Дата публикации: 01.09.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_03_16
УДК 796.01; 612

Publication date: 01.09.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_03_16
UDC 796.01; 612

НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНАЭРОБНОГО ПОРОГА, ОСНОВАННЫЙ НА ИЗМЕРЕНИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Т.С. Спирин[1], А.И. Чикуров[1], Е.И. Ковель[2]
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия
[2]Общество с ограниченной ответственностью «ЯРС», г. Красноярск, Россия

Аннотация. В исследовании представлены общие сведения о трёх методах определения анаэробного порога (АнП), основанных на измерении сердечного ритма: тесте Конкони, определении АнП по данным вариабельности сердечного ритма и графическом методе. По данным экспериментального исследования на бегунах (n=11) произведено сравнение этих методов по информативности получаемых результатов с эталонным лактатным методом определения АнП (модифицированный метод Dmax). Сравнение с эталонным методом произведено по скорости бега, частоты сердечных сокращений и концентрации лактата на АнП. Выбран наиболее информативный метод определения АнП из трёх исследованных методов.
Ключевые слова: порог анаэробного обмена, тест Конкони, Dmax.

THE MOST INFORMATIVE METHOD FOR IDENTIFYING ANAEROBIC THRESHOLD BASED ON MEASURING HEART RHYTHM

T.S. Spirin[1], A.I. Chikurov[1], E.I. Kovel'[2]
[1]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[2]Yars LLC, Krasnoyarsk, Russia

Annotation. The study provides an overview of three methods for identifying anaerobic threshold (AT) based on measuring heart rhythm: the Conconi test, determining AT from heart rate variability data and the graphical method. Based on the data of an experimental study on runners (n=11), these methods were compared in terms of the informative value of the results obtained with the reference lactate method for identifying AT (modified Dmax method). Comparison with the reference method was made in terms of running speed, heart rate and lactate concentration on AT. The most informative method for identifying AT from the three studied methods was chosen.
Keywords: anaerobic threshold, Conconi test, Dmax.

Введение. Уровень интенсивности анаэробного порога (АнП) является одним из важнейших физиологических показателей, от которых зависит результат в беге на длинные дистанции [1]. Интенсивность нагрузки, соответствующая АнП, отражает границу между активностью преимущественно аэробного с медленным ростом вклада анаэробного энергообеспечения и преимущественно аэробного с быстрым ростом вклада анаэробного энергообеспечения [2-3]. Это позволяет устанавливать физиологически обоснованную индивидуальную интенсивность упражнения с целью направленного воздействия на соответствующие энергосистемы, а также оценить аэробные возможности спортсмена [4].

Общепринятые методы определения АнП базируются на газометрических измерениях потребления кислорода и выделения углекислого газа, вентиляции лёгких или инвазивных измерениях концентрации лактата в крови во время выполнения упражнения [2-3]. Данные методы не получили широкого распространения в спортивной практике ввиду необходимости в дорогостоящем оборудовании и высококвалифицированных специалистах-физиологах.

В настоящее время среди спортсменов циклических видов спорта получили широкое распространение нагрудные пульсометры. Поэтому в спортивной практике популярны методы определения АнП, основанные на измерении частоты сердечных сокращений (ЧСС) или времени RR-интервалов [5-13].

Наиболее известным методом определения АнП по динамике ЧСС является тест Конкони (ТК). ТК впервые представлен в работе F. Conconi и соавт. (1982) [6]. Определение АнП в ТК ($АнП_{ТК}$) базируется на анализе динамики ЧСС во время выполнения теста со ступенчато возрастающей скоростью бега, продолжающейся до отказа испытуемого или невозможности увеличения скорости. $АнП_{ТК}$ определяется по точке, в которой происходит отклонение динамики ЧСС от первоначальной линейной зависимости. Авторы предположили, что увеличение скорости бега выше АнП частично не зависит от потребления кислорода и ЧСС [6]. ТК получил широкое распространение в процессе подготовки спортсменов циклических видов спорта [8, 10, 11].

Метод определения АнП по вариабельности сердечного ритма (МВСР) впервые представлен J.R.P. Lima и M.A.P. Kiss в 1996 году. По данным анализа современной зарубежной литературы, МВСР получил широкое распространение [7, 12, 13]. В России данный метод известен благодаря исследованию В.Н. Селуянова и соавт. (2011) [9]. МВСР базируется на анализе динамики различных показателей вариабельности сердечного ритма (SD1, RMSSD и др.), которые можно определить по ряду значений времени RR-интервалов. Принцип работы МВСР основан на определении момента времени, когда происходит переход регуляции сердечного ритма от преимущественно парасимпатической к симпатической нервной системе [7, 13]. В работе F.I. Novelli и соавт. (2019) проанализирована воспроизводимость мощности педалирования, соответствующей АнП, определённой несколькими критериями по МВСР. Исследование выявило, что наибольшую воспроизводимость (коэффициент корреляции между тестом и ретестом – 0,85, n=67) показало определение АнП ($АнП_{ВСР}$) по критерию стабилизации значения (выход на «плато») SD1 на значениях <3 мс [7].

В 2019 году А.В. Козлов и соавт. предложили новый метод определения АнП по динамике ЧСС во время ступенчатого теста и в период восстановления после отказа от продолжения работы. Данный метод получил название «графический метод» (ГрМ) в связи с необходимостью графических построений. ГрМ основан на определении АнП ($АнП_{ГрМ}$) по пересечению двух прямых, углы наклона которых к оси абсцисс (на данной оси шкала времени, которой соответствует нагрузка) характеризуют скорости физиологических затрат аэробного и анаэробного энергопроцесса соответственно [5]. В связи с относительной новизной нам не удалось обнаружить других экспериментальных исследований ГрМ.

Таким образом, существует несколько принципиально различных методов определения АнП, основанных на измерении сердечного ритма. Нам не удалось найти экспериментальных работ, в которых описанные выше методы сравнивались между собой по информативности получаемых результатов.

По нашему мнению, для использования в практике подготовки спортсменов циклических видов спорта актуально выбрать наиболее информативный метод определения АнП, основанный на измерении сердечного ритма.

Цель: выбрать наиболее информативный метод определения АнП, основанный на измерении сердечного ритма.

Методы и организация исследования. В качестве эталонного метода определения АнП использован модифицированный метод Dmax (Dmod). Интенсивность АнП по Dmod ($АнП_{Dmod}$) имеет минимальное различие с интенсивностью максимального устойчивого состояния по лактату (MLSS), признанного эталонным среди лактатных

методов определения АнП [14-16]. Dmod за счёт математической процедуры определения границы между быстрой и медленной фазой роста концентрации лактата позволяет объективно определить интенсивность АнП.

Испытуемые: 11 тренированных бегунов-любителей, средний возраст – 30,4±7,9 лет, средняя масса тела – 70,0±9,7 кг (M±SD). Каждый испытуемый подписал добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Протокол нагрузочного тестирования: уклон бегового полотна – 1%, начальная скорость – 8 км/ч, скорость повышалась на 0,5 км/ч каждую минуту. Пробу крови получали из дистальной фаланги безымянного пальца непосредственно перед тестированием, каждые 2 минуты без остановки бега и в момент отказа испытуемого от продолжения работы. До начала теста испытуемые проводили разминку 5 минут на скорости 5-7,5 км/ч. Концентрацию лактата (La) определяли при помощи анализатора Nova lactate plus (США). Регистрировали ЧСС и продолжительность сердечных циклов (RR-интервалы). ЧСС регистрировалась каждую секунду. Запись осуществлялась при помощи пульсометра Polar H10 (Финляндия) и приложения HR Monitor (BM innovations GmbH 2018).

$АнП_{ТК}$ определялся визуально двумя квалифицированными экспертами независимо друг от друга. После сверки и обсуждения полученных результатов эксперты приходили к единому мнению относительно значений $АнП_{ТК}$ в каждом тесте. Критерием определения $АнП_{ТК}$ служило отклонение динамики ЧСС от линейного повышения во время теста со ступенчато повышающейся нагрузкой.

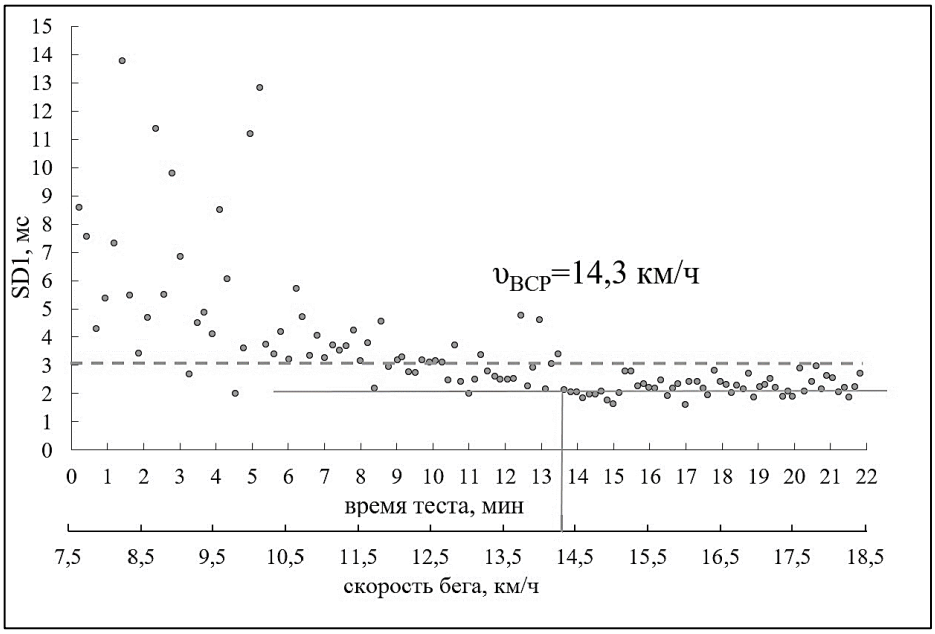


Рис. 1. Пример определения анаэробного порога при помощи метода определения по вариабельности сердечного ритма ($АнП_{ВСР}$)

Примечание: $\upsilon_{ВСР}$ – скорость бега, соответствующая $АнП_{ВСР}$, штриховой линией показан уровень SD1=3 мс, сплошной горизонтальной линией показана стабилизация значения (выход на «плато») показателя SD1, сплошная вертикальная линия показывает проекцию точки начала стабилизации значения SD1 на оси абсцисс

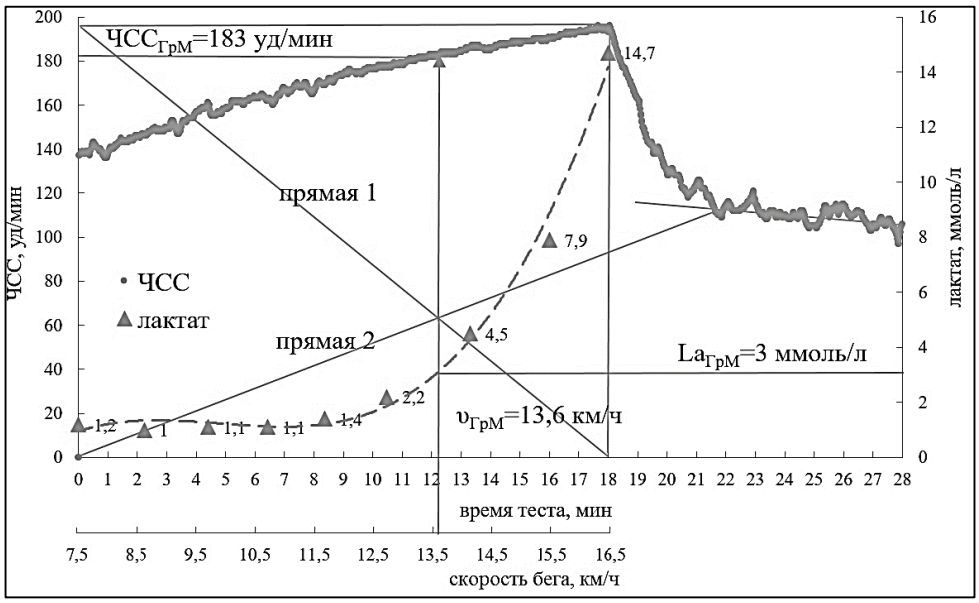


Рис. 2. Пример определения анаэробного порога графическим методом ($АнП_{ГрМ}$)
Примечание: $υ_{ГрМ}$ – скорость бега, соответствующая $АнП_{ГрМ}$; $ЧСС_{ГрМ}$ – частота сердечных сокращений, соответствующая $АнП_{ГрМ}$; $La_{ГрМ}$ – концентрация лактата, соответствующая $АнП_{ГрМ}$. Штриховой линией показан полином 3-ей степени, аппроксимирующий динамику лактата в тесте

$АнП_{ВСР}$ определялся по точке на графике, которая соответствовала достижению стабилизации (выхода на «плато») показателя SD1 на значениях <3 мс (рис. 1) [7, 9]. Значения SD1 рассчитывались следующим образом: ряд RR-интервалов разбивался на участки по 30 значений, для каждого участка рассчитывалось стандартное отклонение, которое являлось значением показателя SD1. При этом каждому значению SD1 соответствовало значение скорости бега, соответствующее времени конечного RR-интервала из участка, который использовался для расчёта. Ряд RR-интервалов не подвергался математической обработке с целью исключения возможных артефактов записи.

$АнП_{ГрМ}$ определялся способом, описанным в исследовании А.В. Козлова и соавт. [5]. Пример определения $АнП_{ГрМ}$ представлен на рисунке 2.

В нашем исследовании скорость бега линейно зависит от времени, прошедшего от начала теста. Соответствие между временем теста и скоростью бега определялось по зависимости (1). Аналогичная зависимость представлена Д.В. Поповым и соавт. (2014) [17]:

$$υ(t) = υ_0 + Δυ_{1м}(t - 1) \quad (1)$$

где υ(t) – значение скорости бега υ, км/ч, в момент времени t, мин; $υ_0$– начальная скорость бега в тесте, км/ч; $Δυ_{1м}$– повышение скорости за 1 минуту теста, км/ч.

Сравнение информативности методов определения АнП, основанных на измерении сердечного ритма, проводилось по величине коэффициентов корреляции, разности показателей АнП по исследуемому и эталонному методу (M±SD), а также по статистической значимости различий (при $p<0,05$) между одноименными значениями показателей АнП, полученными исследуемыми методами определения АнП и эталонным.

Все расчёты проводились в MS Excel. Ввиду малого размера выборки корреляция рассчитывалась по Спирмену, статистическая значимость различий определялась методом Манна-Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. У группы испытуемых (n=11) на отказе: скорость бега ($υ_{max}$) – 18,2±1,3

км/ч, концентрация лактата (La_{max}) – 11,1±3,5 ммоль/л, $ЧСС_{max}$ – 187,6±8,8 уд/мин (M±SD).

$АнП_{ВСР}$ определён в 91% случаев (10 тестов из 11). $АнП_{ТК}$, $АнП_{ГрМ}$ и $АнП_{Dmod}$ определили в 100% случаев (11 тестов из 11).

В таблице представлены значения показателей, соответствующих АнП, определённому в ТК, МВСР, ГрМ и Dmod, а также статистическая значимость различий (при $p<0,05$), коэффициенты корреляции между парными значениями показателей АнП, полученными исследуемыми методами и эталонным.

Таблица

Статистические данные, полученные при сравнении исследуемых и эталонного методов, M±SD

Метод	n	υ, км/ч	ЧСС, уд/мин	La, ммоль/л
$АнП_{ТК}$		14,6±1,4	168,6±16,3	3,2±2,5
$АнП_{Dmod}$	11	15,4±1,3	170,8±12,3	3,8±0,9
ns, s		s	ns	s
$АнП_{ВСР}$		14,2±1,8	165,5±10,8	3,0±1,5
$АнП_{Dmod}$	10	15,1±1,0	169,7±12,3	3,8±0,9
ns, s		ns	ns	ns
$АнП_{ГрМ}$		14,9±1,1	168,1±10,6	3,0±0,8
$АнП_{Dmod}$	11	15,4±1,3	170,8±12,3	3,8±0,9
ns, s		ns	ns	s
$\rho_{ТК}$ (p)	11	0,51 (p>0,1)	0,92 (p<0,01)	0,31 (p>0,1)
$\rho_{ВСР}$ (p)	10	0,66 (p<0,05)	0,72 (p<0,05)	0,28 (p>0,1)
$\rho_{ГрМ}$ (p)	11	0,85 (p<0,01)	0,98 (p<0,01)	0,65 (p<0,05)

Примечание: $АнП_{ТК}$ – анаэробный порог, определенный тестом Конкони; $АнП_{Dmod}$ – анаэробный порог, определенный эталонным методом; $АнП_{ВСР}$ – анаэробный порог, определенный методом определения по вариабельности сердечного ритма; $АнП_{ГрМ}$ – анаэробный порог, определенный графическим методом; υ – скорость бега; ЧСС – частота сердечных сокращений; La – концентрация лактата; n – количество тестов, использованных для расчётов; $\rho_{ТК}$ – коэффициенты корреляции между показателями $АнП_{ТК}$ и $АнП_{Dmod}$; $\rho_{ВСР}$ – коэффициенты корреляции между показателями $АнП_{ВСР}$ и $АнП_{Dmod}$, $\rho_{ГрМ}$ – коэффициенты корреляции между показателями $АнП_{ГрМ}$ и $АнП_{Dmod}$; p – значимость коэффициентов корреляции; ns – незначимые различия при $p<0,05$; s – значимые различия при $p<0,05$.

В таблице показано следующее: значения La на уровнях $АнП_{ТК}$ и $АнП_{ГрМ}$ имеют значимые различия при $p<0,05$ со значениями La на уровне $АнП_{Dmod}$. Значения υ на уровне $АнП_{ТК}$ имеют значимые различия при $p<0,05$ со значениями υ на уровне $АнП_{Dmod}$. Остальные показатели исследуемых методов не имеют значимых различий при $p<0,05$ с одноимёнными показателями эталонного метода. Взаимосвязь всех показателей на уровне $АнП_{ГрМ}$ с одноимёнными показателями на уровне $АнП_{Dmod}$ сильнее, чем у других исследованных методов.

На рисунке 3 представлены диаграммы, демонстрирующие 95% доверительный интервал (ДИ) разности между скоростью бега (Δυ), ЧСС (ΔЧСС) и концентрацией лактата (ΔLa) на АнП, определённом исследуемыми и эталонным методами.

Как видно из рисунка 3, ГрМ имеет наименьшую разность с эталонным методом по сравнению с другими исследуемыми методами: вариационный ряд ГрМ ближе к нулевой разности.

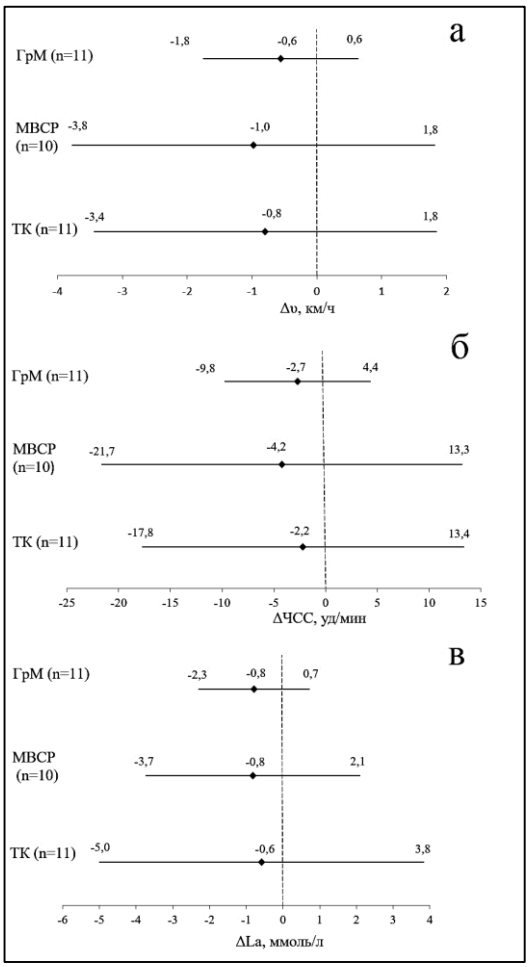


Рис. 3. Разность между скоростью бега (Δυ), частотой сердечных сокращений (ΔЧСС) и концентрацей лактата (ΔLa) анаэробного порога, определённая исследуемыми и эталонным методами, M, 95% ДИ

Примечание: ГрМ – графический метод; МВСР – метод определения по вариабельности сердечного ритма; ТК – тест Конкони; штриховой линией показано нулевое значение разности

Анализ результатов данного исследования позволяет сделать вывод: ГрМ – наиболее информативный метод определения АнП из трёх рассмотренных методов, основанных на измерении сердечного ритма во время бега.

По нашему мнению, эти результаты можно объяснить тем, что ГрМ имеет теоретическую основу. В исследованиях отечественных учёных, прежде всего Н.И. Волкова, сделано заключение, что показатели пульсовой стоимости работы и восстановления достаточно точно воспроизводят энергетическую стоимость упражнения, определённую газометрическим методом [18-20]. Поэтому энергетические затраты аэробного энергопроцесса можно оценить по пульсовой сумме работы, анаэробного – по пульсовой сумме восстановления. По нашему предположению, величины углов наклона прямых 1 и 2 к оси абсцисс на графике (рис. 2) характеризуют скорости физиологических затрат, соответствующих аэробному и анаэробному процессам соответственно. При этом точка пересечения прямых 1 и 2 определяет момент времени, соответствующий уровню нагрузки, когда эти скорости равны,

и, вероятно, отражает равенство скоростей образования и утилизации лактата. Уровень нагрузки, при котором скорость образования лактата равна скорости его утилизации, является критерием достижения АнП [2].

Однако, ГрМ имеет недостаток, связанный с необходимостью проведения теста до отказа от продолжения работы и записью пульсограммы во время пассивного восстановления в течение 10 минут после завершения работы. Это увеличивает временные затраты на тестирование и ограничивает сферу применения только подготовленными спортсменами из видов спорта на выносливость.

Теоретические обоснования метода Конкони, особенно использованный протокол определения лактатного АнП, описанный F. Conconi и соавт. (1982), подвергаются критике многочисленными авторами с 80-х годов [11, 21]. В частности, J. Hnízdil и соавт. (2019) отмечают, что физиологическая причина отклонения динамики ЧСС от ее линейного повышения в ступенчатом тесте пока не установлена, существуют лишь различные предположения, ни одно из которых не нашло однозначного подтверждения [11].

Вероятно, в некоторых случаях появление точки перегиба динамики ЧСС может быть следствием особенностей протокола повышения нагрузки. В полевом тестировании F. Conconi скорость повышалась примерно на 0,5 км/ч каждые 200 м [6]. Участвовали высококвалифицированные бегуны, которые в конце теста могли пробежать ступень нагрузки за 29-30 с. В таком протоколе длительность ступеней нагрузки постоянно сокращалась и на определенных уровнях скорости для некоторых спортсменов, возможно была недостаточной для того, чтобы ЧСС выходила на стационарный режим, соответствующий этой скорости.

Однако, в обзоре концепций точки перегиба динамики ЧСС M.E. Bodner и E.C. Rhodes (2000) сделано заключение, что появление данной точки во время теста – это реально существующий биологический феномен, а не только следствие протокола теста. В качестве возможных физиологических причин данного феномена авторы предполагают различные механизмы, но ни одна из этих гипотез не является доминирующей [21].

При использовании протоколов с фиксированным временем «ступеней» нагрузки не во всех случаях удаётся определить точку перегиба динамики ЧСС. Также существуют случаи, когда у конкретного испытуемого в одном тесте данная точка определяется, а при повторе теста через несколько дней не определяется [21].

Наше исследование показало субъективность в определении точки перегиба динамики ЧСС, по которой определяется $АнП_{ТК}$: данные о значениях $АнП_{ТК}$, полученные независимо двумя квалифицированными экспертами, не всегда совпадают друг с другом.

Таким образом, информативность ТК может зависеть от спортивного уровня испытуемых, используемого протокола теста, субъективности исследователей при определении $АнП_{ТК}$.

МВСР теоретически основывается на постепенном преобладании активности симпатической нервной системы над парасимпатической (по мере увеличения интенсивности нагрузки) и, в зависимости от этого, изменением значений показателей вариабельности сердечного ритма [7, 22]. Однако в нашем исследовании в 1-м случае из 11 нам не удалось определить $АнП_{ВСР}$ по причине того, что показатель SD1 не продемонстрировал стабильного снижения (выхода на «плато») <3 мс вплоть до момента отказа от продолжения работы. Возможно, это связано с индивидуальными физиологическими особенностями конкретного испытуемого. По аналогичной причине в исследовании F.I. Novelli и соавт. в 1 случае из 68 не удалось определить $АнП_{ВСР}$ [7].

Кроме того, информативность МВСР, по нашему мнению, может зависеть от выбранного способа расчёта показателя SD1 (количества RR-интервалов, используемых

для расчёта единичного значения SD1, метода фильтрации значений RR-интервалов для исключения артефактов записи).

Следует отметить, что теоретически у МВСР и ТК есть техническая возможность определять АнП в субмаксимальном тесте – современное программное обеспечение это позволяет. В исследованиях Y. Shiraishi и соавт. (2018) и T. Gronwald и соавт. (2020) АнП определялся по другим показателям вариабельности сердечного ритма в режиме реального времени [22-23]. Однако субмаксимальный тест менее информативен, чем максимальный: исследователь получает не все данные о работоспособности спортсмена, что может привести к ошибочному анализу.

Заключение. По нашим данным (n=11), графический метод является наиболее информативным методом определения анаэробного порога, основанным на измерении сердечного ритма в беге среди трёх исследованных методов. Графический метод продемонстрировал наибольшие значения коэффициентов корреляции по скорости бега (0,85), ЧСС (0,98) и концентрации лактата (0,65) на АнП с лактатным методом (модифицированный метод Dmax). При этом разность между соответствующими показателями АнП по скорости бега, ЧСС и концентрации лактата, определёнными графическим и лактатным методами (модифицированный метод Dmax), наиболее приближена к нулю среди трёх исследованных методов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace / Jones A. M., Kirby B. S., Clark I. E. [et al] // Journal of applied physiology. – 2021. – № 130(2). – pp. 369-379.
2. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy / D. Poole, H. Rossiter, G. Brooks, L. Gladden // The journal of physiology. – 2020. – № 599(3). – P. JP279963.
3. Бреслав, И. С. Дыхание и мышечная активность человека в спорте: руководство для изучающих физиологию человека / И. С. Бреслав, Н. И. Волков, Р. В. Тамбовцева. – Москва: Советский спорт, 2013. – 336 с.
4. Тамбовцева, Р. В. Состояние метаболизма при напряженной мышечной деятельности спортсменов циклических видов спорта. Монография / Р. В. Тамбовцева, Ю. Л. Войтенко, В. Р. Орел. – Москва: ТВТ Дивизион, 2017. – 120 с.
5. Метод определения анаэробного порога по динамике ЧСС в процессе работы и восстановления при выполнении теста нарастающей мощности до отказа / Козлов А. В., Якушкин А. В., Андреев Р. С. [и др.] // Физиология человека. – 2019. – Т. 45. – № 2. – С. 78-86.
6. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners / Conconi F., Ferrari M., Ziglio P. G. [et al] // Journal of applied physiology. – 1982. – № 52(4). – pp. 869-873.
7. Reproducibility of heart rate variability threshold in untrained individuals / Novelli F. I., de Araújo J. A., Tolazzi G. J. [et al] // International journal of sports medicine. – 2019. – № 40(2). – pp. 95-99.
8. Использование теста Конкони в подготовке студентов вузов, бегунов на средние дистанции / В. Д. Кряжев, Э. А. Аленуров, Р. Б. Краснов, И. В. Назарова // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2020. – № 9(187). – С. 184-188.
9. Определение анаэробного порога по данным легочной вентиляции и вариативности кардиоинтервалов / Селуянов В. Н., Калинин Е. М., Пак Г. Д. [и др.] // Физиология человека. – 2011. – Т. 37. – № 6. – С. 106-110.
10. Шагарова, Е. А. Информативные показатели мониторинга функционального состояния высококвалифицированных лыжниц-гонщиц / Е. А. Шагарова, И. Ю. Горская // Вестник Томского государственного университета. – 2021. – № 467. – С. 81-87.
11. The Conconi test – searching for the deflection point / Hnízdil J., Škopek M., Balko Š. [et al] // Physical activity review. – 2019. – Vol. 7. – pp. 160-167.
12. Reliability of the heart rate variability threshold during treadmill exercise / T. A. Hargens, S. Chambers, N. D. Luden, C. J. Womack // Clinical physiology and functional imaging. – 2022. – № 42(4). – pp. 292-299.

13. Heart rate variability estimates ventilatory threshold regardless body mass index in young people / Queiroz M. G., Arsa G., Rezende D. A. [et al] // Science & sports. – 2017. – № 33(1). – pp. 39-46.
14. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO2peak / N. A. Jamnick, J. Botella, D. B. Pyne, D. J. Bishop // PLoS One. – 2018. – № 13(7). – P. e0199794.
15. Modifications of the Dmax method in comparison to the maximal lactate steady state in young male athletes / Zwingmann L., Strutt S., Martin A. [et al] // The physician and sportsmedicine. – 2019. – Vol. 47. – № 2. – pp. 174–181.
16. Спирин, Т. С. Оптимальный метод определения второго лактатного (анаэробного) порога в циклических видах спорта / Т. С. Спирин, А. И. Чикуров, С. В. Радаева // Вестник Томского государственного университета. – 2023. – № 489.
17. 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. – Москва: Советский спорт, 2014. – 80 с.
18. Волков, Н. И. Пульсовые критерии энергетической стоимости упражнения / Н. И. Волков, О. И. Попов, А. Г. Самборский // Физиология человека. – 2003. – Т. 29. – № 3. – С. 98-103.
19. Нормирование тренировочных нагрузок с использованием показателей энергетической стоимости упражнения / Н. Ж. Булгакова, Н. И. Волков, О. И. Попов, А. Г. Самборский // Теория и практика физической культуры. – 2003. – № 5.
20. Тамбовцева, Р. В. Показатель пульсовой стоимости как критерий метаболических состояний при физических нагрузках у спортсменов высокой квалификации / Р. В. Тамбовцева // Современные вопросы биомедицины. – 2017. – Т. 1. – № 1(1). – С. 2.
21. Bodner, M. E. A review of the concept of the heart rate deflection point / M. E. Bodner, E. C. Rhodes // Sports medicine. – 2000. – № 30(1). – pp. 31–46.
22. Real-time analysis of the heart rate variability during incremental exercise for the detection of the ventilatory threshold / Shiraishi Y., Katsumata Y., Sadahiro T. [et al] // Journal of American Heart Association. – 2018. – № 7(1). – P. e006612.
23. Gronwald, T. Fractal correlation properties of heart rate variability: a new biomarker for intensity distribution in endurance exercise and training prescription? / T. Gronwald, B. Rogers, O. Hoos // Frontiers in physiology. – 2020. – № 11. – P. 550572.

REFERENCES

1. Jones A.M., Kirby B.S., Clark I.E., Rice H.M., Fulkerson E., Wylie L.J., Wilkerson D.P., Vanhatalo A., Wilkins B.W. Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace. J*ournal of applied physiology*, 2021, no. 130(2), pp. 369-379.
2. Poole D.C., Rossiter H.B., Brooks G.A., Gladden L.B. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *The journal of physiology*, 2020, no. 599(3), p. JP279963.
3. Breslav I.S., Volkov N.I., Tambovtseva R.V. Breathing and human muscle activity in sports: a guide for human physiology students. Moscow: Sovetskij Sport, 2013, 336 p. (in Russ.)
4. Tambovtseva R.V., Voytenko Yu.L., Orel V.R. The state of metabolism during strenuous muscular activity in athletes of cyclic sports. Monograph. Moscow: TBT Division, 2017. 120 p. (in Russ.)
5. Kozlov A.V., Yakushkin A.V., Andreev R.S., Vavaev A.V., Yurikov R.V., Sonkin V.D. A method for the evaluation of anaerobic threshold based on heart rate dynamics during incremental exercise test and recovery. *Human physiology*, 2019, vol. 45, no. 2, pp. 78-86.
6. Conconi F., Ferrari M., Ziglio P. G., Droghetti P., Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of applied physiology*, 1982, no. 52, pp. 869-873.
7. Novelli F.I., de Araújo J.A., Tolazzi G.J., Tricot G.K., Arsa G., Cambri L.T. Reproducibility of heart rate variability threshold in untrained individuals. *International journal of sports medicine*, 2019, no. 40(2), pp. 95-99.
8. Kryazhev V.D., Alenurov E.A., Krasnov R.B., Nazarova I.V. The use of the Conconi's test at the training of university students, the middle-distance runners. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2020, no. 9(187), pp. 184-188. (in Russ.)
9. Seluyanov V.N., Kalinin E.M., Pak G.D., Maevskaya V.I., Konrad A.M. Estimation of the anaerobic threshold from the data on lung ventilation and heart rate variability. *Human physiology*, 2011, vol. 37, no. 6, pp. 106-110.
10. Shagarova E.A., Gorskaya I.Yu. Informative indicators of monitoring the functional state of highly qualified female cross-country skiers. *Tomsk State University Journal*, 2021, no. 467, pp. 81-87. (in Russ.)

11. Hnízdil J., Škopek M., Balko Š., Nosek M., Louka O., Musálek M., Heller J. The Conconi test – searching for the deflection point. *Physical activity review*, 2019, vol. 7, pp. 160-167.
12. Hargens T.A., Chambers S., Luden N.D., Womack C.J. Reliability of the heart rate variability threshold during treadmill exercise. *Clinical physiology and functional imaging*, 2022, no. 42(4), pp. 292-299.
13. Queiroz M.G., Arsa G., Rezende D.A., Sousa L.C.J.L., Oliveira F.R., Araujo G.G., Cambri L.T. Heart rate variability estimates ventilatory threshold regardless body mass index in young people. *Science & sports*, 2017, no. 33(1), pp. 39-46.
14. Jamnick N.A., Botella J., Pyne D.B., Bishop D.J. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO_2peak. *PLoS One*, 2018, no. 13(7), p. e0199794.
15. Zwingmann L., Strutt S., Martin A., Volmary P., Bloch W., Wahl P. Modifications of the Dmax method in comparison to the maximal lactate steady state in young male athletes. *The physician and sports medicine*, 2019, vol. 47, no. 2, pp. 174-181.
16. Spirin T.S., Chikurov A.I., Radaeva S.V. The optimal method for identifying the second lactate (anaerobic) threshold in cyclic sports. *Tomsk State University Journal*, 2023, no. 489. (in Russ.)
17. Popov D.V., Grushin A.A., Vinogradova O.L. Physiological basis for assessing aerobic capabilities and selection of training loads in skiing and biathlon. Moscow: Sovetskij Sport, 2014, 80 p. (in Russ.)
18. Volkov N.I., Popov O.I., Samborskij A.G. Pulse criteria of the exercise energy cost. *Human physiology*, 2003, vol. 29, no. 3, pp. 98-103. (in Russ.)
19. Bulgakova N. Zh., Volkov N.I., Popov O.I., Samborskiy A.G. Norming of training loads with indicators of the exercise energy cost. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2003, no. 5. (in Russ.)
20. Tambovtseva R.V. Pulse value performance as a criterion of metabolic states at high physical loads among highly qualified competitors. *Modern Issues of Biomedicine*, 2017, vol. 1, no. 1(1), p. 2. (in Russ.)
21. Bodner M.E., Rhodes E.C. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports medicine*, 2000, no. 30(1), pp. 31-46.
22. Shiraishi Y., Katsumata Y., Sadahiro T., Azuma K., Akita K., Isobe S., Yashima F., Miyamoto K., Nishiyama T., Tamura Y. et al. Real-time analysis of the heart rate variability during incremental exercise for the detection of the ventilatory threshold. *Journal of American Heart Association*, 2018, no. 7(1), p. e006612.
23. Gronwald T., Rogers B., Hoos O. Fractal correlation properties of heart rate variability: a new biomarker for intensity distribution in endurance exercise and training prescription? *Frontiers in physiology*, 2020, no. 11, p. 550572.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Тимур Сергеевич Спирин – магистрант, Институт физической культуры, спорта и туризма Сибирского федерального университета, Красноярск, e-mail: TSpirin@sfu-kras.ru.
Александр Игнатович Чикуров – кандидат педагогических наук, доцент, кафедра «Теоретических основ и менеджмента физической культуры и туризма» Сибирского федерального университета, Красноярск, e-mail: AChikurov@sfu-kras.ru.
Евгений Иванович Ковель – директор, ООО «ЯРС», Красноярск.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Timur Sergeevich Spirin – Master's Student, Institute of Physical Education, Sport and Tourism, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: TSpirin@sfu-kras.ru.
Alexandr Ignatovich Chikurov – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical Foundations and Management of Physical Culture and Tourism, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: AChikurov@sfu-kras.ru.
Evgenij Ivanovich Kovel' – director, Yars LLC, Krasnoyarsk.

Для цитирования: Спирин, Т. С. Наиболее информативный метод определения анаэробного порога, основанный на измерении сердечного ритма / Т. С. Спирин, А. И. Чикуров, Е. И. Ковель // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_03_16

For citation: Spirin T.S., Chikurov A.I., Kovel' E.I. The most informative method for determining anaerobic threshold, based on measuring heart rhythm. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_03_16