

*В. А. Камышный*

## **ИНДИКАТОРЫ РЕЗУЛЬТАТА НА КОРОТКИХ ДИСТАНЦИЯХ ТРЕЙЛРАННИНГА**

*Московский государственный областной университет, г. Москва, Россия*

**Аннотация.** Целью данной работы являлось измерение величины максимального потребления кислорода у бегунов-трейлраннеров в лабораторных условиях и хронометраж контрольного бега на отдельных участках дистанции на местности, различающихся по рельефу, для последующего анализа полученных данных на предмет их корреляции с результатами соревнований. Бегуны (13 мужчин, средний возраст –  $29 \pm 4$  лет, рост –  $183,0 \pm 0,5$  см, масса тела –  $71,9 \pm 5,6$  кг) в первый день выполнили лабораторные тесты для определения максимального потребления кислорода и экономичности бега. Во второй день был проведен контрольный забег на время по пересеченной местности (два круга по 3,5 км, общий набор высоты – 486 м) для анализа временных параметров преодоления отдельных участков трассы, а также общего результата. Сравнение временных показателей преодоления первого и второго кругов ( $19 \text{ м } 40 \text{ с } \pm 1 \text{ м } 57 \text{ с}$  и  $21 \text{ м } 08 \text{ с } \pm 2 \text{ м } 09 \text{ с}$  соответственно,  $P < 0,001$ ) позволило автору сделать вывод, что максимальная потеря времени у бегунов отмечалась на участках подъема, минимальная – на участках спуска ( $-2,5 \pm 9,1$  с). Межиндивидуальные показатели спортсменов больше всего различались на спусках (коэффициент вариации  $> 25\%$ ), меньше всего – на ровной местности (коэффициент вариации  $< 10\%$ ). Результат на контрольном забеге зависел от абсолютного и относительного значений максимального потребления кислорода ( $P < 0,01$ ) и вертикальной составляющей скорости бега в гору ( $P < 0,001$ ).

**Ключевые слова:** *трейл, трейлраннинг, бег, выносливость, подъем, спуск*

*V. A. Kamyshny*

## **PERFORMANCE INDICATORS IN SHORT TRAIL RUNNING**

*Moscow State Region University, Moscow, Russia*

**Abstract.** The purpose of this work was to measure the value of maximum oxygen consumption in trail runners in laboratory conditions and the timing of the control run in specific sections of the distance on the ground differing in relief for further analysis of the data obtained for their correlation with the results of the competition. Runners (13 males, average age  $29 \pm 4$  years, height  $183.0 \pm 0.5$  cm, body weight  $71.9 \pm 5.6$  kg) performed laboratory tests on the first day to determine maximum oxygen consumption and running economy. On the second day, a time trial cross-country race was held (two laps of 3.5 km each, the total climb was 486 m) to analyze the time parameters of overcoming individual sections of the route, as well as the overall result. Comparison of the time indicators for overcoming the first and second laps ( $19 \text{ m } 40 \text{ s } \pm 1 \text{ m } 57 \text{ s}$  and  $21 \text{ m } 08 \text{ s } \pm 2 \text{ m } 09 \text{ s}$ , respectively,  $P < 0.001$ ) allowed the author to conclude that the maximum loss of time among runners was noted on sections ascent, the minimum loss was in the descent sections ( $-2.5 \pm 9.1$  s). The inter-individual indicators of athletes differed most of all on descents (coefficient of variation  $> 25\%$ ), least of all – on flat ground (coefficient of variation  $< 10\%$ ). The result on the control run depended on the absolute and relative values of the maximum oxygen consumption ( $P < 0.01$ ) and the vertical component of the uphill running speed ( $P < 0.001$ ).

**Keywords:** *trail, trail running, running, endurance, ascent, descent*

**Введение.** Трейлраннинг (ТР) – сложный вид спорта, в связи с чем составить прогноз результатов спортсменов, соревнующихся в этом виде, непросто. По сравнению с бегом на дорожке стадиона или по шоссе ТР является гораздо более сложным испытанием из-за изменяющейся крутизны и различных видов покрытия трассы. В то время как ключевые показатели, влияющие на результат в беге по ровным поверхностям, широко известны, например, величина максимального потребления кислорода (МПК), порог анаэробного обмена и экономичность бега (ЭБ) [14], [15], [18], [24], основные факторы, определяющие результат в трейлраннинге, достоверно не определены. Несмотря на то что влияние изменений крутизны трассы на биомеханические и физиологические реакции было изучено [3], связь между этими параметрами и результатом на дистанции не исследована. Недавно Ehrström et al. (2018) [22] показали, что относительная величина МПК (в зависимости от массы спортсмена) положительно связана с результатом в беге на коротких дистанциях трейлраннинга, в то время как для ЭБ такая зависимость не была найдена.

В трейлраннинге очень важную роль играет сложный, энергетически затратный бег в подъем. Неудивительно, что относительная величина МПК (выраженная в процентах к массе тела) оказалась существенным фактором при анализе бега в подъем как на беговой дорожке, так и на открытой местности [23], [25], поскольку она характеризует верхний предел аэробной мощности по отношению к массе тела. Однако следует отметить, что величина МПК играет значительно меньшую роль при беге под спуск, что было показано как при контрольном беге на местности [25], так и в лабораторных тестах [8], [10], [17], [23]. Интересно, что в этих исследованиях отрицательный наклон не был очень большим (максимальные значения составили -11,7 % на открытом воздухе и -5 % в помещении), но и этого было достаточно, чтобы показать небольшой вклад величины МПК для быстрого бега под спуск. Кроме того, в исследовании по трейлраннингу на технически сложной трассе с более крутыми спусками ни один из бегунов не достиг величины своего МПК, несмотря на то что бежал с максимальным усилием [19]. Однако для бега по местности с постоянно меняющимся рельефом с большими перепадами высот время, затрачиваемое на спуск, является очень важным фактором, влияющим на общий результат.

**Актуальность исследуемой проблемы.** Для успешного финиша спортсменов на дистанции трейлраннинга без угрозы их здоровью очень важно оценить маршрут бега, дать правильный прогноз по времени преодоления исходя из протяженности, рельефа и покрытия трассы, чем обусловлена актуальность настоящего исследования. Чтобы увеличить скорость бега по ровной местности, спортсмены прежде всего стараются увеличить длину шага, а не его частоту [5]. Однако в трейлраннинге задача более многогранна. Бегунам необходимо адаптировать частоту и длину своего шага к различным типам поверхности и меняющейся крутизне [11]. В лабораторных условиях при крутизне -3 % [17] и в гонке на время на местности с участками спуска крутизной от -1,5 до -11,7 % [25] увеличение скорости при беге вниз было связано с большей длиной шага. Следует отметить, что исследование [25] проводили на местности с покрытием в виде плотного грунта и асфальтированных дорожек, что отличается от условий трейловых трасс, где затруднена постановка стопы и контроль над ней.

В тесте на беговой дорожке с постоянной скоростью, при которой потребление кислорода составляет 70 % МПК, при 0 % наклона, увеличение угла наклона приводит к увеличению силы реакции опоры, в то время как длина шага уменьшается [1]. Интересно, что в аналогичном исследовании, в котором также использовалась фиксированная скорость на различных углах наклона, максимальное значение вертикальной составляющей силы во время активной фазы отталкивания оставалось неизменным при беге в гору, по ровной поверхности и под спуск [12].

Увеличение скорости, по-видимому, влияет на изменение величины вертикальной составляющей максимального усилия мышц ног при беге по ровной поверхности [6]. Несмотря на то что более высокие скорости характеризуются меньшим временем контакта с опорой (ВКО) при беге по ровной местности [13], бег на беговой дорожке по ровной поверхности, в гору и под уклон с постоянной скоростью продемонстрировал незначительное влияние крутизны на ВКО [9], [12]. Интересно, что в трейлраннинге ВКО более продолжительное [7]. Однако перенос характеристик бега по ровным поверхностям как на беговых дорожках в лаборатории, так и на открытой местности на трейловый бег следует делать с оговорками, поскольку в ТР часто встречаются крутые и технически сложные склоны.

В настоящей работе были поставлены следующие цели: 1) исследовать такие характеристики бегунов-трейлраннеров, как МПК и ЭБ, и найти их взаимосвязь с результатами соревнований в трейлраннинге; 2) подтвердить гипотезу о том, что бег по крутому спуску имеет определяющее значение для результата в ТР из-за возрастающей сложности поддержания высокой скорости бега с хорошим балансом и контролем для предотвращения падений.

#### Материал и методы исследования.

**Участники.** В исследовании приняли участие 13 бегунов мужского пола. Личный рекорд в беге на шоссе на дистанции 10 км составил для них менее 38 мин (диапазон 33–38 мин). Кроме того, несколько бегунов занимали призовые места в соревнованиях по трейлраннингу межрегионального уровня. Все участники в течение одной недели прошли лабораторные тесты, а также контрольный трейловый бег. Физиологические измерения (определение МПК, ЭБ) были проведены в первый день, а во второй участники выполнили контрольный бег на два круга на дистанции 3524 м (рис. 1). Трасса состояла из трех больших подъемов (бег вверх – ВВ) и спусков (бег вниз – ВН) с общим набором высоты 243 м на каждом круге. В частности, третий и последний подъемы на маршруте состояли из гравийной дорожки с постепенно возрастающим уклоном, а третий спуск начинался с крутого каменистого участка. Трасса имитировала типичные условия для соревнований по трейлраннингу, включая покрытие в виде смеси грязи, гравия, травы на технически сложных подъемах и спусках. Перед контрольной гонкой на время все участники просмотрели дистанцию, чтобы уменьшить потенциальное влияние привыкания к незнакомой трассе на результат [20]. Накануне бегуны выполнили свой обычный предсоревновательный график и пробежали наиболее важные участки трассы в комфортном для себя темпе. Все испытуемые воздерживались от серьезных физических нагрузок и употребления алкоголя в течение 24 ч как перед лабораторными тестами (табл. 1), так и перед контрольным забегом.

Таблица 1

Параметры испытуемых и данные лабораторных исследований

Параметр	Показатель
Возраст, лет	29 ± 4
Рост, см	183 ± 5
Масса тела, кг	71,9 ± 5,6
Максимальное потребление кислорода (МПК), л × мин <sup>-1</sup>	4,90 ± 0,64
Относительное МПК, л × кг <sup>-1</sup> × мин <sup>-1</sup>	68,1 ± 5,8
Вертикальная составляющая скорости, м × с <sup>-1</sup>	0,42 ± 0,04
Экономичность бега (ЭБ), мл × кг <sup>-1</sup> × км <sup>-1</sup>	210 ± 15
Экономичность бега (ЭБ), Дж × кг <sup>-1</sup> × м <sup>-1</sup>	4,31 ± 0,42

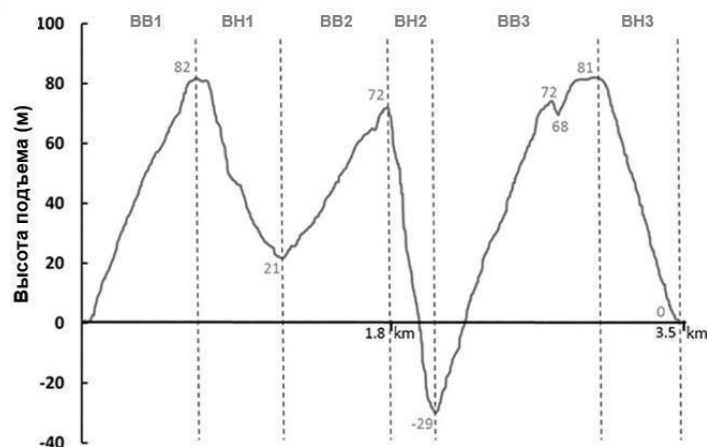


Рис. 1. Схематическое изображение трассы контрольного бега и ее отдельных участков вверх (BB) и вниз (BH)

**Потребление кислорода.** МПК и ЭБ измеряли с помощью портативной метаболической тележки MetaMax3B\_R2. Спортсменам надевали маску подходящего размера, которая закрывала рот и нос (маска V2™ серии 7450, Hans Rudolph Inc., Шони, США). Перед всеми тестами датчики кислорода ( $O_2$ ) и углекислого газа ( $CO_2$ ) газоанализатора были откалиброваны с использованием процедуры двух калибровок с условиями окружающего воздуха (20,93 %  $O_2$  и 0,03 %  $CO_2$ ) и ожидаемым процентом выдыхаемого газа с использованием калибровочного газа, содержащего 15 %  $O_2$  и 5%  $CO_2$  (UN 1950 Aerosols, Cortex Biophysik GmbH, Лейпциг, Германия).

**Экономичность бега.** Потребление кислорода и энергозатраты как показатели ЭБ определяли при тесте на беговой дорожке (RL3000, Rodby, Innovation AB, Vänge, Швеция) с субмаксимальной рабочей нагрузкой, заданной на уровне 14 км/ч, с градиентом  $1^\circ$  продолжительностью 5 мин. Скорость движения дорожки была значительно меньше, чем личные рекорды испытуемых на дистанции 10 км, и соответствовала коэффициенту дыхательного обмена (КДО)  $< 1,0$ . ЭБ выражена в виде потребления кислорода или удельного расхода энергии ( $E_{cost}$ ), измеряемых в  $мл \times кг^{-1} \times км^{-1}$  и  $Дж \times кг^{-1} \times м^{-1}$  соответственно. Кислородная стоимость в беге на килограмм веса спортсмена за единицу расстояния определялась как произведение объема потребляемого кислорода  $VO_2$ , выраженного в  $мл \times кг^{-1} \times мин^{-1}$ , и скорости бега, выраженной в  $мин \times км^{-1}$ :

$$O_{2\ cost} = VO_2 \times V.$$

Скорость метаболизма  $E_{exp}$  рассчитывали по формуле Вейра, ккал/мин:

$$E_{exp} = 1,1 \times КДО + 3,9 \times VO_2,$$

где КДО – коэффициент дыхательного обмена;  $VO_2$  – потребление кислорода, л/мин.

Для расчета удельного расхода энергии  $E_{cost}$  единица измерения  $E_{exp}$  была преобразована из ккал в Дж и поделена на массу тела ( $m$ ) и скорость бега ( $v$ ), выраженную в м/мин.

$$E_{cost} = (4186 \times E_{exp} \times m^{-1}) \times v^{-1}.$$

Тест для определения МПК проводили вместе с тестом ЭБ после 10-минутного перерыва. Участники бежали на той же скорости, что и в тесте на ЭБ, но при этом наклон дорожки увеличивался на  $1^\circ$  в минуту до отказа продолжать бег. Для подтверждения достижения максимума усилия должен был быть подтвержден один из двух критериев: 1) достижение плато в значении МПК, определяемое как увеличение  $< 150$  мл/мин; 2) КДО  $> 1,10$ .

Вертикальная составляющая скорости рассчитывалась во время теста МПК как, м/с:

$$V_{vert} = v \times \sin a,$$

где  $v$  – скорость движения беговой дорожки,  $a$  – наклон беговой дорожки, град.

Взаимосвязь между результатами в гонке трейлраннинга и данными, полученными как в лабораторных, так и полевых тестах, оценивали с помощью коэффициентов корреляции Пирсона. Пошаговая множественная линейная регрессия использовалась для прогнозирования вклада времени пробегания отдельных участков на общий результат. Для статистической значимости значение  $\alpha$  априори было установлено равным  $< 0,05$ . Результаты представлены в виде средних значений  $\pm$  стандартные отклонения.

#### Результаты исследования и их обсуждение.

**Параметры, влияющие на итоговый результат.** Общее время прохождения всей дистанции контрольной гонки трейлраннинга составило  $40 \text{ м } 48 \text{ с} \pm 4 \text{ м } 04 \text{ с}$ . В лабораторных исследованиях было установлено, что величинами, влияющими на результат, являются: МПК ( $r = -0,71$ ,  $P = 0,005$  для  $\text{л} \times \text{мин}^{-1}$  и  $r = -0,82$ ,  $P < 0,001$  для  $\text{мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{мин}^{-1}$ ) и вертикальная составляющая скорости бега в подъем  $V_{vert}$  ( $r = -0,85$ ,  $P < 0,001$ ), в то время как ЭБ, выраженная в  $\text{мл} \times \text{кг}^{-1} \times \text{км}^{-1}$  ( $r = -0,16$ ,  $P = 0,60$ ) или  $\text{Дж} \times \text{кг}^{-1} \times \text{м}^{-1}$  ( $r = 0,07$ ,  $P = 0,83$ ), влияния не оказывала (рис. 2).

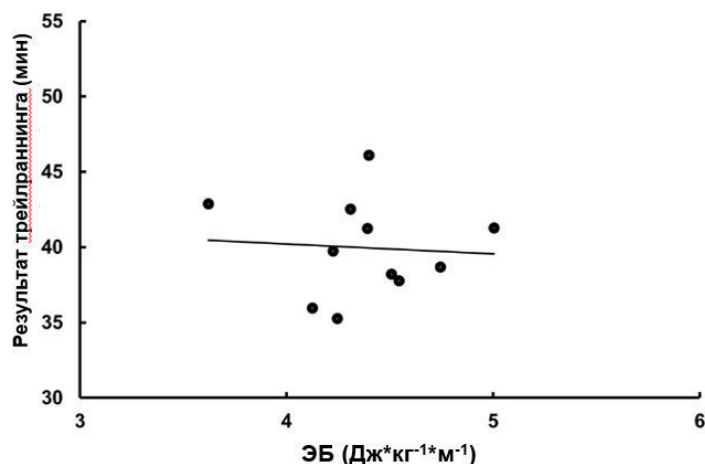


Рис. 2. Взаимосвязь между экономичностью бега и результатом в гонке трейлраннинга

**Показатели на различных участках трассы трейла.** Анализ результатов испытуемых в контрольном беге показал ухудшение времени преодоления второго круга на  $88 \pm 37 \text{ с}$  ( $19 \text{ м } 40 \text{ с} \pm 1 \text{ м } 57 \text{ с}$  против  $21 \text{ м } 08 \text{ с} \pm 2 \text{ м } 09 \text{ с}$ ;  $P < 0,001$ ;  $CI = -109$  до  $-67 \text{ с}$ ,  $g = 0,71$ ). На отдельных участках бегового круга потеря времени зависела от характера местности ( $P < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,614$ ), причем наибольшая потеря времени наблюдалась на трех участках подъема (бега вверх – ВВ), за которыми следуют спуски (бег вниз) (ВН), ВН2 и ВН1 ( $P < 0,001$ , табл. 2). На последнем спуске (ВН3) разницы во времени между первым и вторым кругами отмечено не было. Не было и различий между тремя участками ВВ в отношении изменения разницы во времени между первым и вторым кругами ( $ВВ1 = 29,0 \pm 18,5 \text{ с}$ ,  $ВВ2 = 18,9 \pm 7,5 \text{ с}$ ,  $ВВ3 = 19,7 \pm 14,2 \text{ с}$ ,  $P > 0,05$ , табл. 2). Время прохождения участков ВВ составило  $54,4$  и  $56,0$  % общего времени на первом и втором кругах соответственно. Показатели между бегунами больше всего различались на участках ВН, что объясняется более высоким коэффициентом вариации КВ (табл. 2). Самые большие значения КВ наблюдали в наиболее технически сложной части ВН3; более 20 % как на первом, так и на втором

кругах. Модель пошаговой множественной регрессии показала, что значимость влияния этих участков на общий результат можно представить в следующем порядке: ВВ2 ( $P < 0,001$ ), ВН2 ( $P = 0,009$ ) и ВВ1 ( $P = 0,018$ ) со скорректированным  $R^2$ , равным 0,976.

Результат в данной контрольной гонке можно представить в виде формулы

$$T_{\text{сумм}} = 44,251 + (6,42 \times T_{\text{ВВ2}}) + (6,00 \times T_{\text{ВН2}}) + (2,44 \times T_{\text{ВВ1}}).$$

Таблица 2

Время пробегания различных участков трассы на кругах 1 и 2

Параметр	ВВ1	ВН1	ВВ2	ВН2	ВВ3	ВВ3 (плоская часть)	ВН3 (камени- стая часть)	ВН3 (средняя часть и финиш)
Время круга 1, с	205 ± 20	129 ± 15	211 ± 23	92 ± 13	246 ± 31	25 ± 2	12 ± 4	116 ± 16
КВ, %	10	11	11	14	12	9	33	14
Время круга 2, с	233 ± 24	136 ± 14	230 ± 26	100 ± 16	266 ± 34	26 ± 3	12 ± 3	114 ± 13
КВ, %	10	11	11	16	13	11	25	11

**Обсуждение.** Основные результаты исследования показывают, что индивидуальные потери времени между первым и вторым кругами были больше на участках ВВ, в то время как самые большие различия между бегунами были на участках ВН. Абсолютные и относительные значения МПК коррелировали с итоговым результатом, в то время как зависимости от значения ЭБ выявлено не было.

Бегунам было предложено пробежать дистанцию как можно быстрее в режиме контрольного бега. Исследование показало, что темп бега у всех спортсменов был быстрее на первом круге, чем на втором. При анализе отдельных участков трассы более высокий результат на первом круге наблюдался только на первых четырех контрольных точках (первые два участка ВВ и ВН), время на третьем ВВ, который был участком с гравием, и в начале последнего ВН, который был технически сложным каменистым участком, между кругами почти не различалось. Вероятно, бегуны испытали высокий уровень физической нагрузки на этих участках, однако на последнем вязком ВН и последующем более плоском конце участка ВВ3 у них не было отмечено снижения скорости на втором круге относительно первого. Единственным участком, который пробежали быстрее на втором круге, был последний ВН. В целом такой тип темпа на дистанции определяется как стратегия с быстрым началом, снижением скорости в середине и ускорением в заключительной части [2]. Ранее было показано, что расклад сил по дистанции у быстрых бегунов по пересеченной местности отличается от слабо подготовленных бегунов. Медленные бегуны продемонстрировали снижение скорости, в то время как лучшие бегуны использовали равномерный темп [21]. В текущем исследовании спортсмены в основном демонстрировали именно тактику с быстрым началом, ровным темпом в середине и ускорением на финише. Кроме того, наиболее значимыми участками для достижения наилучшего результата являются наименее технически сложные участки ВВ и самые крутые участки ВН. Данный анализ интересен тем, что дает представление о том, что бегуны высокого уровня с меньшими навыками в трейлраннинге, но с высоким относительным МПК могут хорошо выступать на несложных трассах. Однако, поскольку самая крутая часть участков ВН требует отличных навыков прохождения спуска [4], элитные бегуны-трейлраннеры могут наверстать время с меньшими усилиями из-за того, что потребление кислорода на спуске не так велико. Будущие исследования должны доказать такую возможность.

Протокол бега под гору может представлять интерес для изучения способности бегуна выдерживать мышечную усталость и преодолевать болезненные ощущения в мышцах ног. Можно сказать, что лабораторные данные, принципиальные для тестирования трейлраннеров, должны включать измерение относительного и абсолютного значений МПК и вертикальной составляющей скорости бега.

**Выводы.** Абсолютные и относительные значения МПК у бегуна тесно связаны с результатами в трейлраннинге, причем относительные значения МПК коррелировали несколько сильнее, чем абсолютные значения. Несмотря на выявленную связь величины относительного МПК и результата в беге по пересеченной местности [22], важность абсолютного значения МПК на сегодняшний день изучена не до конца. Возможно, сильная связь между абсолютным и относительным значениями МПК и результатом может быть задачей изучения именно для трейлраннинга.

В данном исследовании не было обнаружено взаимосвязи между ЭБ, определенной в лаборатории, выраженной в виде энергозатрат или потребления кислорода, и результатом в трейлраннинге.

Важность грамотного прохождения спуска очевидна по двум причинам. Время прохождения самого технически сложного, но довольно короткого участка с неровной поверхностью имело очень высокий коэффициент вариации внутри группы испытуемых (30 %). Данная внутригрупповая вариация во многом аналогична выводам А. Кау [16], который показал большую величину стандартного отклонения во времени прохождения сложных спусков бегунами. Другим ключевым фактором достижения высокого результата является умение увеличивать скорость во время очень крутого спуска, что и было показано путем множественного регрессионного анализа. Кроме того, при беге по крутому спуску величина МПК не имеет большого значения, поскольку она не достигается при беге в таком режиме [23], [25]. Более того, протокол бега под гору может представлять интерес для изучения способности бегуна выдерживать мышечную усталость и преодолевать болезненные ощущения в мышцах ног. Можно сделать вывод, что лабораторные данные, принципиальные для тестирования трейлраннеров, должны включать измерение относительного и абсолютного значений МПК и вертикальной составляющей скорости бега.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A paradigm of uphill running / J. Padulo, D. Powell, R. Milia, L. P. Ardigo // *PLoS One*. – 2013. – Jul. 10. – № 8(7):e69006.
2. *Abbiss C. R., Laursen P. B.* Describing and understanding pacing strategies during athletic competition // *Sports Med.* – 2008. – № 38. – P. 239–252.
3. Biomechanics and physiology of uphill and downhill running / G. Vernillo, M. Giandolini, W. B. Edwards et al. // *Sports Med.* – 2017. – № 47. – P. 615–629.
4. *Breiner T. J., Ortiz A. L. R., Kram R.* Level, uphill and downhill running economy values are strongly inter-correlated // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2018. – № 119. – P. 257–264.
5. *Cavanagh P. R., Kram R.* Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and added mass effects // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1989. – № 21. – P. 467–479.
6. Comparison of plantar pressure distribution in adolescent runners at low vs. high running velocity / F. Fourchet, L. Kelly, C. Horobeanu et al. // *Gait Posture*. – 2012. – № 35. – P. 685–687.
7. Effects of the Etna uphill ultramarathon on energy cost and mechanics of running / S. Lazzer, D. Salvadego, P. Taboga et al. // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2015. – № 10(2). – P. 238–247.
8. Efficacy of downhill running training for improving muscular and aerobic performances / J. Toyomura, H. Mori, K. Tayashiki et al. // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* – 2018. – № 43. – P. 403–410.
9. Energy cost and kinematics of level, uphill and downhill running: fatigue-induced changes after a mountain ultramarathon / G. Vernillo, A. Savoldelli, A. Zignoli et al. // *J. Sports Sci.* – 2015. – № 33. – P. 1998–2005.
10. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes / A. E. Minetti, C. Moia, G. S. Roi et al. // *J. Appl. Physiol.* – 2002. – № 93. – P. 1039–1046.
11. Foot strike pattern and impact continuous measurements during a trail running race: proof of concept in a world-class athlete / M. Giandolini, S. Pavallier, P. Samozino et al. // *Footw. Sci.* – 2015. – № 7. – P. 127–137.

12. *Gottschall J. S., Kram R.* Ground reaction forces during downhill and uphill running // *J. Biomech.* – 2005. – № 38. – P. 445–452.
13. *Hasegawa H., Yamauchi T., Kraemer W. J.* Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon // *J. Strength Cond. Res.* – 2007. – № 21. – P. 888–893.
14. *Jones A. M.* A five year physiological case study of an olympic runner // *Br. J. Sports Med.* – 1998. – № 32. – P. 39–43.
15. *Joyner M. J.* Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors // *J. Appl. Physiol.* – 1991. – № 70. – P. 683–687.
16. *Kay A.* Importance of descending skill for performance in fell races: a statistical analysis of race results // *J. Quant. Anal. Sports.* – 2014. – № 10. – P. 173–181.
17. *Liefeldt G., Noakes T. D., Dennis S. C.* Oxygen delivery does not limit peak running speed during incremental downhill running to exhaustion // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* – 1992. – № 64. – P. 493–496.
18. *Midgley A. W., Mc Naughton L. R., Wilkinson M.* The relationship between the lactate turnpoint and the time at VO<sub>2</sub>max during a constant velocity run to exhaustion // *Int. J. Sports Med.* – 2006. – № 27. – P. 278–282.
19. Near-infrared spectroscopy: more accurate than heart rate for monitoring intensity in running in hilly terrain / *D. P. Born, T. Stöggl, M. Swarén, G. Björklund* // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2017. – № 12. – P. 440–447.
20. Reproducibility of performance and fatigue in trail running / *C. S. Easthope, K. Nosaka, C. Caillaud et al.* // *J. Sci. Med. Sports.* – 2014. – № 17. – P. 207–211.
21. Running world cross-country championships: a unique model for pacing / *J. Esteve-Lanao, E. Larumbe-Zabala, A. Dabab et al.* // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2014. – № 9. – P. 1000–1005.
22. Short trail running race: beyond the classic model for endurance running performance / *S. Ehrström, M. P. Tartaruga, C. S. Easthope et al.* // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2018. – № 50. – P. 580–588.
23. *Staab J. S., Agnew J. W., Siconolfi S. F.* Metabolic and performance responses to uphill and downhill running in distance runners // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1992. – № 24. – P. 124–127.
24. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO<sub>2</sub>max among well-trained male runners / *D. W. Morgan, F. D. Baldini, P. E. Martin, W. M. Kohrt* // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1989. – № 21. – P. 78–83.
25. *Townshend A. D., Worringham C. J., Stewart I. B.* Spontaneous pacing during overground hill running // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2010. – № 42. – P. 160–169.

Статья поступила в редакцию 18.04.2022

The article was contributed on April 18, 2022

#### **Сведения об авторе**

*Камышный Вадим Алексеевич* – преподаватель кафедры базовых физкультурно-спортивных дисциплин Московского государственного областного университета, г. Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0086-3530>, [dinkniga@rambler.ru](mailto:dinkniga@rambler.ru)

#### **Author Information**

*Kamyshny, Vadim Alekseevich* – Lecturer, Department of Basic Physical Culture and Sports Disciplines, Moscow State Region University, Moscow, <https://orcid.org/0000-0002-0086-3530>, [dinkniga@rambler.ru](mailto:dinkniga@rambler.ru)