Дата публикации: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_18
УДК 796.01;612

Publication date: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_18
UDC 796.01;612

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПОРОГОВ В БЕГЕ

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. Представлены общие сведения о концепции аэробо-анаэробного метаболического перехода, в котором максимальное потребление кислорода, аэробный и анаэробный пороги являются его характерными точками. Проведено экспериментальное исследование на 18 тренированных бегунах-любителях. Уровни метаболических порогов определены при помощи динамики концентрации лактата в капиллярной крови, а также при помощи модифицированного графического метода, основанного на анализе динамики частоты сердечных сокращений. Обоснован подход, позволяющий при помощи модифицированного графического метода определить уровень лактатного аэробного порога среди бегунов-любителей с возможным отклонением скорости бега от -1,39 до 1,15 км/ч (95% ДИ). Таким образом, при помощи модифицированного графического метода возможно определить не только анаэробный, но и аэробный порог. Это позволяет по результатам однократного тестирования установить зоны интенсивности различных видов тренировок.
Ключевые слова: анаэробный порог, аэробный порог, графический метод.

MODIFIED GRAPHICAL METHOD FOR IDENTIFYING METABOLIC THRESHOLDS IN RUNNING

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

Abstract. The study presents general information on the concept of aerobic and anaerobic metabolic transition, in which VO_2max, aerobic and anaerobic thresholds are characteristic points of this transition. An experimental study was conducted on 18 trained recreational runners. The levels of metabolic thresholds were identified using the dynamics of lactate concentration in capillary blood, as well as a modified graphical method based on the analysis of heart rate dynamics. The approach that allows using the aforementioned method to determine the level of lactate threshold among recreational runners with a possible variation of running speed from -1.39 to 1.15 km/h (95% CI) was substantiated. Thus, with this method, it is possible to identify not only the anaerobic, but also aerobic threshold. This makes it possible to establish the intensity zones of different types of training based on the results of a single test.
Keywords: anaerobic threshold, aerobic threshold, graphical method.

Введение. Концепция метаболических порогов (МП), предложенная в исследованиях K. Wasserman и W. Hollmann в 60-х годах XX века, заключается в том, что метаболическое состояние организма человека отличается при выполнении физической работы с мощностью ниже или выше пороговой [1]. В нашей работе к МП мы относим аэробный (АэП) и анаэробный пороги (АнП).

На ранних этапах исследований темы МП W. Kindermann и соавт. (1979), а также J.S. Skinner и H. McLellan (1980) предложили концепцию перехода от аэробного к анаэробному метаболизму [2-3]. По нашему мнению, данная концепция аэробо-анаэробного перехода (ААП) остаётся актуальной в настоящее время. При этом вышеперечисленные МП являются характерными точками данного перехода [1, 4].

При выполнении теста с повышением мощности переход от практически 100% доли аэробной энергосистемы (не считая небольшого инициирующего алактатного долга) на низких уровнях мощности к *медленному* повышению доли анаэробного гликолитического энергопроцесса (АнГ) происходит после превышения мощности АэП [1, 3, 4]. Физиологическим критерием достижения мощности АэП является начало перехода линейной зависимости концентрации лактата в капиллярной крови (La) в экспоненциальный рост, сопровождающийся переломом в линейной динамике выделения углекислого газа [5].

Достижение мощности АнП характеризуется началом быстрой фазы экспоненциального увеличения доли АнГ [1, 4, 6]. АнП может быть определён различными методами по динамике накопления La [4].

Уровень мощности, на котором достигается плато по потреблению кислорода (МПК), несмотря на повышение внешней нагрузки свидетельствует о достижении максимальной мощности аэробной энергосистемы. Дальнейший рост мощности внешней работы возможен исключительно за счёт повышения мощности АнГ [7].

На рисунке 1 показана схема ААП. Мы предполагаем, что уровни АэП и МПК являются границами данного перехода, а уровень АнП отражает начало быстрой фазы ААП.

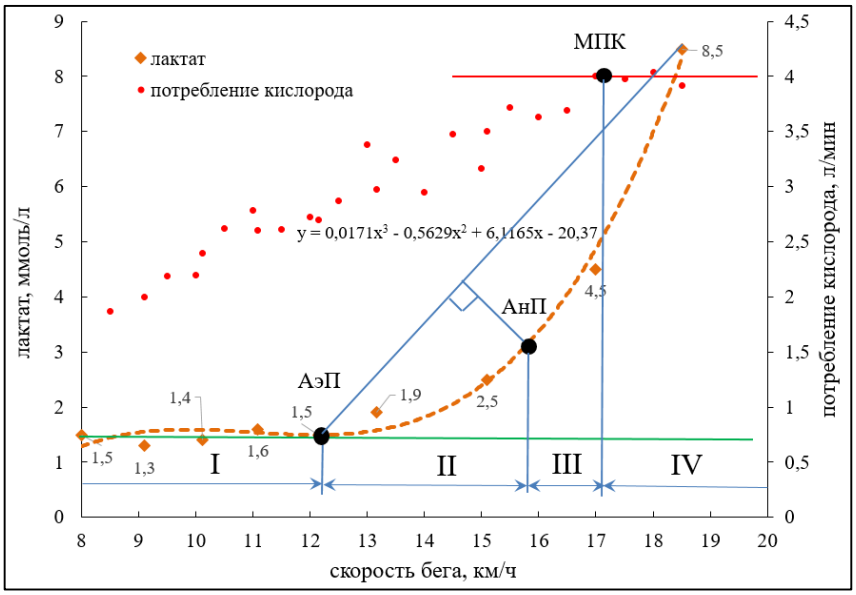


Рис. 1. Пример динамики потребления кислорода и накопления лактата во время теста с повышением скорости бега до отказа (скорость на отказе 18,5 км/ч в данном примере)

Примечание: Зелёная сплошная линия показывает линейную зависимость, описывающую динамику лактата на начальных ступенях теста. Красная сплошная линия показывает уровень потребления кислорода в конце теста. Чёрные закрашенные круги – характерные точки на кривой динамики лактата, соответствующие аэробо-анаэробному переходу (АэП, АнП и МПК). Римскими цифрами обозначены зоны активности различных энергосистем: I – аэробная энергосистема обеспечивает 100% от общей выработки энергии (не считая инициирующий алактатный долг); II – смешанное аэробо-анаэробное энергообеспечение с медленным ростом доли анаэробного гликолиза; III – смешанное аэробо-анаэробное энергообеспечение с быстрым ростом доли анаэробного гликолиза; IV – достигнут предел аэробной мощности, дальнейшее нарастание мощности внешней работы возможно исключительно за счёт повышения анаэробного вклада. Аэробо-анаэробный переход (ААП) происходит во время II и III фаз, в IV фазе аэробный метаболизм достигает максимальной мощности (при условии, что хватает времени на развёртывание аэробного энергопроцесса)

На основе концепции МП S. Seiler и E. Tønnessen (2009) описали трёхзонную модель разделения интенсивности тренировок: низкоинтенсивная тренировка (НИТ) выполняется на интенсивности не более АэП; тренировка средней интенсивности – на уровне выше АэП, но не более АнП; высокоинтенсивная тренировка (ВИТ) – на уровне выше АнП [8].

По данным обзора S. Seiler и E. Tønnessen (2009), среди высококвалифицированных спортсменов на выносливость из различных видов спорта >75-80% объёма тренировок занимают НИТ [8]. Данные на бегунах мирового уровня, представленные M. Kenneally и соавт. (2021), демонстрируют, что 87,2% объёма тренировок занимают НИТ [9]. Обзор многолетних тренировочных программ спортсменов на выносливость международного уровня, выполненный H.C. Staff и соавт. (2023), показал, что прогресс в спортивном уровне связан с увеличением среднего объёма НИТ вплоть до значений около 800 часов в год [10].

Известно, что у спортсменов La и концентрация стрессовых гормонов в крови – эпинефрина (Ep) и норэпинефрина (NEp) во время теста с повышением мощности очень сильно коррелируют между собой, имея схожую динамику [11-13]. Выполнение упражнения продолжительностью 50 минут на постоянной интенсивности ниже или выше на 15% уровня АэП, как показали J. Manetta и соавт. (2005), вызывает рост Ep и NEp в 3-6 раз при работе на надпороговой относительно допороговой интенсивности [14]. Поэтому мы предполагаем, что в процессе выполнения НИТ у спортсменов не происходит значимого роста Ep и NEp выше базального уровня. Вероятно, это является одной из причин того, что высококвалифицированные спортсмены могут выполнять НИТ в большом объёме (800 часов в год), не подвергаясь повышенному риску появления синдрома перенапряжения.

Таким образом, по нашему мнению, уровень АэП спортсменам необходимо знать для того, чтобы иметь возможность безопасно наращивать объём тренировок (преимущественно за счёт увеличения доли НИТ) с целью повышения уровня спортивной подготовленности.

Определение МП общепринятыми методами требует инвазивных процедур или использования сложного в эксплуатации и обслуживании газометрического оборудования. В этой связи исследователи из разных стран разработали множество методов определения МП, в которых используется широко доступное пульсометрическое оборудование [15-17].

Графический метод (ГрМ) определения АнП по динамике частоты сердечных сокращений (ЧСС) был предложен в исследовании А.В. Козлова и соавт. в 2019 году [18]. В нашем исследовании 2023 года мы показали, что среди тренированных бегунов-любителей использование ГрМ позволяет получить наиболее информативные результаты по сравнению с двумя другими распространёнными методами [19].

Мы предполагаем, что на основе ГрМ возможно определить не только уровень АнП, но и уровень АэП. Это позволит по данным однократного теста определить индивидуальные зоны интенсивности тренировок в соответствии с трёхзонной моделью.

Цель: обосновать методику, позволяющую при помощи однократного теста на основе модифицированного графического метода определения метаболических порогов установить индивидуальные зоны интенсивности тренировок в соответствии с трёхзонной моделью.

Методы и организация исследования. В исследовании участвовало 18 тренированных бегунов-любителей (17 мужчин, 1 женщина): масса тела – 72,8±8,7 кг, возраст – 31,7±7,6 лет (M±SD), стаж регулярных тренировок – не менее 1,5 лет. Каждый испытуемый подписал добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Испытуемые прошли тестирование со ступенчато возрастающей

скоростью бега на тредбане с уклоном 1%. Протокол нагрузки: разминка от 5 до 7,5 км/ч в течение 5 минут, начальная скорость теста – 8 км/ч, повышение скорости на 0,5 км/ч каждую минуту до отказа испытуемого от продолжения тестирования. La определяли путём пробы крови из дистальной фаланги безымянного пальца каждые 2 минуты бега без остановки и в момент отказа испытуемого от продолжения работы. La определяли при помощи анализатора Nova lactate plus (США). Запись ЧСС осуществлялась при помощи пульсометра Polar H10 (Финляндия) и приложения HR Monitor (BM innovations GmbH 2018).

АэП по динамике La ($АэП_{La}$) определяли по точке на полиноме 3-ей степени, аппроксимирующего динамику La, после которой полином начинает рост относительно линейной зависимости, описывающей динамику La в начальный момент теста [5]. АнП по лактатной кривой ($АнП_{La}$) определяли при помощи модифицированного метода Dmax [20-21]. Примеры определения $АэП_{La}$ и $АнП_{La}$ отражены на рисунке 1.

Модифицированный ГрМ для определения МП основан на ГрМ, предложенном в исследовании А.В. Козлова и соавт. (2019) [18].

АэП и АнП при помощи модифицированного ГрМ ($АэП_{ГрМ}$ и $АнП_{ГрМ}$), определяли по эмпирически разработанной методике (рис. 2). Точка Р1 наносится на ось ординат, её ордината равна ЧСС на отказе от продолжения работы ($ЧСС_{пик}$). Точка Р2 наносится на ось абсцисс, её абсцисса равна времени отказа от продолжения работы в тесте ($t_{пик}$), точка Р3 – в начале координат. Точка Р4 наносится на пульсограмму в момент восстановления после отказа от продолжения работы, когда первоначальная быстрая динамика снижения ЧСС сменяется медленной линейной фазой. Для облегчения нахождения координат точки Р4 можно провести дополнительную прямую, описывающую динамику ЧСС в медленной фазе восстановления. Для определения координат точки Р4 запись динамики ЧСС продолжается после отказа не менее 10 минут. В момент восстановления испытуемый не должен выполнять активной физической работы. Отрезок 1 проводится через точки Р1 и Р2, отрезок 2 – через Р3 и Р4. Абсцисса точки пересечения отрезков 1 и 2 P_{cr} равна времени (и соответствующей нагрузке) достижения $АнП_{ГрМ}$.

Вышеописанная методика не отличается от описания ГрМ [18]. Модифицированный ГрМ отличается от ГрМ тем, что дополнительная точка Р5 наносится на ось ординат, при этом она имеет ординату, равную ординате точки P_{cr}. Через точки Р5 и Р2 проводится отрезок 3. Точка пересечения отрезков 2 и 3 ($P_{АэП}$) определяет момент времени (и соответствующую нагрузку) достижения $АэП_{ГрМ}$.

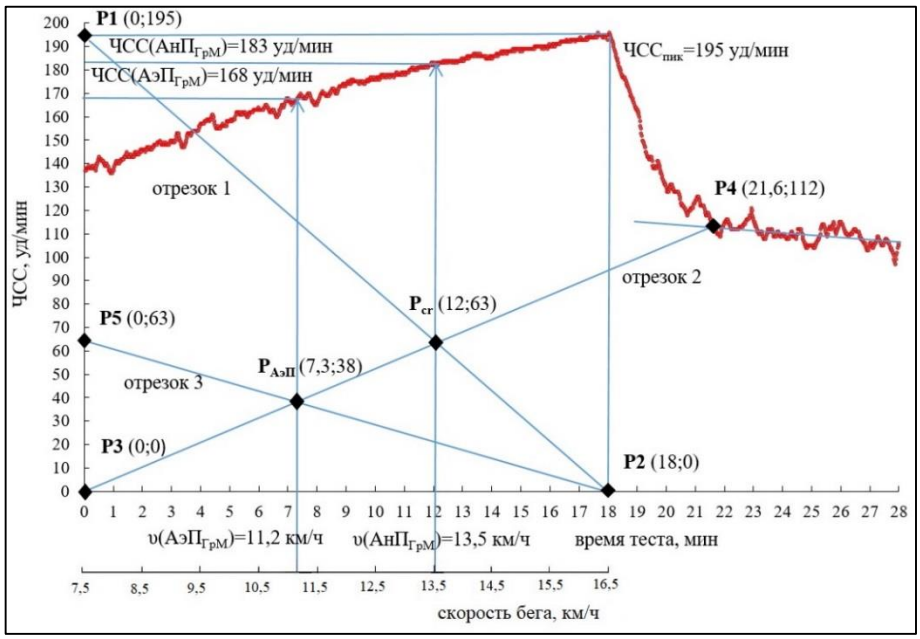


Рис. 2. Пример определения АэП$_{ГрМ}$ и АнП$_{ГрМ}$, а также соответствующих значений ЧСС

Примечание: АэП$_{ГрМ}$ – аэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; АнП$_{ГрМ}$ – анаэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; ЧСС – частота сердечных сокращений; в данном примере отказ от продолжения работы произошёл спустя $t_{пик}$=18 минут от начала теста, скорость бега на отказе $υ_{пик}$=16,5 км/ч, ЧСС на отказе ЧСС$_{пик}$=195 уд/мин. При этом скорость бега на АнП$_{ГрМ}$ 13,5 км/ч, на АэП$_{ГрМ}$ 11,2 км/ч. Значения ЧСС определяются по динамике ЧСС в соответствии со скоростями бега на метаболических порогах

Соответствие между временем теста и скоростью бега определялось по зависимости (1). Аналогичная зависимость представлена Д.В. Поповым и соавт. (2014) [22, с. 36].

$$υ(t)=υ_0+Δυ_{1м}\ (t-1) \quad (1)$$

$υ(t)$ – 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. По данной зависимости рассчитывалась пиковая скорость бега в тесте $υ_{пик}$ в зависимости от времени работы до отказа $t_{пик}$, а также рассчитывались скорости бега на МП в зависимости от соответствующего времени.

Все расчёты и графические построения выполнялись в MS Excel. Ввиду малого размера выборки коэффициенты корреляции ρ рассчитывались по Спирмену, статистическая значимость различий определялась при помощи U-критерия Манна-Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 приведены показатели характеристик работоспособности испытуемых, определённых различными методами по результатам теста (M±SD, n=18). Данные представлены по скорости бега (υ), ЧСС, La.

В таблице 2 представлены значения показателей, соответствующих МП, определённых при помощи динамики La и ГрМ, а также статистическая значимость различий, коэффициенты корреляции между парными значениями показателей, полученных различными методами.

Таблица 1

Показатели характеристик работоспособности испытуемых, определённые различными методами по результатам теста (M±SD, n=18)

Показатель	υ, км/ч	ЧСС, уд/мин	La, ммоль/л
$АэП_{La}$	11,9±1,1	150,4±11,7	1,6±0,5
$АнП_{La}$	15,1±1,3	172,6±10,8	3,9±0,8
$АэП_{ГрМ}$	11,8±0,8	149,1±11,4	1,6±0,5
$АнП_{ГрМ}$	14,5±1,1	168,6±9,6	3,1±0,7
отказ	17,9±1,4	187,2±8,6	11,1±2,9

Примечание: $АэП_{La}$ – аэробный порог по динамике лактатной кривой; $АнП_{La}$ – анаэробный порог по динамике лактатной кривой; $АэП_{ГрМ}$ – аэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; $АнП_{ГрМ}$ – анаэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; υ – скорость бега; ЧСС – частота сердечных сокращений; строка показателей в момент отказа от продолжения работы – отказ; La – концентрация лактата в капиллярной крови

Таблица 2

Статистические данные, полученные при сравнении модифицированного графического метода и лактатных методов определения метаболических порогов (M±SD, n=18)

Показатель	υ, км/ч	ЧСС, уд/мин	La, ммоль/л
$АэП_{ГрМ}$	11,8±0,8	149,1±11,4	1,6±0,5
$АэП_{La}$	11,9±1,1	150,4±11,7	1,6±0,5
$\rho_{АэП}$ (p)	0,75 (p<0,01)	0,86 (p<0,01)	0,84 (p<0,01)
ss, ns	ns	ns	ns
$АнП_{ГрМ}$	14,5±1,1	168,6±9,6	3,1±0,7
$АнП_{La}$	15,1±1,3	172,6±10,8	3,9±0,8
$\rho_{АнП}$ (p)	0,91 (p<0,01)	0,93 (p<0,01)	0,58 (p<0,05)
ss, ns	ns	ns	ss

Примечание: $АэП_{La}$ – аэробный порог по динамике лактатной кривой (La); $АнП_{La}$ – анаэробный порог по динамике лактатной кривой (La); $АэП_{ГрМ}$ – аэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; $АнП_{ГрМ}$ – анаэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; υ – скорость бега; ЧСС – частота сердечных сокращений; строка показателей в момент отказа от продолжения работы – отказ; La – концентрация лактата в капиллярной крови; $\rho_{АнП}$ – коэффициенты корреляции между показателями $АнП_{ГрМ}$ и $АнП_{La}$; $\rho_{АэП}$ – коэффициенты корреляции между показателями $АэП_{ГрМ}$ и $АэП_{La}$; (p) – значимость коэффициентов корреляции; ns – незначимые различия при p<0,05; ss – значимые различия при p<0,05

В таблице 2 показано: значения La на уровне $АнП_{ГрМ}$ имеют значимые различия при p<0,05 с соответствующими парными значениями на уровне $АнП_{La}$. Остальные показатели ГрМ и лактатных методов определения МП не имеют значимых различий при p<0,05. Корреляционная взаимосвязь между уровнями $АэП_{ГрМ}$ и $АэП_{La}$ сильная по всем показателям. Корреляционная взаимосвязь между уровнями $АнП_{ГрМ}$ и $АнП_{La}$ от средней до очень сильной.

На рисунках 3-5 представлены диаграммы, демонстрирующие 95% доверительный интервал (ДИ) разности между скоростями бега (Δυ), ЧСС (ΔЧСС) и концентрацией лактата (ΔLa) на уровнях МП, определённых при помощи ГрМ и соответствующих методов, где МП определялись по динамике La.

На рисунке 3 показано, что в 95% случаев скорость бега на $АэП_{ГрМ}$ отличается от скорости бега на $АэП_{La}$ в пределах от

-1,39 до 1,15 км/ч. На рисунках 4 и 5 показано, что ЧСС на данных уровнях отличается в пределах от -10,3 до 7,7 уд/мин, La – от -0,35 до 0,35 ммоль/л.

Основной результат нашего исследования – это обоснование модифицированного ГрМ, позволяющего определить уровни МП у бегунов-любителей на основе однократного максимального теста. Это позволит достигнуть цели исследования, ведь в трёхзонной модели разделения интенсивности тренировок в качестве границ зон используются уровни АэП и АнП [8].

Как видно из таблицы 2 и рисунков 3-5, МП, определённые при помощи модифицированного ГрМ, с указанным уровнем отклонений близки к лактатным МП. По нашему мнению, тест по модифицированному ГрМ не сможет заменить лабораторный лактат-тест, однако может служить ему альтернативой в случае отсутствия доступа к такому тестированию.

Как видно из таблицы 2 и рисунка 5, значения La сильно коррелируют, не имеют статистически значимых различий и отличаются в 95% случаев на величину от -0,35 до 0,35 ммоль/л между уровнями $АэП_{ГрМ}$ и $АэП_{La}$. Поэтому уровень $АэП_{ГрМ}$, по нашему мнению, можно использовать в качестве верхнего предела интенсивности НИТ у бегунов-любителей. Такая небольшая величина отличий между уровнями $АэП_{ГрМ}$ и $АэП_{La}$ по La в нашем исследовании объясняется тем, что как правило, оба уровня попадали в зону медленного изменения величины La.

Как видно из таблицы 2, значения La на уровнях $АнП_{ГрМ}$ и $АнП_{La}$ имеют между собой статистически значимые различия при $p<0,05$. Данные результаты говорят о том, что на уровне $АнП_{ГрМ}$ мощность АнГ значимо ниже, чем на уровне $АнП_{La}$. По нашим данным (n=18), начало быстрой фазы накопления La (т.е. достижение уровня $АнП_{La}$) происходит на скорости бега 103,7±3,5% (M±SD) от уровня $АнП_{ГрМ}$. По нашему мнению, уровень $АнП_{ГрМ}$ можно использовать в качестве нижнего предела интенсивности высокоинтенсивных тренировок (ВИТ), в большинстве случаев превышая данный уровень в рабочих интервалах во время интервальных тренировок на 5-10%.

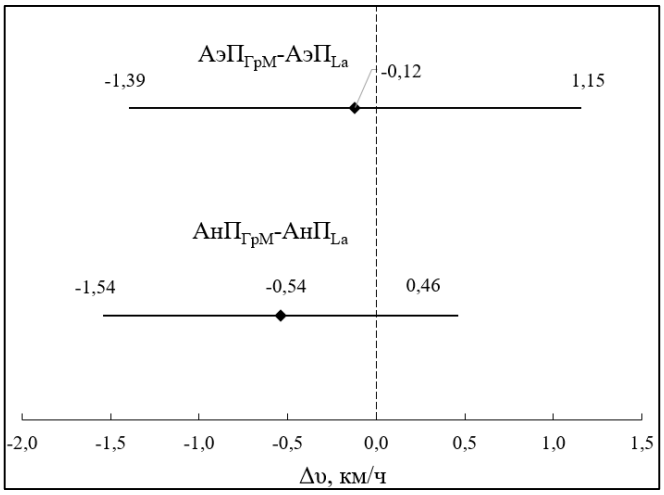


Рис. 3. Δυ между уровнями метаболических порогов, определёнными модифицированным графическим методом и лактатными методами (M, 95% ДИ)

Примечание (здесь и далее): $АэП_{La}$ – аэробный порог по динамике лактатной кривой; $АнП_{La}$ – анаэробный порог по динамике лактатной кривой; $АэП_{ГрМ}$ – аэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; $АнП_{ГрМ}$ – анаэробный порог, определенный с помощью модифицированного графического метода; штриховой линией показано нулевое значение разности

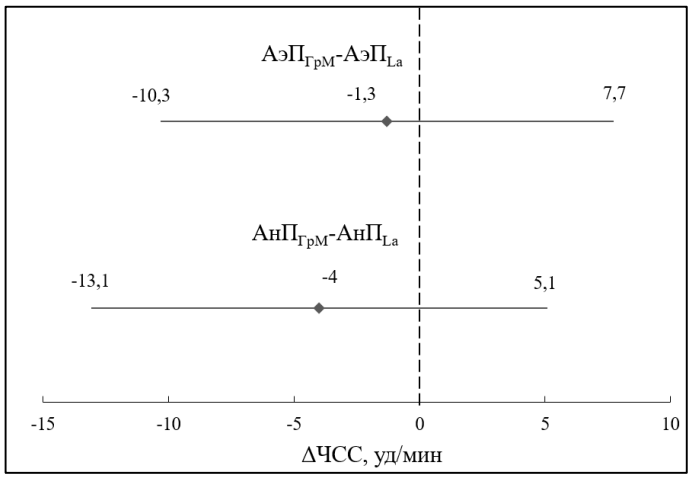


Рис. 4. ΔЧСС между уровнями метаболических порогов, определёнными модифицированным графическим методом и лактатными методами (М, 95% ДИ)

Предположительный принцип работы модифицированного ГрМ можно описать следующим образом. Как показано в исследовании Н.И. Волкова и соавт. (2003), пульсовые стоимости работы и восстановления очень сильно коррелируют с энергетическими затратами во время теста и в период восстановления [23]. По мнению авторов, ГрМ, площади треугольников, отсекаемых отрезками 1 и 2 относительно оси абсцисс, должны отражать уровень аэробных и анаэробных затрат энергии во время теста, соответственно [18].

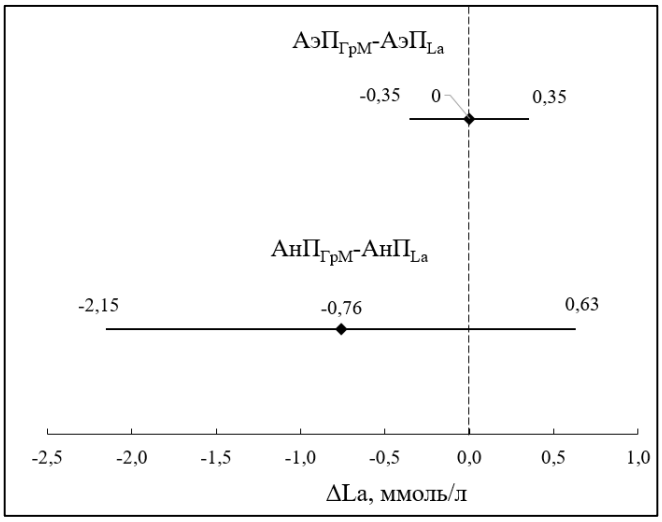


Рис. 5. ΔLa между уровнями метаболических порогов, определёнными модифицированным графическим методом и лактатными методами (М, 95% ДИ)

В нашем исследовании площадь треугольника, отсекаемого отрезком 2, сильно и значимо коррелирует с объёмом пульсового долга за 5 минут восстановления (ρ=0,80, p<0,01, n=18), а также значимо и умеренно коррелирует с показателем $La_{пик}$ на отказе (ρ=0,57, p<0,05, n=18). С некоторой условностью (связанной с различиями в объёме циркулирующей крови у испытуемых) показатель $La_{пик}$ может отражать общую работу, произведенную АнГ за время теста.

Мы предполагаем, что угловые коэффициенты отрезков 1 и 2 относительно оси абсцисс отражают средние скорости аэробных и анаэробных затрат энергии во время теста, соответственно. Точка пересечения отрезков 1 и 2 (P_{cr}), по нашему мнению,

определяет момент времени, когда эти скорости равны. Ордината точки P_{cr}, вероятно, отражает равновесный уровень La, который поддерживается при равенстве скоростей образования и утилизации лактата. Подтверждением этого, на наш взгляд, является сильная и значимая корреляция между значением ординаты точки P_{cr} и значением La на уровне $АнП_{La}$ по нашим данным (ρ=0,71, $p<0,01$, n=18). Равенство скоростей выделения и утилизации лактата – основной критерий достижения лактатного АнП [1, 4].

Методика определения $АэП_{ГрМ}$ разработана эмпирически и к настоящему времени не имеет чёткого физиологического обоснования. Нам представляется вероятным, что при выполнении тестирований среди спортсменов других специализаций, не столь тесно связанных с развитием аэробной выносливости, как наши испытуемые, описанный выше метод определения $АэП_{ГрМ}$ будет иметь валидность на менее значимом уровне. В настоящее время без проведения дополнительных исследований мы не можем рекомендовать модифицированный ГрМ для определения МП среди широкого круга спортсменов. Это является ограничением нашего исследования.

В качестве ограничения при использовании предлагаемого модифицированного ГрМ можно назвать то, что данный метод требует обязательного тестирования до предела физических возможностей испытуемого. Это ограничивает сферу применения лишь подготовленными в отношении аэробной выносливости спортсменами. Также требуется обязательное использование протоколов с *равномерным* ростом мощности в тесте.

Таким образом, по результатам максимального тестирования с использованием широко доступного пульсометрического оборудования, возможно определить три уровня интенсивности нагрузки у бегунов-любителей: $АэП_{ГрМ}$, $АнП_{ГрМ}$ и $\upsilon_{пик}$. Уровень $АэП_{ГрМ}$, по нашему мнению, можно рекомендовать к использованию как верхний предел интенсивности НИТ, уровень $АнП_{ГрМ}$ – как нижний предел интенсивности ВИТ, а значение $\upsilon_{пик}$ позволит ранжировать спортсменов по интегральному уровню работоспособности на момент тестирования.

Заключение:

1. Предложен модифицированный графический метод определения метаболических порогов, обоснованный экспериментальным исследованием на 18 бегунах-любителях.

2. Показатели скорости бега, ЧСС и концентрации лактата в крови среди бегунов-любителей на аэробном пороге, определённом при помощи модифицированного графического метода, не имеют статистически значимых различий и сильно коррелируют с уровнем лактатного аэробного порога.

3. По нашим данным, в 95% случаев скорость бега на аэробном пороге среди бегунов-любителей, определённая при помощи модифицированного графического метода, отличается в пределах от -1,39 до 1,15 км/ч от скорости бега на лактатном аэробном пороге. ЧСС между данными уровнями отличается в интервале от -10,3 до 7,7 уд/мин, концентрация лактата – от -0,35 до 0,35 ммоль/л.

4. Предложенный метод позволит по результатам однократного максимального тестирования определить границы интенсивности различных видов тренировок бегунов-любителей в рамках трёхзонной модели.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy / D. C. Poole, H. B. Rossiter, G. A. Brooks, L. B. Gladden // The journal of physiology. – 2020. – P. JP279963.

2. Kindermann, W. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training / W. Kindermann, G. Simon, J. Keul // European

journal of applied physiology. – 1979. – Vol. 42. – P. 25-34. DOI: 10.1007/BF00421101.
3. Skinner, J. S. The Transition from Aerobic to Anaerobic Metabolism / J. S. Skinner, T. H. McLellan // Research Quarterly for Exercise and Sport. – 1980. – Vol. 51(1). – P. 234-248. DOI: 10.1080/02701367.1980.10609285.
4. Faude, O. Lactate threshold concepts, how valid are they? / O. Faude, W. Kindermann, T. Meyer // Sports Medicine. – 2009. – Vol. 39. – № 6. – P. 469-490. DOI: 10.2165/00007256-200939060-00003.
5. 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. [In English] Breslav I.S., Volkov N.I., Tambovtseva R.V. Breathing and human muscle activity in sports: a guide for students of human physiology. Moscow: Sovetskij Sport, 2013. 336 p. (in Russ.)
6. Stegmann, H. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold / H. Stegmann, W. Kindermann, A. Schnabel // International journal of sports medicine. – 1981. – Vol. 2. – P. 160-165. DOI: 10.1055/s-2008-1034604.
7. Poole, D. C. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2max}$: $\dot{V}O_{2peak}$ is no longer acceptable / D. C. Poole, A. M. Jones // Journal of applied physiology. – 2017. – Vol. 122(4). – P. 997-1002. DOI: 10.1152/japplphysiol.01063.2016.
8. Seiler, S. Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training / S. Seiler, E. Tønnessen // Sportscience. – 2009. – Vol. 13. – P. 32-53.
9. Training intensity distribution analysis by race pace vs. physiological approach in world-class middle- and long-distance runners / M. Kenneally, A. Casado, J. Gomez-Ezeiza, J. Santos-Concejero // European journal of sport science. – 2021. – Vol. 21(6). – P. 819-826. DOI: 10.1080/17461391.2020.1773934.
10. Long-Term Development of Training Characteristics and Performance-Determining Factors in Elite/International and World-Class Endurance Athletes: A Scoping Review / H. C. Staff, G. S. Solli, J. O. Osborne, Ø. Sandbakk // Sports medicine. – 2023. – Vol. 53(8). – P. 1595-1607. DOI: 10.1007/s40279-023-01850-z.
11. Mazzeo, R. S. Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise / R. S. Mazzeo, P. Marshall // Journal of applied physiology. – 1989. – Vol. 67(4). – P. 1319-22. DOI: 10.1152/jappl.1989.67.4.1319.
12. Schneider, D. A. Plasma catecholamine and blood lactate responses to incremental arm and leg exercise / D. A. Schneider, T. M. McLellan, G. C. Gass // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2000. – Vol. 32(3). – P. 608-613. DOI: 10.1097/00005768-200003000-00009.
13. Podolin, D. A. Plasma catecholamine and lactate response during graded exercise with varied glycogen conditions / D. A. Podolin, P. A. Munger, R. S. Mazzeo // Journal of applied physiology. – 1991. – Vol. 71(4). – P. 1427-1433. DOI: 10.1152/jappl.1991.71.4.1427.
14. Substrate oxidation during exercise at moderate and hard intensity in middle-aged and young athletes vs sedentary men / J. Manetta, J. F. Brun, C. Prefaut, J. Mercier // Metabolism. – 2005. – Vol. 54(11). – P. 1411-1419. DOI: 10.1016/j.metabol.-2004.12.002.
15. 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. – Vol. 52. – P. 869-873.
16. 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. – Vol. 11. – P. 550572. DOI: 10.3389/fphys.2020.550572.
17. 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. – Vol. 7(1). – P. e006612. DOI: 10.1161/JAHA.117.006612.
18. 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. [In English] Kozlov A.V., Yakushkin A.V., Andreev R.S., Vavaev A.V., Yurikov R.V., Son'kin 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. DOI: 10.1134/S0131164619020036. (in Russ.)
19. 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(24). – С. 137-146. [In English] Spirin T.S.,

Chikurov A.I., Kovel' E.I. The most informative method for identifying anaerobic threshold based on measuring heart rhythm. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 3(24), pp. 137-146. DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_03_16. (in Russ.)

20. Standardization of the Dmax method for calculating the second lactate threshold / S. Chalmers, A. Esterman, R. Eston, K. Norton // International journal of sports physiology and performance. – 2015. – Vol. 10(7). – P. 921-926. DOI: 10.1123 /ijspp.2014-0537.

21. Modifications of the Dmax method in comparison to the maximal lactate steady state in young male athletes / Zwingmann L., Strütt S., Martin A. [et al] // The physician and sportsmedicine. – 2019. – Vol. 47. – № 2. – P. 174-181. DOI: 10.1080/00913847.2018.1546103.

22. 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. [In English] 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.)

23. 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. [In English] Volkov N.I., Popov O.I., Samborskij A.G. Pulse rate criteria for the energy cost of an exercise. *Human Physiology*, 2003, vol. 29, no. 3, pp. 98-103 (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Тимур Сергеевич Спирин – заведующий лабораторией спорта и туризма, Институт физической культуры, спорта и туризма, Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: TSpirin@sfu-kras.ru.

Александр Игнатович Чикуров – кандидат педагогических наук, доцент, кафедра «Теоретических основ и менеджмента физической культуры и туризма», Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: AChikurov@sfu-kras.ru.

Евгений Иванович Ковель – директор, ООО «ЯРС», Красноярск.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Timur S. Spirin – Head of the Laboratory of Sports and Tourism, Institute of Physical Education, Sport and Tourism, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: TSpirin@sfu-kras.ru.

Aleksandr I. 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 I. Kovel' – Director, Yars LLC, Krasnoyarsk.

Для цитирования: Спирин, Т. С. Модифицированный графический метод определения метаболических порогов в беге / Т. С. Спирин, А. И. Чикуров, Е. И. Ковель // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_18

For citation: Spirin T.S., Chikurov A.I., Kovel' E.I. Modified graphical method for identifying metabolic thresholds in running. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_18