами Bruce, Balke и Taylor – 44,3, 42,8 и 47,4 мл/кг/мин соответственно. По протоколу Taylor МПК было на 6,5% больше, чем по протоколу Bruce, и на 9,7% больше, чем по протоколу Balke. К сожалению, авторы не приводят данные по потреблению кислорода в период отдыха между нагрузками в

протоколе Taylor, хотя очень интересно было бы узнать, с какого уровня потребления кислорода они начинали самую тяжелую ступень. Возможно, не было необходимости в прохождении предыдущих ступеней, так как за 5 минут отдыха потребление кислорода существенно снижается, а за последнюю нагрузочную ступень было достигнуто МПК [9].

Позже в работе Hughson и соавторов сравнивали два нагрузочных протокола уже на велоэргометре. В эксперименте приняли участие 6 испытуемых – 4 мужчины и 2 женщины. Нагрузка увеличивалась на 65,4 Вт/мин и 49,0 Вт/мин для «быстрого» теста или 8,2 Вт/мин и 6,1 Вт/мин для «медленного» теста для мужчин и женщин соответственно. МПК существенно не отличался между быстрым (3218±624 мл/мин) и медленным (3237±602 мл/мин) тестами. Максимальная мощность, которая была достигнута в тестах, составила 347±56 и 254±49 для «быстрого» и «медленного» тестов соответственно. Так как данных по продолжительности тестов не приводится, то из достигнутой максимальной мощности и шага нагрузки можно предположить, что длительность «быстрого» теста составила около 5 минут, а «медленного» – около 31 минуты, если начинать работу с нулевой нагрузки, то есть наблюдается достижение МПК всего за 5 минут работы [10].

Годом позже в работе Fairshter и соавторов проводилось сравнение 15-секундного и 1-минутного протоколов тестирования с прибавкой нагрузки в обоих протоколах по 16,3 Вт. Двадцать здоровых мужчин и женщин были протестированы на велоэргометре и на беговой дорожке. При сравнении 15-секундных и 1-минутных тестов с использованием одного и того же устройства не было выявлено существенных различий по МПК. МПК на велотренажере в протоколе «15 секунд» и «1 минута» составило 3,42 и 3,55 л/мин соответственно, а МПК на беговой дорожке в протоколе «15 секунд» и «1 минута» – 3,47 и 3,43 л/мин. Эти результаты показывают, что данные 15-секундного теста с возрастающей нагрузкой были сопоставимы у нормальных мужчин и женщин с данными чаще используемого, 1-минутного протокола тестирования. Авторы утверждают, что 15-секундный протокол никогда не превышал 5 минут тестирования, а 1-минутный протокол выполнялся примерно за 15 минут. МПК был немного (но не значительно) выше во время 1-минутного протокола для велоэргометра и во время 15-секундного протокола для беговой дорожки. Таким образом, эти результаты показывают, что:

1) длительное тестирование (>17 мин) не снижало МПК в 1-минутном тесте по сравнению с 15-секундным тестом;

2) МПК было сопоставимо в тестах, требующих менее 5 минут, с тестами, которые требуют от 7 до 17 минут работы [11].

Позже в работе Yoshida и соавт. 8 юношей-студентов выполняли два теста: один с прибавкой 25 Вт каждую минуту, а второй – с прибавкой по 25 Вт каждые 4 минуты. Результаты авторов: не было разницы в МПК при 1-минутном и 4-минутном тестах. МПК для протокола «1 минута» составило 2,64+0,10 л/мин, а для протокола «4 минуты» – 2,58 + 0,10 л/мин. Максимальная достигнутая мощность составила 247,0±12,0 и 200,0±9,5 Вт соответственно. Начинали они с нулевой нагрузки, значит время быстрого теста в среднем составило 10 минут, а время медленного – в 4 раза дольше. Видим, что при такой существенной разнице в продолжительности теста МПК практически не отличается [12].

Shimizu с коллегами протестировали уже пожилых (59±6 лет) с кардиопатологиями и пожилых здоровых мужчин (60±11 лет) на беговой дорожке и велоэргометре. Для беговой дорожки были предложены протоколы: стандартный Bruce, модифицированный Balke и индивидуальный тест с непрерывно возрастающей нагрузкой, разработанный таким образом, чтобы продолжительность теста составляла примерно 10 минут. Протоколы для велоэргометра: прибавка 25 Вт каждые 2 минуты, прибавка 50 Вт каждые 2 минуты и индивидуальный тест с непрерывно возрастающей нагрузкой

продолжительностью примерно 10 минут. На беговой дорожке МПК было выше для протокола Bruce, чем для протоколов Balke и непрерывного протокола (1851, 1801 и 1753 мл/мин для протоколов Bruce, Balke и непрерывного). Протоколы Balke и непрерывный не отличались друг от друга. Для велоэргометра не было различий в МПК для 25 Вт (1566+161 мл/мин), 50 Вт (1591+152 мл/мин) и непрерывного теста (1593+165 мл/мин). По длительности данные не приводятся, если использовать КПД работы велоэргометра [13], то 1,5 литра потребления кислорода это около 100 Вт. То есть, длительность теста в случае шага в 25 Вт каждые 2 минуты была примерно 8 минут, а в случае шага в 50 Вт также каждые 2 минуты – всего 4 минуты. 4, 8 и 10 минут для велоэргометра по МПК не отличаются, а 8 минут – это уже нижняя граница «правильных» рекомендаций [14].

В работе Prioux и соавт. 9 молодых нетренированных мужчин выполняли тест с возрастающей нагрузкой по двум протоколам разной длительности: прирост мощности 50 Вт в течение 1 минуты 30 секунд и такой же прирост, но каждые 4 минуты. Не было различий в МПК между протоколами – для протокола с увеличением нагрузки каждые 1,5 мин МПК составило 3,1 л/мин, для протокола с увеличением нагрузки каждые 4 минуты – также 3,1 л/мин [15].

В исследовании Bishop и соавт. 8 активных молодых женщин выполнили «короткий» и «длинный» тесты на велоэргометре. Мощность увеличивалась каждую минуту на 25 Вт для короткого теста и каждые три минуты тоже на 25 Вт (8,3 Вт/мин) для длинного теста. Результаты: не было обнаружено значительных различий между двумя протоколами для МПК: 2,61 л/мин для короткого и 2,71 л/мин для длинного тестов. Продолжительность двух тестов составила 10,4 и 25,9 минут [16].

В исследовании Roffey 10 физически тренированных мужчин выполнили «короткий тест» (1-минутные этапы), «длинный тест» (3-минутные этапы) и постоянная нагрузка + короткий тест (4-минутная постоянная нагрузка с последующими 1-минутными этапами), протокол начинался с 50 Вт с шагом 30 Вт. Разницы в МПК обнаружено не было. Результаты: МПК составило для «короткого теста» 50,90+5,47, для «длинного теста» – 50,55+4,53 мл/кг/мин, для комбинированного теста – 50,31+4,59 мл/кг/мин, при продолжительности тестов 10,3±1,56, 24,93±4.1 и 13,40±1,63 минут для протоколов соответственно. МПК не уменьшается с продолжительностью работы, но меньше, чем 10 минут авторы здесь не изучали [17].

В исследовании Adami и соавт. сравнивается самое большое количество протоколов по сравнению с предыдущей литературой. 16 человек выполнили шесть тестов с увеличением нагрузки 25 Вт, но разной длительностью нагрузочной ступени: 15, 30, 60, 90, 120 и 180 секунд. Не было найдено существенных различий в МПК для всех тестов. МПК для протоколов 15, 30, 60, 90, 120, 180 и протокола Астранда составило: 3,475.8 ±507.8, 3,554.2±448.6, 3,538.5±438.8, 3,559.7±408.1, 3,558.4±454.4, 3,503.9±484.9 и 3,547.1±472.8 соответственно. Возьмем самые короткие тесты (15 и 30 секунд) по достигнутой мощности 428 и 366 Вт и, используя шаг нагрузки, предположим продолжительность. Получается 256 и 439 секунд, то есть примерно 4 и 7 минут, в результате чего мы демонстрируем МПК [18].

Исследования на спортсменах. Отдельно стоит упомянуть данные, полученные на спортсменах. Именно эта категория людей чаще всего сталкивается с тестированием аэробных возможностей. Например, в исследовании на молодых спортсменах-бегунах на длинные дистанции Rivera-Brown и соавт. изучали влияние на МПК трех различных протоколов. Все испытуемые прошли тестирование по следующим протоколам: модифицированный протокол Taylor (T), протокол Bruce (B) и протокол Taylor с перерывами между нагрузками (TI). Было показано, что МПК во время беговых упражнений до волевого утомления не зависит от протокола тестирования. МПК при истощении был

одинаковым во всех протоколах: «Т»= 70,8±4,1, «В»=71,4±3,5, «TI»=69,6±5,0 мл/кг/мин соответственно. Если посмотреть на среднюю продолжительность каждого испытания («Т»=620,8±62,9, «В»= 904,6±138,5, «TI»=1866,9±215,7 секунд), то можно увидеть, что МПК во время беговых упражнений до утомления не зависит от протокола тестирования при разной продолжительности. В данной работе снова не было тестов продолжительностью менее 10 минут [19].

Целью исследования Pierce и соавт. было определение влияния тестов различной продолжительности на МПК хорошо подготовленных спортсменов-гребцов (8 мужчин и 3 женщины). Три теста были прерывистыми, то есть включали паузу отдыха длительностью 1 минута и 3-х, 4-х и 5-минутные нагрузочные этапы. Один тест был непрерывным – 1-минутные этапы нагрузки. Результаты показали, что средние значения МПК были практически идентичны для протоколов с длиной шага в 1, 3 и 4 минуты – 4,56±0,22 л/мин, 4,60±0,23 л/мин и 4,60±0,21 л/мин соответственно. Только 5-минутный шаг дал значительно более низкое значение МПК – 4,47±0,21 л/мин. Результаты этого исследования показывают, что МПК у хорошо подготовленных спортсменов не обязательно зависит от продолжительности тестов выше, чем та, которая обычно рекомендуются в литературе. В тесте, включающем семь 4-минутных этапов, опытные гребцы достигли МПК, практически идентичного тому значению, которое было зарегистрировано при 1-минутном непрерывном протоколе продолжительностью примерно 12 минут. Но дальнейшее увеличение длительности прерывистого протокола с включением 5-минутных этапов действительно предотвратило достижение истинного МПК [20]. Bentley и соавт. сравнили два протокола с продолжительностью нагрузочного этапа 1 или 3 минуты с прибавкой в 30 Вт. 9 подготовленных мужчин-триатлонистов приняли участие в эксперименте. Начинали короткий тест со 150 Вт, а длинный тест – с нагрузки в 50% от пиковой мощности, полученной в коротком тесте. Далее в длинном тесте каждые 3 минуты прибавляли по 5% от пиковой мощности короткого. Результаты: МПК, максимальная частота сердечных сокращения (ЧСС) и достигнутая мощность в коротком тесте: 4,85 л/мин, 177 уд/мин и 424 Вт, и то же в длинном тесте – 4,74 л/мин, 174 уд/мин и 355 Вт соответственно. МПК было сопоставимо у двух протоколов, правда продолжительность тестирования была от 9 минут и более [21]. В работе Kuipers и соавт. 8 хорошо подготовленных бегунов прошли 3 беговых теста с длительностью нагрузочного этапа 1, 3 и 6 минут. Первый протокол – прибавка 1 км/ч каждую одну минуту; второй протокол – прибавка 2 км/ч каждые 3 минуты, но как только ЧСС достигала 85% от максимума, прибавка уменьшалась до 1 км/ч; третий протокол – такой же, как второй, но длина нагрузочной ступени – 6 минут. Среднее значение МПК не различалось между протоколами с разной продолжительностью ступени нагрузки – 4,48 л/мин, 4,46 л/мин и 4,41 л/мин соответственно. В первом протоколе стартовали с 10 км/ч и добежали до максимальной скорости 18,3 км/ч, то есть протокол снова длился минимум 8-9 минут, не считая разминки [22]. В исследовании Amann и соавт. пятнадцать мужчин-велосипедистов выполнили два теста: 100 Вт + 50 Вт каждые 3 минуты и 20 Вт + 25 Вт каждую минуту. МПК для «длинного» и «короткого» тестов составило 66,6±5,6 и 67,6±5,3 мл/кг/мин, время работы до истощения – 19:12±1:42 и 16:24±1:30. В настоящем исследовании МПК существенно не отличался между тестами, хотя оба теста были достаточно продолжительными [23].

В работе González-Haro и соавт. двадцать хорошо тренированных шоссейных велосипедистов выполнили два теста: «короткий» протокол состоял из разминки с мощностью 100 Вт в течение 10 минут, начиная с 200 Вт, увеличивая на 30 Вт каждые 3 минуты до изнеможения. «Длительный» протокол состоял из разминки 2,0

Вт кг в течение 10 минут с увеличением на 0,5 Вт кг каждые 10 минут до истощения. В МПК наблюдались различия: для «короткого» теста – 4,40 ±0,47 л/мин, а для «длительного» теста – 4,07±0,54. МПК было значительно выше в протоколе с коротким шагом по сравнению с протоколом с длинным. Достигнутая мощность – 327±37 и 302±37, если начинали с 200 Вт, то на прибавку остается 127 Вт. Примерно 12 минут в коротком тесте. Можно предположить, сколько работали испытуемые в длинном тесте. Допустим, велосипедист весит 75 кг, значит начало работы 2 Вт/кг – это 150 Вт. Далее прибавка 0,5 Вт каждые 10 минут. Достигли 302 Вт – это примерно 4 Вт/кг. То есть, нагрузка прибавлялась 4 раза – тест длился более 40 минут [24]. Bourdon и соавт. исследовали двадцать одного гребца высокой квалификации (12 женщин, 9 мужчин). Пять тестов, состоящих из шести субмаксимальных шагов продолжительностью 3, 4, 5, 7 или 10 минут, с каждым шагом, разделенным периодом отдыха в 1 минуту. Сопротивление для каждой из субмаксимальных нагрузок было основано на лучшем времени каждого спортсмена в имитации гонки на 2000 м, выполненной на гребном эргометре в течение 2 месяцев, предшествующих началу исследования. МПК было выше в более коротких (≤5 мин) по сравнению с более длинными тестами (≥7 мин). МПК для тестов с длительностью нагрузочной ступени 3, 4, 5, 7 и 10 минут составило 4,14±0,8; 4,16±0,77; 4,09±0,81; 3,98±0,76 и 3,98±0,84 л/мин соответственно [25].

В работе Riboli приняли участие шестнадцать полупрофессиональных футболистов выполнили 3 теста. Протокол 1: участники разминались со скоростью 10 км/ч в течение 5 минут, затем скорость бега увеличивали на 1 км/ч каждую в минуту. Протокол 2: то же самое, что и протокол 1, но с увеличением скорости на 1 км/ч каждые 2 минуты. Прерывистый протокол включал пять рабочих нагрузок по 5 минут каждая с отдыхом не менее 5 минут. Не было обнаружено различий между протоколами при максимальных нагрузках по кардиореспираторным и метаболическим параметрам. МПК для протокола 1, 2 и прерывистого составило 4070±457, 4023±413 и 4031±457 мл/мин соответственно [26].

Заключение. Данные литературы показывают, что в широком диапазоне продолжительности работы показатели МПК могут не зависеть от применяемого протокола. Это явление прослеживается как на нетренированных испытуемых, так и на спортсменах различных специализаций. Большая часть работ показывает отсутствие отличий в МПК между протоколами «около рекомендуемой» продолжительности (8-12 минут), но встречаются и данные, демонстрирующие достижение МПК за 5 минут и даже менее. Да, действительно, экстремальная продолжительность нагрузочного тестирования (более 30 минут) демонстрирует некое снижение значений МПК по сравнению с более короткими тестами. Но при определении МПК такая продолжительность работы обычно не применяется. А вот по более короткой продолжительности нагрузочного тестирования вопрос остается открытым. Данные о достижении МПК есть, но их недостаточно для строгих выводов. Поэтому в будущих исследованиях необходимо установить зависимость кинетики потребления кислорода от скорости увеличения нагрузки в максимально возможном диапазоне и определить оптимальный протокол тестирования, который при сохранении информативности будет накладывать минимальные временные и физиологические требования к испытуемому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнение процедур тестирования пикового потребления кислорода, аэробного и анаэробного порогов у биатлонистов высокого класса / Е.Б. Мякинченко, В.А. Кузмичев, Н.Ж-А. Джилкибаева, П.Е. Мякинченко // Вестник спортивной науки. – 2017. – № 2. – С. 41-45.[In English] Myakinchenko E.B., Kuz'michev V.A., Dzhilkibaeva N. Zh-A., Myakinchenko P.E.

Comparison of testing procedures for peak oxygen consumption, aerobic and anaerobic thresholds in elite biathletes. Bulletin of Sports Science, 2017, no. 2, pp. 41-45.

2. Спортивная медицина: Учеб. Для ин-тов физ.культ. / Под. ред. В. Л. Карпмана. – М.: Физкультура и спорт, 1980. – 349 с. [In English] Sports medicine: a textbook for Physical Education Institutes. Ed. by V.L. Karpman. Moscow: Fizicheskaya Kul'tura i Sport, 1980. 349 p.

3. Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO 2 max determination really need to last between 8 and 12 minutes? / Midgley A. W., Bentley D. J., Luttikholt H. [et al] //Sports Med. – 2008. Vol. 38(6). – pp. 441-447

4. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription / American College of Sports Medicine; senior editor, Linda S. Pescatello; associate editors, Ross Arena, Deborah Riebe, Paul D. Thompson. – 9th ed., 2013.

5. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med. – Jan 15, 2003. – Vol. 167(2). – pp. 211-277.

6. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment / Buchfuhrer M. J., Hansen J. E., Robinson T. E. [et al] // J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol. – Nov 1983. – Vol. 55 (5). – pp. 1558-1564

7. McLellan, T. M. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods / T. M. McLellan // Int J Sports Med. – Feb 1985. – Vol. 6(1). – pp. 30-35.

8. Lukaski, H. C. Comparison of metabolic responses and oxygen cost during maximal exercise using three treadmill protocols / H. C. Lukaski, W. W. Bolonchuk, L. M. Klevay // J Sports Med Phys Fitness. – Sep 1989. – Vol. 29(3). – pp. 223-229.

9. A comparison of three maximal treadmill exercise protocols / Froelicher V. F. Jr, Brammell H., Davis G. [et al] // J Appl Physiol. – Jun 1974. – Vol. 36(6). – pp. 720-725.

10.Hughson, R. L. Blood acid-base and lactate relationships studied by ramp work tests / R. L. Hughson, H. J. Green // Med Sci Sports Exerc. – 1982. – Vol. 14(4). – pp. 297-302.

11.A comparison of incremental exercise tests during cycle and treadmill ergometry / Fairshter R. D., Walters J., Salness K. [et al] // Med Sci Sports Exerc. –1983. – Vol. 15(6). – pp. 549-554.

12.Yoshida T. Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation / T. Yoshida // Eur J Appl Physiol Occup Physiol. – 1984. – 53(3). – pp. 196-199.

13.Аулик, И. В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте / И. В. Аулик. – М.: Медицина, 1990. – 192 с. [In English] Aulik I.V. Definition of physical efficiency in clinic and sports. Moscow: Meditsina, 1990. 192 p.

14.The ventilatory threshold: method, protocol, and evaluator agreement / Shimizu M., Myers J., Buchanan N. [et al] // Am Heart J. – Aug 1991. – Vol. 122(2). – pp. 509-516.

15.Prioux, J. Effect of step duration during incremental exercise on breathing pattern and mouth occlusion pressure / J. Prioux, M. Ramonatxo, C. Prefaut // Int J Sports Med. – Aug 1997. – Vol. 18 (6). – pp. 401-407.

16.Bishop, D. The effect of stage duration on the calculation of peak VO2 during cycle ergometry / D. Bishop, D. G. Jenkins, L. T. Mackinnon // J Sci Med Sport. – Sep 1998. – Vol. 1(3). – pp. 171-178.

17.Roffey, D. M. Effect of stage duration on physiological variables commonly used to determine maximum aerobic performance during cycle ergometry / D. M. Roffey, N. M. Byrne, A. P. Hills // J Sports Sci. – Oct 2007. – Vol. 25(12). – pp. 1325-1335.

18.Effects of step duration in incremental ramp protocols on peak power and maximal oxygen consumption / Adami A., Sivieri A., Moia C. [et al] // Eur J Appl Physiol. – Oct 2013. – Vol. 113(10). – pp. 2647-2653.

19.Rivera-Brown, A. M. Achievement of VO_2max Criteria in Adolescent Runners: Effects of Testing Protocol / A. M. Rivera-Brown, M. A. Rivera, W. Frontera // Pediatric Exercise Science. –1994. – Vol. 6 – pp. 236-245.

20.Prolonged incremental tests do not necessarily compromise VO2max in well-trained athletes / S. Pierce, A. Hahn, A. Davie, E. Lawton // J Sci Med Sport. – Dec 1999. – Vol. 2 (4). – pp. 356-363.

21.Bentley, D. J. Comparison of W (peak), VO_2 (peak) and the ventilation threshold from two different incremental exercise tests: relationship to endurance performance / D. J. Bentley, L. R. McNaughton // J Sci Med Sport. – Dec. 2003. – Vol. 6 (4). – pp. 422-435.

22.Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables / Kuipers H., Rietjens G., Verstappen F. [et al] // Int J Sports Med. – Oct 2003. – Vol. 24(7). – pp. 486-491.

23.Amann, M. Influence of testing protocol on ventilatory thresholds and cycling performance / M.

Amann, A. Subudhi, C. Foster // Med Sci Sports Exerc. – Apr 2004. – Vol. 36(4). – pp. 613-622.
24.González-Haro, C. Differences in physiological responses between short- vs. long-graded laboratory tests in road cyclists / C. González-Haro // J Strength Cond Res. – Apr 2015. – Vol. 29(4). – pp. 1040-1048.
25.Bourdon, P. C. Effects of Varying the Step Duration on the Determination of Lactate Thresholds in Elite Rowers / P. C. Bourdon, S. M. Woolford, J. D. Buckley // Int J Sports Physiol Perform. – Jul 1, 2018. – Vol. 13(6). – pp. 687-693.
26.Effect of ramp slope on different methods to determine lactate threshold in semi-professional soccer players / Riboli A., Rampichini S., Cè E. [et al] // Res Sports Med. – Jul-Sep 2019. – Vol. 27(3). – pp. 326-338.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Василий Васильевич Волков – ассистент кафедры Биохимии и биоэнергетики спорта имени Н. И. Волкова, Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма, Москва, e-mail: fitclub@list.ru.
Ритта Викторовна Тамбовцева – заведующая кафедрой Биохимии и биоэнергетики спорта имени Н. И. Волкова, Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма, Москва, e-mail: ritta7@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Vasilij Vasil'evich Volkov – Assistant, Department of Sports Biochemistry and Bioenergy named after N.I. Volkov, Russian State University of Physical Education, Sports, Youth and Tourism, Moscow e-mail: fitclub@list.ru.
Ritta Viktorovna Tambovtseva – Head of the Department of Sports Biochemistry and Bioenergy named after N.I. Volkov, Russian State University of Physical Education, Sports, Youth and Tourism, Moscow, e-mail: ritta7@mail.ru.

Для цитирования: Волков, В. В. Измерение максимального потребления кислорода: к вопросу о выборе протокола / В. В. Волков, Р. В. Тамбовцева / Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т.6 – № 3. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_5

For citation: Volkov V.V., Tambovtseva R.V. Measurement of maximum oxygen consumption: on the question of choosing a protocol. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 3. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_5