

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПРИ НАГРУЗОЧНОМ ТЕСТИРОВАНИИ НА ТРЕДБАНЕ И ВЕЛОЭРГОМЕТРЕ

М.С. Головин¹, golovin593@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8573-856X>
Р.И. Айзман^{1,2}, aizman.roman@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7776-4768>

¹Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель исследования: сравнение функциональных и биохимических показателей одних и тех же спортсменов при максимальном нагрузочном тестировании на тредбане и велоэргометре. **Материалы и методы.** При ступенчатой нагрузке на тредбане (ТТ) и велоэргометре (ВЭМ) у одних и тех же обследуемых – 12 здоровых юношей в возрасте 17–23 лет, занимающихся легкой атлетикой (бег на средние дистанции), изучались функциональные и биохимические показатели: частота сердечных сокращений (ЧСС), порог анаэробного обмена (ПАНО), скорость восстановительных процессов, концентрации лактата и глюкозы в крови. **Результаты.** При нагрузке на ТТ выявлены достоверно более высокая ЧСС_{тах}, ЧСС_{ПАНО}, концентрация глюкозы в крови. Показатели лактата в крови были выше при ВЭМ. В восстановительном периоде концентрация лактата практически не снижалась после ВЭМ нагрузки и незначительно после ТТ, что свидетельствует о недостаточности 10-минутного периода восстановления для утилизации лактата и глюкозы и нормализации углеводного гомеостаза. **Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о различии основных функциональных и биохимических показателей на уровне порога анаэробного обмена и при отказе от физической нагрузки при разных видах нагрузочного тестирования. Показана необходимость использования персонализированного подхода при оценке и интерпретации функциональных и биохимических показателей после физических нагрузок.

Ключевые слова: лактат, глюкоза, порог анаэробного обмена, гликолиз, легкая атлетика, восстановление, физическая работоспособность

Для цитирования: Головин М.С., Айзман Р.И. Физиологические и биохимические показатели, характеризующие физическую работоспособность при нагрузочном тестировании на тредбане и велоэргометре // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № 1. С. 14–21. DOI: 10.14529/hsm220102

Original article
DOI: 10.14529/hsm220102

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF PHYSICAL PERFORMANCE DURING EXERCISE TEST (TREADMILL AND BICYCLE ERGOMETER)

M.S. Golovin¹, golovin593@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8573-856X>
R.I. Aizman^{1,2}, aizman.roman@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7776-4768>

¹Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim. The paper aims to compare the data of functional and biochemical indicators of the same athletes during treadmill and bicycle ergometer exercise tests. **Materials and methods.** Twelve apparently healthy males aged 17–23 years involved in middle-distance running participated in the study. Treadmill and bicycle ergometer exercise tests with stepwise loading were used for the purpose of the study. Functional and biochemical indicators were assessed, including heart rate (HR), anaerobic threshold (AT), speed of recovery, serum lactate and glucose. **Results.** The treadmill exercise test was associated with significantly

higher HR_{max}, HR_{AT}, and serum glucose values. Serum lactate was higher during bicycle ergometer test. In the recovery period, serum lactate remained almost unchanged after bicycle ergometer exercise and insignificantly reduced after treadmill exercise, which confirmed the shortage of a 10-minute recovery period for normalizing serum lactate and glucose and carbohydrate homeostasis. **Conclusion.** The results obtained confirm the differences between functional and biochemical indicators at anaerobic threshold and peak exercise of different exercise tests. The assessment and interpretation of functional and biochemical indicators after exercise tests require an individual approach.

Keywords: lactate, glucose, anaerobic threshold, glycolysis, middle-distance running, recovery, exercise performance

For citation: Golovin M.S., Aizman R.I. Physiological and biochemical indicators of physical performance during exercise test (treadmill and bicycle ergometer). *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(1):14–21. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm220102

Введение. Оценка аэробных возможностей организма обычно проводится в тесте с возрастающей до отказа физической нагрузкой [11]. Важнейшими показателями уровня физической работоспособности и функциональных резервов спортсменов являются пороги аэробного (ПАО) и анаэробного обмена (ПАНО), частота сердечных сокращений, концентрации лактата и глюкозы в крови [1, 21]. На основе полученных данных выстраиваются индивидуальные пульсовые зоны мощности, которые используют для составления персональной программы занятий.

Вместе с тем продолжают споры о критериях выбора физических нагрузок специфического и неспецифического характера при определении функциональных резервов основных лимитирующих систем организма спортсменов и спортивном отборе [5, 19]. Нет единой точки зрения на уровень активности физиологических систем при различных методах тестирования, в частности, велоэргометрическом и тредмил-тестировании [19]. Не определены критерии и возможности переноса положительных и отрицательных эффектов адаптации организма к физическим нагрузкам, полученным при разных методах тестирования [9].

В доступной нам литературе мы нашли лишь единичные работы, в которых одновременно изучали динамику глюкозы и лактата во время и после возрастающих физических нагрузок, их взаимосвязь при нагрузках разной интенсивности [16, 21]. Наконец, в большинстве исследований разные тестирования выполнялись на разных выборках испытуемых, а не на одних и тех же людях, что снижает точность и информативность исследовательских данных [12].

В этой связи целью настоящего исследования явилось сравнение функциональных и

биохимических показателей одних и тех же спортсменов при тестировании на тредбане и велоэргометре.

Материалы и методы. В подготовительном периоде подготовки обследовано 12 здоровых юношей в возрасте 17–23 лет, занимающихся легкой атлетикой (бег на 1500–3000 м, 1-й спортивный разряд и разряд кандидата в мастера спорта) со следующими показателями физического развития: МТ = 65,6 ± 2,3 кг; ДТ = 176,8 ± 2,5 см; общий жир = 13,2 ± 0,9 %; внутренний жир = 2,5 ± 0,4 % [3, 7, 10, 19].

Для оценки аэробной и анаэробной работоспособности каждый спортсмен выполнял два теста с возрастающей нагрузкой: 1) тредмил-тест (ТТ) и 2) велоэргометрический тест (ВЭМ). Тесты проводили в разные дни (через 5–7 дней) с использованием ступенчатого протокола. Перед началом основной части исследования были проведены пилотные тестирования для определения индивидуальных порогов аэробного и анаэробного обмена. Критерием для определения пульсовых зон мощности была концентрация лактата в крови: низкоинтенсивная – до 2 ммоль/л; аэробная – от 2 до 3 ммоль/л; смешанная – от 3 до 4 ммоль/л; анаэробная – более 4 ммоль/л [13, 17, 22]. Значения ЧСС начальной нагрузки при ТТ не превышали 120 уд./мин, при ВЭМ – не более 100 уд./мин. Длительность выполнения обоих тестов была сопоставима по времени.

Тредмил-тест выполняли на беговой дорожке (Spirit Fitness XT 685 AC, Hastings, США), угол наклона один градус, с постоянным увеличением скорости на 1 км/ч каждые 3 мин до достижения спортсменом максимальной зоны мощности и отказа продолжать бег. После каждого 3-минутного отрезка у спортсменов в течение 10 с забирали капиллярную кровь из пальца. Непрерывную регистрацию ЧСС производили с помощью мони-

тора активности сердечного ритма (пульсометра Polar Vantage V с нагрудным датчиком H10, Финляндия). После отказа выполнять текущую нагрузку скорость тредбана понижали до индивидуального уровня низкоинтенсивного бега. На данном этапе тестирования забор крови и регистрацию ЧСС проводили на 5-й и 10-й минутах для оценки скорости восстановительных процессов.

ВЭМ тест проводили на электромагнитном велоэргометре (Lode Corival, Нидерланды). Градиент нарастания мощности составлял 25 Вт через 3 мин, частоту педалирования в диапазоне 60–80 об/мин испытуемые выбирали произвольно. Критерием отказа от выполнения работы было снижение частоты педалирования ниже 50 об/мин [6]. После отказа выполнять нагрузку мощность педалирования понижали до индивидуального уровня низкоинтенсивной зоны мощности.

Каждые три минуты и сразу после отказа от работы забирали капиллярную кровь (20 мкл) из пальца для определения концен-

трации лактата и глюкозы. Измерение лактата и глюкозы выполняли на автоматическом анализаторе глюкозы и лактата (Super GL Ambulance, Германия). Основным критерием определения ПАНО был выбран стандарт концентрации лактата в крови 4 ммоль/л [12, 15].

Результаты обработаны с использованием программных пакетов Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0 for Windows. Для выявления значимости различий показателей между группами использовали параметрический критерий t-Стьюдента и непараметрический критерий Т-Вилкоксона для сравнения двух зависимых групп при уровне значимости $p \leq 0,05$ [4].

Результаты и их обсуждение. Показатели ЧСС легкоатлетов в состоянии покоя свидетельствовали о наличии умеренной брадикардии (табл. 1), которая отражает активацию вагусных влияний и указывает на повышение экономичности хронотропной функции сердца [2].

Достоверно более высокая ЧСС_{max} при отказе от физической нагрузки и более высо-

Таблица 1
Table 1

Физиологические и биохимические показатели спортсменов-легкоатлетов при выполнении нагрузочного теста на ТТ и ВЭМ
Physiological and biochemical indicators of athletes during treadmill (T) and bicycle ergometer (BE) exercise tests

| Показатели / Parameter | ТТ / T | ВЭМ / BE |
|--|--------------|---------------|
| ЧСС _{покой} , уд./мин / Resting HR, bpm | 51,6 ± 2,8 | 50,2 ± 2,8 |
| ЧСС _{ПАНО} , уд./мин / HR _{AT} , bpm | 179 ± 1,8 | 149 ± 3,2* |
| ЧСС _{max} , уд./мин / HR _{max} , bpm | 189 ± 2,2 | 180 ± 2,9* |
| Прирост ЧСС _{ПАНО} /ЧСС _{покой} , раз / Increase in HR _{AT} / resting HR, times | 3,47 | 2,97 |
| ЧСС _{ПАНО} , % от ЧСС _{max} / HR _{AT} , % of HR _{max} | 94,7 % | 82,7 % |
| Глюкоза покой, ммоль/л / Resting glucose, mmol/l | 4,51 ± 0,20 | 4,73 ± 0,17 |
| Глюкоза на ЧСС _{ПАНО} , ммоль/л / Glucose at HR _{AT} , mmol/l | 4,92 ± 0,20 | 4,67 ± 0,12 |
| Глюкоза max, ммоль/л / Glucose max, mmol/l | 5,38 ± 0,24# | 4,64 ± 0,15* |
| Глюкоза на 5 мин восст-я, ммоль/л Glucose after a 5-minute recovery period, mmol/l | 7,20 ± 0,3# | 6,13 ± 0,2*# |
| Глюкоза на 10 мин восст-я, ммоль/л Glucose after a 10-minute recovery period, mmol/l | 6,88 ± 0,29 | 5,63 ± 0,23*# |
| Финальная концентрация лактата, ммоль/л Final serum lactate, mmol/l | 9,85 ± 0,82 | 12,25 ± 0,95* |
| Лактат на 5 мин восст-я, ммоль/л Lactate after a 5-minute recovery period, mmol/l | 8,95 ± 0,78 | 12,20 ± 1,21* |
| Лактат на 10 мин восст-я, ммоль/л Lactate after a 10-minute recovery period, mmol/l | 7,06 ± 0,60 | 10,47 ± 1,17* |
| Скорость на ЧСС _{ПАНО} , км/ч / Speed at HR _{AT} , km/h | 16,65 ± 0,36 | |
| Мощность на ЧСС _{ПАНО} , Вт / Power at HR _{AT} , W | | 183 ± 10,1 |

Примечание. Достоверность различий результатов между ТТ и ВЭМ: * $p < 0,05$; достоверность различий концентрации глюкозы между состоянием покоя и нагрузкой: # $p < 0,05$.

Note. Differences are significant between T and BE at * $p < 0.05$; differences are significant between resting glucose and during exercise at # $p < 0.05$.

кие значения ЧСС_{ПАНО} выявлены у спортсменов при ТТ, чем при ВЭМ (см. табл. 1), что может свидетельствовать о большей степени нагрузки на сердце при беге [19].

Рассматривая величину лактата как маркер мышечного утомления, можно предположить, что при достижении ПАНО в разных тестах отмечалось относительное соответствие метаболических сдвигов в организме, тогда как хронотропная функция сердечной деятельности, которая также является маркером утомления, существенно отличалась [6, 21]. Показатели некоторых переменных при ВЭМ (ЧСС, систолический и минутный объем крови и т. д.) часто ниже этих же показателей на тредбане [6]. Это может быть обусловлено менее эффективным венозным возвратом, меньшим количеством мышц, участвующих в работе при ВЭМ, чем при беге.

Известно, что при ВЭМ происходит более существенное, чем при беге, мышечное напряжение, приводящее к частичному нарушению местного кровотока и снижению транспорта кислорода [21, 23].

Учитывая высокую индивидуальную вариабельность показателей ЧСС_{ПАНО}, мы проанализировали эти значения у одних и тех же спортсменов при выполнении разных тестов (табл. 2). У двух спортсменов отличия ЧСС_{ПАНО} были менее 20 уд./мин, у четырех – от 21 до 30 уд./мин, у пяти – от 31 до 40, у одного – более 40 уд./мин. Это подчеркивает необхо-

димость учета данных индивидуальных особенностей в спортивной практике.

Относительная величина ЧСС_{ПАНО} (% от ЧСС_{max}) при ТТ была также существенно выше, чем при ВЭМ. В спортивной физиологии установлено, что у хорошо подготовленных спортсменов, развивающих качество выносливости, величина ЧСС_{ПАНО} редко опускается менее 80 % от ЧСС_{max}, а ЧСС на уровне МПК – менее 90 % от ЧСС_{max} [18].

При увеличении скорости бега на тредбане до уровня ЧСС_{ПАНО} наблюдалось повышение концентрации глюкозы в крови, продолжавшееся при дальнейшем увеличении скорости и отказе от максимальной физической нагрузки (см. табл. 1). На этапе восстановления выявлен дальнейший рост концентрации глюкозы к 5-й минуте и лишь незначительное понижение к 10-й минуте.

При ВЭМ тестировании не наблюдалось изменений концентрации глюкозы в крови при физической нагрузке. Однако в восстановительном периоде динамика изменений схожа с тредмил-тестированием (хотя и в меньшей степени). В обоих тестах уровень глюкозы через 10 минут после завершения нагрузки не возвращался до первоначальных значений. Несмотря на более высокие показатели ЧСС_{max} и концентрации глюкозы в крови при ТТ, ВЭМ нагрузка привела к достоверно более высокому увеличению концентрации лактата в крови, чем ТТ.

Таблица 2
Table 2Показатели ЧСС_{ПАНО} при выполнении нагрузочного теста на ТТ и ВЭМ
HR_{AT} values during treadmill (T) and bicycle ergometer (BE) exercise tests

| № | ЧСС _{ПАНО} ТТ, уд./мин HR _{AT} (T), bpm | ЧСС _{max} при ТТ, уд./мин HR _{max} (T), bpm | ЧСС _{ПАНО} ВЭМ, уд./мин HR _{AT} (BE), bpm | ЧСС _{max} при ВЭМ, уд./мин HR _{max} (BE), bpm | Δ (ЧСС _{ПАНО} ТТ – ЧСС _{ПАНО} ВЭМ), уд./мин Δ (HR _{AT} (T) – HR _{AT} (BE)), bpm | Δ (ЧСС _{ТТmax} – ЧСС _{ВЭМmax}), уд./мин Δ (HR _{max} (T) – HR _{max} (BE)), bpm |
|----|---|--|--|--|--|---|
| 1 | 170 | 178 | 135 | 174 | 35 | 4 |
| 2 | 175 | 185 | 149 | 178 | 26 | 7 |
| 3 | 176 | 182 | 147 | 160 | 29 | 22 |
| 4 | 184 | 194 | 137 | 190 | 47 | 4 |
| 5 | 177 | 180 | 139 | 180 | 38 | 0 |
| 6 | 191 | 193 | 169 | 182 | 22 | 11 |
| 7 | 176 | 193 | 142 | 185 | 34 | 8 |
| 8 | 188 | 203 | 162 | 189 | 26 | 14 |
| 9 | 179 | 185 | 145 | 168 | 34 | 17 |
| 19 | 180 | 193 | 145 | 182 | 35 | 11 |
| 11 | 175 | 190 | 156 | 180 | 19 | 10 |
| 12 | 177 | 195 | 157 | 194 | 20 | 1 |

Совместное определение глюкозы и лактата при разных уровнях интенсивности физических нагрузок является практически важным для точности оценки ПАНО, определения баланса расходования и потребности в энергии, а также для рекомендаций по выбору оптимальной длительности и интенсивности физической нагрузки [9, 12, 13, 20]. Сниженные запасы гликогена, вызванные низкокалорийной диетой или истощающими нагрузками, могут существенно снижать производство лактата, что может стать причиной ошибочной оценки хорошего функционального состояния на основании ПАНО и ПАО.

В восстановительном периоде после ВЭМ показатели лактата практически не снижались. После ТТ снижение концентрации лактата было более выражено, что может указывать на лучшую его утилизацию организмом. Известно, что во время низкоинтенсивной физической работы содержащийся в крови лактат утилизируется работающими мышцами, а также печенью, сердцем и другими органами [14]. Анализ динамики восстановления после физических нагрузок является одним из ключевых факторов оценки эффективности подготовки спортсмена [1, 8].

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о различии основных функциональных и биохимических показателей (ЧСС, концентрация глюкозы, финальная концентрация лактата) на уровне ПАНО и при от-

казе от нагрузки при разных видах нагрузочно-го тестирования. Так, выявлена достоверно более высокая концентрация глюкозы в крови и ЧСС при разных уровнях интенсивности бега на ТТ, что может характеризовать большую степень нагрузки на сердечную функцию.

В то же время более высокая финальная концентрация лактата обнаружена при ВЭМ, что может быть связано с меньшим количеством активно работающих мышц, более высоким их напряжением и менее эффективным венозным возвратом.

После 10 мин восстановительного периода в обоих тестах показатели лактата и глюкозы не восстановились до их уровня в состоянии покоя, хотя после ТТ отмечалась более высокая скорость утилизации лактата, чем после ВЭМ.

При определении физиологических реакций организма на физическую нагрузку очень важен сбор анамнеза, информация о питании и физических нагрузках в предшествующие тестированию дни, оценка соответствия режима тестирования типу физической деятельности, привычной для испытуемого. Поэтому важным условием выбора теста для оценки физической работоспособности и функциональных возможностей организма является использование нагрузок, при которых должна быть задействована большая мышечная масса, а также специфичность теста для спортсменов данной специализации.

Список литературы

1. Гаврилова, Е.А. *Вариабельность ритма сердца и спорт* / Е.А. Гаврилова // *Физиология человека*. – 2016. – Т. 42. – № 5. – С. 121–129.
2. Головин, М.С. *Аудиовизуальная стимуляция влияет на физическую работоспособность, биохимический и гормональный статус спортсменов* / М.С. Головин, Р.И. Айзман // *Бюл. эксперимент. биологии и медицины*. – 2016. – Т. 161, № 5. – С. 576–580.
3. Исаев, А.П. *Анализ главных компонент интегративной деятельности организма бегунов на средние дистанции* / А.П. Исаев, В.В. Эрлих, В.И. Заляпин // *Теория и практика физ. культуры*. – 2015. – № 8. – С. 27–29.
4. Перевозкина, Ю.М. *Основы математической статистики в психолого-педагогических исследованиях: учеб. пособие* / Ю.М. Перевозкина, С.Б. Перевозкин. – Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. – Ч. 2. – 242 с.
5. Разумов, А.Н. *«Перекрестная адаптация» и законы «переноса тренированности»* / А.Н. Разумов, С.Е. Павлов, А.С. Павлов // *Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта*. – 2016. – Т. 11, № 3. – С. 42–52.
6. *Финальная концентрация лактата в крови в тесте с возрастающей нагрузкой и аэробная работоспособность* / Д.В. Попов, С.С. Миссина, Ю.С. Лемешева и др. // *Физиология человека*. – 2010. – Т. 36, № 3. – С. 102–109.
7. *Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners* / C. Sánchez Muñoz, J.J. Muros, Ó. López Belmonte et al. // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2020. – Vol. 17 (2). – E 674. DOI: 10.3390/ijerph17020674

8. Barnes, K.R. *Running economy: measurement, norms and determining factors* / K.R. Barnes, A.E. Kilding // *Sports Med. Open*. – 2015. – Dec. – Vol. 1 (1). – P. 8. DOI: 10.1186/s40798-015-0007-y
9. *Blood glucose minimum predicts maximal lactate steady state on running* / R.C. Sotero, E. Pardo, R. Landwehr et al. // *Int. J. Sports Med.* – 2009. – Vol. 30 (9). – P. 643–646. DOI: 10.1055/s-0029-1220729
10. Cheng, A.J. *Intramuscular mechanisms of overtraining* / A.J. Cheng, B. Jude, J.T. Lanner // *Redox Biol.* – 2020. – Vol. 26. – P. 101480. DOI: 10.1016/j.redox.2020.101480
11. *Evaluation of a graded exercise test to determine peak fat oxidation in individuals with low cardiorespiratory fitness* / O.J. Chrzanowski-Smith, R.M. Edinburgh, J.A. Betts, et al. // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* – 2018. – Vol. 43 (12). – P. 1288–1297. DOI: 10.1139/apnm-2018-0098
12. Faude, O. *Lactate threshold concepts: how valid are they?* / O. Faude, W. Kindermann, T. Meyer // *Sports Med.* – 2009. – Vol. 39 (6). – P. 469–490. DOI: 10.2165/00007256-200939060-00003
13. Garcia-Tabar, I. *Considerations regarding Maximal Lactate Steady State determination before redefining the gold-standard* / I. Garcia-Tabar, E.M. Gorostiaga // *Physiol. Rep.* – 2019. – Vol. 7 (22). – e14292. DOI: 10.14814/phy2.14293
14. *Hepatic lactate uptake versus leg lactate output during exercise in humans* / H.B. Nielsen, M.A. Febbraio, P. Ott et al. // *J. Appl. Physiol.* – 2007. – Vol. 103. – P. 1227–1233.
15. Jones, A.M. *The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness* / A.M. Jones, H. Carter // *Sports Med.* – 2000. – Vol. 29 (6). – P. 373–386.
16. *Lactate and glucose minimum speeds and running performance* / L.F. Ribeiro, P.C. Malachias, P.B. Junior et al. // *J. Sci. Med. Sport.* – 2004. – Vol. 7 (1). – P. 123–127. DOI: 10.1016/s1440-2440(04)80051-3
17. *Lactate: Friend or Foe* / M. Hall, S. Rajasekaran, T.W. Thomsen, et al. // *PM R.* – 2016. – Vol. 8 (3). – P. 8–15. DOI: 10.1016/j.pmrj.2015.10.018
18. Lundby, C. *Did you know-why does maximal oxygen uptake increase in humans following endurance exercise training?* / C. Lundby, D. Montero // *Acta Physiol. (Oxf)*. – 2019. – Vol. 227 (4). – e13371. DOI: 10.1111/apha.13371
19. Millet, G.P. *Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes* / G.P. Millet, V.E. Vleck, D.J. Bentley // *Sports Med.* – 2009. – Vol. 39 (3). – P. 179. DOI: 10.2165/00007256-200939030-00002
20. Ørtenblad, N. *Muscle glycogen and cell function-Location, location, location* / N. Ørtenblad, J. Nielsen // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2015. – Vol. 25 (4). – P. 34–40.
21. *Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison* / H. Carter, A.M. Jones, T.J. Barstow, et al. // *J. Appl. Physiol.* – 2000. – Vol. 89 (3). – P. 899–907. DOI: 10.1152/jappl.2000.89.3.899
22. *Repeatability and predictive value of lactate threshold concepts in endurance sports* / J.A.A.C. Heuberger, P. Gal, F.E. Stuurman, et al. // *PLoS One.* – 2018. – Vol. 13 (11). – e0206846. DOI: 10.1371/journal.pone.0206846
23. *Sport-Specific Capacity to Use Elastic Energy in the Patellar and Achilles Tendons of Elite Athletes* / H.P. Wiesinger, F. Rieder, A. Kösters, et al. // *Front. Physiol.* – 2017. – Vol. 8. – P. 132. DOI: 10.3389/fphys.2017.00132

References

1. Gavrilova E.A. [Heart Rate Variability and Sports]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2016, vol. 42, no. 5, pp. 571–578. (in Russ.) DOI: 10.1134/S036211971605008X
2. Golovin M.S., Aizman R.I. [Audiovisual Stimulation Modulates Physical Performance and Biochemical and Hormonal Status of Athletes]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i mediciny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine], 2016, vol. 161, no. 5, pp. 638–642. (in Russ.) DOI: 10.1007/s10517-016-3474-3
3. Isaev A.P., Erlikh V.V., Zalyapin V.I. [Analysis of Principal Components of Integrative Activity of Body of Middle Distance Runners]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2015, no. 8, pp. 27–29. (in Russ.)

4. Perevozkina Y.M., Perevozkin S.B. *Osnovy matematicheskoy statistiki v psihologo-pedagogicheskikh issledovaniyah: uchebnoe posobie* [Fundamentals of Mathematical Statistics in Psychological and Pedagogical Research]. Novosibirsk, 2014, part 2, 242 p.
5. Razumov A.N., Pavlov S.E. [Cross Adaptation and the Laws of Training Level Transfer]. *Pedagogiko-psihologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kul'tury i sporta* [The Russian Journal of Physical Education and Sport], 2016, vol. 11, no. 3, pp. 42–52. (in Russ.)
6. Popov D.V., Missina S.S., Lemesheva Y.S. et al. [Final Blood Lactate Concentration after Incremental Test and Aerobic Performance]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2010, vol. 36, no. 3, pp. 335–341. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0362119710030138
7. Sánchez Muñoz C., Muros J.J., López Belmonte Ó. et al. Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Male Young Runners. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17 (2), e 674. DOI: 10.3390/ijerph17020674
8. Barnes K.R., Kilding A.E. Running Economy: Measurement, Norms and Determining Factors. *Sports Med. Open*, 2015, vol. 1 (1), p. 8. DOI: 10.1186/s40798-015-0007-y
9. Sotero R.C., Pardono E., Landwehr R. et al. Blood Glucose Minimum Predicts Maximal Lactate Steady State on Running. *Int. J. Sports Med*, 2009, vol. 30 (9), pp. 643–646. DOI: 10.1055/s-0029-1220729
10. Cheng A.J., Jude B., Lanner J.T. Intramuscular Mechanisms of Overtraining. *Redox Biol*, 2020, vol. 26, p. 101480. DOI: 10.1016/j.redox.2020.101480
11. Chrzanowski-Smith O.J., Edinburgh R.M., Betts J.A. et al. Evaluation of a Graded Exercise Test to Determine Peak Fat Oxidation in Individuals with Low Cardiorespiratory Fitness. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*, 2018, vol. 43 (12), pp. 1288–1297. DOI: 10.1139/apnm-2018-0098
12. Faude O., Kindermann W., Meyer T. Lactate Threshold Concepts: how valid are they? *Sports Med*, 2009, vol. 39 (6), p. 469–490. DOI: 10.2165/00007256-200939060-00003
13. Garcia-Tabar I., Gorostiaga E.M. Considerations Regarding Maximal Lactate Steady State Determination Before Redefining the Gold-Standard. *Physiol. Rep*, 2019, vol. 7 (22), e14292. DOI: 10.14814/phy2.14293
14. Nielsen H.B., Febbraio M.A., Ott P. et al. Hepatic Lactate Uptake Versus Leg Lactate Output During Exercise in Humans. *Appl. Physiol*, 2007, vol. 103, pp. 1227–1233. DOI: 10.1152/jappphysiol.00027.2007
15. Jones A.M., Carter H. The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Sports Med*, 2000, vol. 29 (6), pp. 373–386. DOI: 10.2165/00007256-200029060-00001
16. Ribeiro L.F., Malachias P.C., Junior P.B. et al. Lactate and Glucose Minimum Speeds and Running Performance. *J. Sci. Med. Sport*, 2004, vol. 7 (1), pp. 123–127. DOI: 10.1016/s1440-2440(04)80051-3
17. Hall M., Rajasekaran S., Thomsen T.W. et al. Lactate: Friend or Foe. *PM R*, 2016, vol. 8 (3), pp. 8–15. DOI: 10.1016/j.pmrj.2015.10.018
18. Lundby C., Montero D. Did you know-why Does Maximal Oxygen Uptake Increase in Humans Following Endurance Exercise Training? *Acta Physiol. (Oxf)*, 2019, vol. 227 (4), e13371. DOI: 10.1111/apha.13371
19. Millet G.P., Vleck V.E., Bentley D.J. Physiological Differences Between Cycling and Running: Lessons from Triathletes. *Sports Med*, 2009, vol. 39 (3), p. 179. DOI: 10.2165/00007256-200939030-00002
20. Ørtenblad N., Nielsen J. Muscle Glycogen and Cell Function-Location, Location, Location. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2015, vol. 25 (4), pp. 34–40. DOI: 10.1111/sms.12599
21. Carter H., Jones A.M., Barstow T.J. et al. Oxygen Uptake Kinetics in Treadmill Running and Cycle Ergometry: a Comparison. *J. Appl. Physiol*, 2000, vol. 89 (3), pp. 899–907. DOI: 10.1152/jappl.2000.89.3.899
22. Heuberger J.A.A.C., Gal P., Stuurman F.E. et al. Repeatability and Predictive Value of Lactate Threshold Concepts in Endurance Sports. *PLoS One*, 2018, vol. 13 (11), e0206846. DOI: 10.1371/journal.pone.0206846
23. Wiesinger H.P., Rieder F., Kösters A. et al. Sport-Specific Capacity to Use Elastic Energy in the Patellar and Achilles Tendons of Elite Athletes. *Front. Physiol*, 2017, vol. 8, p. 132. DOI: 10.3389/fphys.2017.00132

Информация об авторах

Головин Михаил Сергеевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, Новосибирский государственный педагогический университет. Россия, 630126, Новосибирск, ул. Вилюйская, д. 28.

Айзман Роман Иделевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, Новосибирский государственный педагогический университет. Россия, 630126, Новосибирск, ул. Вилюйская, д. 28; научный сотрудник научно-исследовательского центра спортивной науки Института спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет. Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, д. 76.

Information about the authors

Mikhail S. Golovin, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Anatomy, Physiology, Health and Safety, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia.

Roman I. Aizman, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Anatomy, Physiology, Health and Safety, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk; Researcher, Research Center for Sports Science, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 16.10.2021

The article was submitted 16.10.2021