

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СКОРОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ЖИРА С ПОКАЗАТЕЛЯМИ АЭРОБНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ У ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ

А.Ю. Людина¹, И.О. Гарнов¹, Е.А. Бушманова¹, А.В. Нутрихин², Е.Р. Бойко¹

¹Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,

²Государственное автономное учреждение Республики Коми «Центр спортивной подготовки сборных команд», г. Сыктывкар, Россия

Цель исследования: определить уровень аэробной работоспособности, рассчитанной через скорость окисления жиров (СОЖ) у лыжников-гонщиков при выполнении велоэргометрического теста, выполняемого «до отказа». **Материалы и методы.** В общеподготовительный период обследованы 24 высококвалифицированных лыжника-гонщика различной спортивной квалификации. При велоэргометрическом тестировании «до отказа» на эргоспирометрической системе Oхуson Pro определяли СОЖ методом непрямой калориметрии. **Результаты.** У высококвалифицированных лыжников (мастера спорта) максимальная (= пиковая) СОЖ составила 0,77 г/мин, соответствуя диапазону 40–60 % от максимального потребления кислорода (МПК) и высокому уровню аэробной работоспособности (АР). У спортсменов квалификации – кандидаты в мастера спорта – пиковая СОЖ в среднем составила 0,53 г/мин, соответствуя среднему уровню АР. Показана прямая корреляционная связь между параметром максимальной СОЖ и показателями потребления кислорода на пороге анаэробного обмена (ПК ПАНО) ($R_s = 0,568$; $p = 0,003$); ватт-пульс на ПАНО ($R_s = 0,594$; $p = 0,002$); МПК ($R_s = 0,390$; $p = 0,054$), что свидетельствует о диагностической значимости определения АР через показатель СОЖ. **Заключение.** Показатель пиковой СОЖ характеризует уровень аэробной работоспособности и может быть использован в оценке функционального состояния спортсменов при планировании тренировочного процесса и профилактики утомления.

Ключевые слова: скорость окисления жиров, лыжники-гонщики, аэробная работоспособность, максимальное потребление кислорода, спортивная квалификация.

Введение. Проблема повышения АР в видах спорта на выносливость актуальна и активно обсуждается [3, 12, 13, 16]. Важными показателями физической работоспособности считаются МПК, ПК ПАНО [16], мощность выполненной нагрузки, которые имеют высокую степень корреляции с результатом в соревновательный период и также являются валидными маркерами тестирования аэробной производительности [2]. Аэробная работоспособность (АР) – способность выполнять высокоинтенсивную физическую нагрузку, энергообеспечение которой осуществляется преимущественно аэробным путем [2] и зависит от кислородно-транспортной системы и способности скелетных мышц к окислению углеводов и жиров [19]. Степень вовлечения того или иного энергетического субстрата в энергообмен зависит от питания, содержания гликогена в мышцах, интенсивности и длитель-

ности ФН, уровня спортивной квалификации [12, 13, 17]. В последние годы возрос интерес к изучению механизмов утилизации жиров [12, 13, 17, 19], поскольку источники эндогенного гликогена строго ограничены при интенсивных физических нагрузках (ФН) [7]. Исследования показывают, что любой метод увеличения СОЖ может сэкономить потребление гликогена и, в свою очередь, повысить выносливость [6, 10, 15], что актуализирует значимость определения уровня аэробной работоспособности, рассчитанной через СОЖ.

Материалы и методы исследования. В общеподготовительный период тренировок обследовано 24 лыжника-гонщика (спортивная квалификация – 13 КМС и 11 МС), из них действующие члены сборной команды региона ($n = 21$) и сборной РФ ($n = 3$). Антропометрические показатели исследуемой группы оценивали общепринятыми методами.

Средний возраст спортсменов – $22,8 \pm 4,2$ года, масса тела – $72,7 \pm 4,6$ кг, длина тела – $178,0 \pm 4,2$ см, ИМТ – $23,0 \pm 0,1$, процентное содержание жира – $10,5 \pm 4,9$ %, МПК/кг – $59,7 \pm 6,9$ мл/мин/кг.

Исследование одобрено локальным комитетом по биоэтике ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Обследование проводили в первой половине дня, с предварительным информированным согласием на участие. Функциональное состояние организма лыжников-гонщиков и показатели СОЖ оценивали с помощью теста для определения МПК, выполняемого «до отказа», с использованием эргоспирометрической системы Oxycon Pro в режиме breath-by-breath (Erich Jaeger, Германия), как описано ранее [4]. СОЖ представлена в абсолютных значениях (г/мин) и по отношению к МПК%, и рассчитана с помощью разработанной компьютерной программы (Свидетельство ГР № 2019613060 от 06.03.2019). Уровень АР, оцениваемой через СОЖ, рассчитан согласно литературе [10]: низкая (СОЖ < 0,37 г/мин), средняя (СОЖ 0,37–0,69 г/мин) и высокая (СОЖ > 0,69 г/мин).

Данные обработаны в программе Statistica (версия 6.0, StatSoftInc, 2001). Результаты представлены в виде $M \pm SD$. Значимость различий между показателями оценивали с по-

мощью непараметрических критериев Манна-Уитни и Фридмана. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Корреляционный анализ проводили по Спирмену.

Результаты и их обсуждение. Физиологические показатели при максимальном велоэргометрическом тестировании представлены в таблице.

Исследование продемонстрировало значимое увеличение показателей системы кровообращения на ПАНО и на пике нагрузки относительно покоя перед тестом. Так, ЧСС повысилась на 33 и 39 %, а САД – на 59 и 71 % соответственно. Показатель эффективности легочной вентиляции – КИО₂ на ПАНО повысился на 26 % (с $32,1 \pm 3,5$ до $40,5 \pm 4,8$ мл/л) вместе с ПК ПАНО и ПК пик на 97 и 129 % соответственно. Известно, что с повышением интенсивности физической нагрузки до ПАНО отмечается повышение эффективности легочной вентиляции и ПК у спортсменов, развивающих выносливость [1, 4, 16]. Эффективным механизмом обеспечения функциональных систем кислородом является увеличение сердечного выброса и прироста ЧСС [1]. Остальные показатели имели разнонаправленные тенденции и находились в рамках референсных значений.

Полученные нами данные по СОЖ лыж-

Физиологические характеристики лыжников-гонщиков во время велоэргометрического тестирования ($M \pm SD$)
Physiological characteristics of ski-racers during the cycle ergometer test ($M \pm SD$)

Физиологические показатели Physiological indicator	Лыжники-гонщики Ski-racers
Покой сидя / Sitting at rest	
Частота сердечных сокращений, уд./мин / Heart rate, bpm	$59,9 \pm 8,6$ ***
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mmHg	$112,5 \pm 12,4$ ***
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mmHg	$77,1 \pm 7,0$
Потребление кислорода, мл/мин/кг / Oxygen consumption, ml/min/kg	$4,6 \pm 0,8$ ***
Порог анаэробного обмена / Anaerobic threshold	
Частота сердечных сокращений, уд./мин / Heart rate, bpm	$153,6 \pm 14,8$ *** ###
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mmHg	$158,0 \pm 14,7$ ###
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mmHg	$73,6 \pm 11,4$
Потребление кислорода, мл/мин/кг / Oxygen consumption, ml/min/kg	$45,9 \pm 3,9$ ###
Ватт-пульс, Вт/уд. / Watt pulse, w/beat	$1,7 \pm 0,3$
Пик нагрузки / Peak load	
Частота сердечных сокращений, уд./мин / Heart rate, bpm	$181,4 \pm 14,2$
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mmHg	$190,8 \pm 13,6$
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mmHg	$75,1 \pm 15,3$
Потребление кислорода, мл/мин/кг / Oxygen consumption, ml/min/kg	$59,7 \pm 6,9$
Ватт-пульс, Вт/уд. / Watt pulse, w/beat	$1,9 \pm 0,2$

Примечание. *** – $p < 0,05$ изменения достоверны относительно покоя и ПАНО; ### – $p < 0,05$ изменения достоверны относительно покоя и пика нагрузки.

Note. *** – $p < 0.05$ changes are significant for sitting at rest and anaerobic threshold; ### – $p < 0.05$ changes are significant for sitting at rest and peak load.

ников-гонщиков разной спортивной квалификации представлены на рис. 1.

У высокотренированных лыжников-гонщиков (группа МС) СОЖ в покое сидя составляла $0,17 \pm 0,05$ г/мин, а у тренированных (группа КМС) – $0,14 \pm 0,07$ г/мин ($p = 0,025$). В группу МС вошли 7 человек с высокой расчетной АР и 4 лыжника со средней АР. Максимальное окисление жиров у КМС наблюдалось в среднем при 40 % от МПК и составило $0,53$ г/мин, что сопоставимо с данными по окислению жиров среди спортсменов циклических видов спорта [13, 19]. Средний показатель пикового окисления жира в группе МС составил $0,77 \pm 0,16$ г/мин, варьируя среди обследуемых от $0,45$ до $0,93$ г/мин, при этом максимальная СОЖ наблюдалась в диапазоне 40–60 % от МПК. Установлено, что СОЖ зависит от уровня сытости, вида спорта, степени тренированности спортсмена, доли жировой массы, возраста и пола [9, 13, 19]. Тем не менее интенсивность ФН является главным фактором, отвечающим за утилизацию жиров и углеводов [5, 17]. Низкая и умеренная интенсивность ФН сопряжена с увеличением окисления жирных кислот (ЖК) в 5–10 раз относительно уровня покоя, достигая макси-

муму при интенсивности нагрузки около 65 % от МПК [8]. Возможным механизмом ингибирования окисления ЖК при нагрузках максимальной мощности является низкая обеспеченность свободным карнитином, уменьшение внутриклеточного рН и снижение активности карнитин-пальмитоил-трансферазы I и, соответственно, транспорта длинноцепочечных ЖК в митохондрии, что и ведет к снижению СОЖ [8].

Лыжники-гонщики МС по сравнению с КМС показывали более высокую пиковую СОЖ ($p = 0,01$) и более длительное удержание этой скорости в ходе нагрузки, что говорит в пользу их более высокой АР по сравнению с КМС. Так, у отдельных спортсменов пиковое СОЖ достигало значений более $0,50$ г/мин при 80–90 % от МПК. Тренировка выносливости ассоциирована с увеличением содержания внутримышечных триглицеридов, количества и размера митохондрий в скелетных мышцах, повышением активности ферментов цитратсинтетазы и гидроксиацетил-СоА-дегидрогеназы [6]. Таким образом, считается, что высоко тренированные спортсмены имеют повышенный потенциал утилизации жира [9].

В настоящее время наиболее валидным

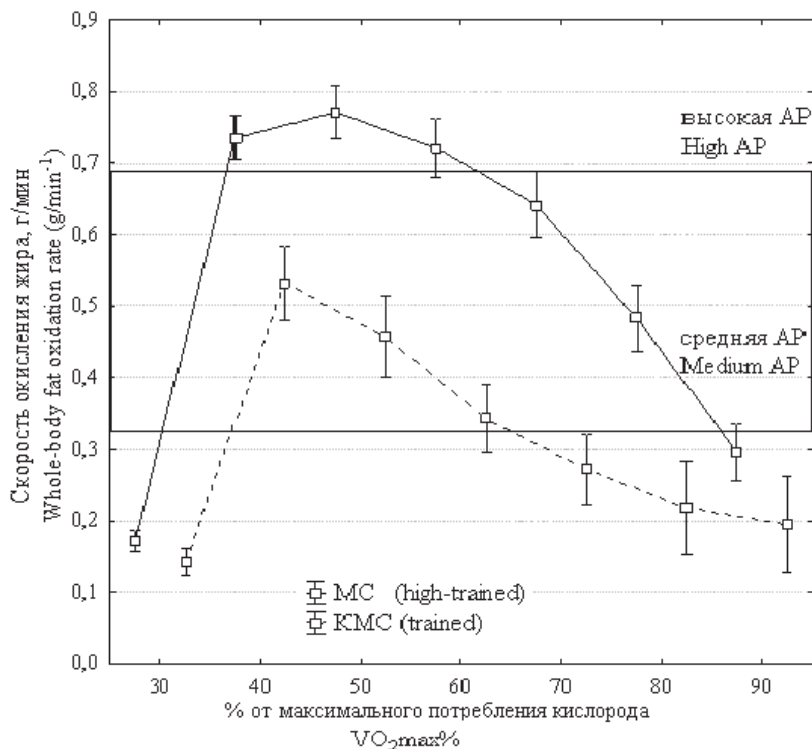


Рис. 1. Скорость окисления жиров в организме лыжников-гонщиков разной спортивной квалификации в зависимости от уровня аэробной работоспособности: АР – аэробная работоспособность

Fig. 1. Fat oxidation rate ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$) in ski-racers of different qualification depending on the level of aerobic performance: AP – aerobic performance

параметром, характеризующим АР, считается МПК. В то же время неоднократно показано, что спортивный результат на длинных дистанциях зависит от мощности, развиваемой на уровне ПАНО [2, 4]. Связь СОЖ с ФН и АР отражена в ряде исследований [11, 14, 18]. Важность связи СОЖ и физической работоспособности изучена не полностью. Так, не найдена связь между пиковым окислением жира и окислительной способностью мышц, но есть корреляция как с мышечной массой тела, так и с МПК [14], о чем сообщалось ранее [18]. Недавнее исследование 64 триатлонистов выявило корреляцию между соревновательной скоростью с МПК и СОЖ [11].

Средний показатель МПК у лыжников-гонщиков в группе с высокой АР составил $4589,3 \pm 435,5$ мл/мин ($p = 0,049$), в то время как в группе спортсменов со средней АР – $4120,8 \pm 606,0$ мл/мин (рис. 2).

Экономичность двигательных действий отражает показатель ватт-пульс, характеризующий степень напряжения вегетативного обеспечения, отнесенного к единице выполненной работы, и имеющий тесную взаимосвязь с АР и соревновательной деятельностью [4, 16].

Значение ватт-пульс ПАНО в группе с высокой АР составило $1,91 \pm 0,29$ в сравнении с показателем в группе со средней АР – $1,62 \pm 0,29$ ($p = 0,030$) (рис. 3).

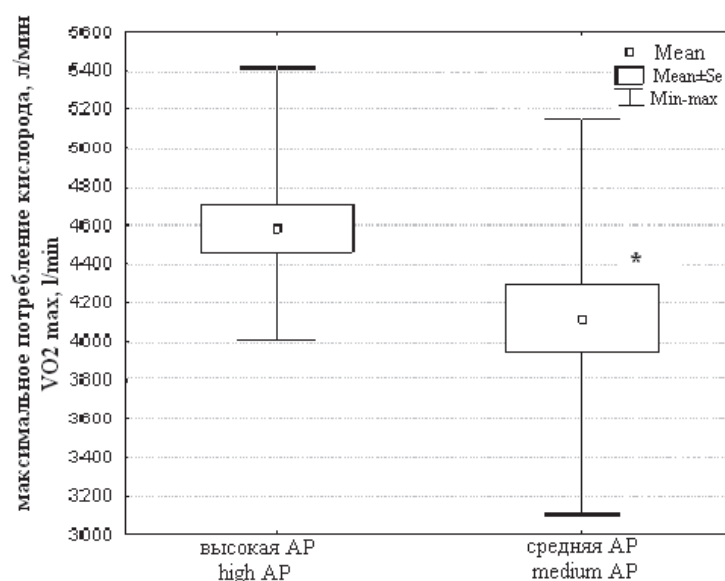


Рис. 2. Уровень МПК у лыжников-гонщиков в зависимости от величины аэробной работоспособности, * – $p < 0,05$

Fig. 2. VO_2 max in ski-racers depending on aerobic performance, * – $p < 0.05$

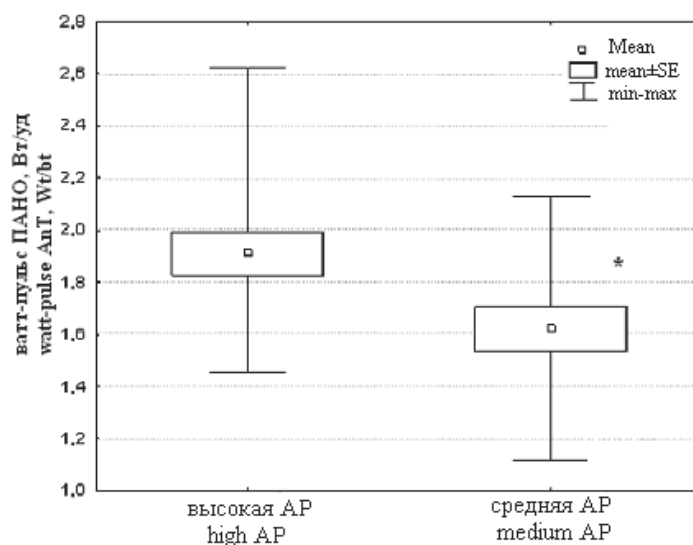


Рис. 3. Значение показателя ватт-пульс ПАНО у лыжников-гонщиков в зависимости от уровня аэробной работоспособности, * – $p < 0,05$

Fig. 3. Watt-pulse AT in ski-racers depending on aerobic performance, * – $p < 0.05$

Нами найдена прямая корреляционная связь между $COЖ_{max}$ и показателем ПК ПАНО ($R_s = 0,568$; $p = 0,003$); ватт-пульс ПАНО ($R_s = 0,594$; $p = 0,002$) и МПК & $COЖ_{max}$ – ($R_s = 0,390$; $p = 0,054$). В целом значимо более высокие значения МПК и ватт-пульс ПАНО в группе лыжников с высокой АР и вышеописанные корреляционные связи свидетельствуют о диагностической значимости определения АР через $COЖ$.

На сегодняшний день очень мало работ о том, какие именно ЖК участвуют в окислении жиров при физической нагрузке и соответственно повышают АР, также остается открытым вопрос о том, что происходит с метаболизмом ЖК после ПАНО [9], свидетельствуя о перспективности и актуальности подобных исследований.

Выводы. Значение максимальной скорости окисления жиров у высококвалифицированных лыжников-гонщиков составило $0,77 \pm 0,16$ г/мин, соответствуя диапазону 40–60 % от МПК. Уровень спортивного мастерства ассоциирован с более высокой пиковой $COЖ$ и длительным ее удержанием до нагрузки 80–90 % от МПК. Прямая корреляционная связь между $COЖ_{max}$ и показателями ПК ПАНО, ватт-пульс ПАНО и МПК свидетельствуют о диагностической значимости определения АР через $COЖ$. Включение в общий протокол оценки функционального состояния спортсменов показателей $COЖ$ позволит получать наиболее объективную информацию об уровне АР спортсмена, а также быстро и целенаправленно проводить коррекцию тренировочного процесса и восстановление спортсменов в подготовительный и особенно соревновательный периоды.

Работа выполнена по Программам ФНИ на 2017–2020 гг. (№ ГР АААА-А17-117012310157-7) и Президиума РАН на 2018–2020 гг. (№ ГР АААА-А18-118012290367-6).

Литература

1. Ванюшин, Ю.С. Диагностика функционального состояния спортсменов по показателям кардиореспираторной системы / Ю.С. Ванюшин, Р.Р. Хайруллин, Д.Е. Елистратов // Вестник ЧГУУ им. И.Я. Яковлева. – 2017. – № 1 (93). – С. 12–17.

2. Попов, Д.В. Аэробная работоспособность: роль доставки кислорода, его утилизации и активации гликолиза / Д.В. Попов,

О.Л. Виноградова // Успехи физиологических наук. – 2012. – № 1. – С. 30–47.

3. Физиологическая адаптация к большим тренировочным нагрузкам, развивающим выносливость спортсменов / А. Бахарева, А. Исаев, Е. Савиных, Э. Баймухаметова // Человек. Спорт. Медицина. – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 29–33.

4. Физическая работоспособность и стресс-восстановление у лыжников-гонщиков в подготовительный и соревновательный периоды / И.О. Гарнов, А.А. Чалышева, Н.Г. Варламова и др. // Вестник спортивной науки. – 2018. – № 4. – С. 70–75.

5. Achten, J. Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities / J. Achten, A. Jeukendrup // Int. J. Sports. Med. – 2004. – № 25. – P. 32–37. DOI: 10.1055/s-2003-45231

6. Effects of increased fat availability on fat-carbohydrate interaction during prolonged exercise in men / L.M. Odland, G.J. Heigenhauser, D. Wong et al. // J. Am. Physiol. – 1998. – № 274. – P. 894–902. DOI: 10.1152/ajpregu.1998.274.4.R894

7. Hermansen, L. Muscle glycogen during prolonged severe exercise / L. Hermansen, E. Hultman, B. Saltin // Acta Physiol. Scand. – 1967. – № 71. – P. 129–139. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1967.tb03719.x

8. Jeppesen, J. Regulation and limitations to fatty acid oxidation during exercise / J. Jeppesen, B. Kiens // J. Physiol. – 2012. – № 590 (5). – P. 1059–1068. DOI: 10.1113/jphysiol.2011.225011

9. Lyudinina, A.Yu. Priority use of medium-chain fatty acids during high-intensity exercise in cross country skiers / A.Yu. Lyudinina, G.E. Ivanova, E.R. Bojko // J Int Soc Sports Nutr. – 2018. – № 15 (57). – P. 77–82. DOI: 10.1186/s12970-018-0265-4

10. Maunder, Ed. Contextualizing Maximal Fat Oxidation During Exercise: Determinants and Normative Values / Ed. Maunder, D.J. Plews, A.E. Kilding // Front. in Physiol. – 2018. – № 9. – P. 13. DOI: 10.3389/fphys.2018.00599

11. Maximal Fat Oxidation is Related to Performance in an Ironman Triathlon / J. Frandsen, S.D. Vest, S. Larsen et al. // Int J Sports Med. – 2017. – № 38 (13). – P. 975–982. DOI: 10.1055/s-0043-117178

12. Maximal Fat Oxidation Rates in an Athletic Population / R.K. Randell, I. Rollo, T.J. Roberts et al. // Med Sci Sports Exerc. – 2013. – № 6. – P. 145. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001084

13. Noland, R.C. *Exercise and Regulation of Lipid Metabolism* / R.C. Noland // *Prog Mol Biol Transl Sci.* – 2015. – № 7. – P. 36. DOI: 10.1016/bs.pmbts.2015.06.017
14. Nordby, B. *Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity?* / B. Nordby, J.W. Saltin, I. Helge // *Scand J Med Sci Sports.* – 2006. – № 16. – P. 209–214. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2005.00480.x
15. Ørtenblad, N. *Muscle glycogen stores and fatigue* / N. Ørtenblad, H. Westerblad, J. Nielsen // *The J. Physiol.* – 2013. – № 591 (18). – P. 4405–4413. DOI: 10.1113/jphysiol.2013.251629
16. *Seasonal Variations in VO_{2max} , O_2 -Cost, O_2 -Deficit, and Performance in Elite Cross-Country Skiers* / T. Losnegard, H. Myklebust, M. Spencer, J. Hallén // *J. Strength Cond. Res.* – 2013. – № 27. – P. 1780–1790. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31827368f6
17. *Understanding the factors that effect maximal fat oxidation* / T. Purdom, L. Kravitz, K. Dokladny, C. Mermier // *J Int Soc Sports Nutr.* – 2018. – № 15 (3). – P. 1–10. DOI: 10.1186/s12970-018-0207-1
18. *Venables, M. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study* / M. Venables, J. Achten, A. Jeukendrup // *J. Appl. Physiol.* – 2004. – № 98. – P. 160–167. DOI: 10.1152/jappphysiol.00662.2003
19. *Whole-body fat oxidation increases more by prior exercise than overnight fasting in elite endurance athletes* / A.U. Hall, F. Edin, A. Pedersen, K. Madsen // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* – 2016. – № 41 (4). – P. 430–437. DOI: 10.1139/apnm-2015-0452

Людинина Александра Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник группы метаболизма человека Отдела экологической и медицинской физиологии ИФ Коми НЦ УрО РАН. 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50. E-mail: salu_06@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-4849-4735.

Гарнов Игорь Олегович, кандидат биологических наук, научный сотрудник группы кардиореспираторной системы Отдела экологической и медицинской физиологии ИФ Коми НЦ УрО РАН. 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50. E-mail: 566552@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-2604-2773.

Бушманова Екатерина Андреевна, лаборант-исследователь Отдела экологической и медицинской физиологии ИФ Коми НЦ УрО РАН. 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50. E-mail: katerinabushmanova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1896-2879.

Нутрихин Андрей Владимирович, главный тренер по лыжным гонкам сборной команды Республики Коми. ГАУ РК «Центр спортивной подготовки сборных команд». 168220, Республика Коми, Сыктывдинский район, село Выльгорт, ул. Северная, 3а/1. E-mail: nu373@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8862-5712.

Бойко Евгений Рафаилович, доктор медицинских наук, профессор, директор ИФ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50. E-mail: boiko60@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-8027-898X.

Поступила в редакцию 12 февраля 2020 г.

THE RELATIONSHIP BETWEEN FAT OXIDATION RATE AND AEROBIC PERFORMANCE IN SKI-RACERS

A.Yu. Lydinina¹, salu_06@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-4849-4735,

I.O. Garnov¹, 566552@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-2604-2773,

E.A. Bushmanova¹, katerinabushmanova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1896-2879,

A.V. Nutrihin², nu373@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8862-5712,

E.R. Boyko¹, boyko60@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-8027-898X

¹Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation,

²National Team Sports Training Center, Syktyvkar, Russian Federation

Aim. The aim of the article is to determine the level of aerobic performance calculated through the rate of fat oxidation (FOR) in ski-racers during the cycle ergometer VO_{2max} test. **Materials and methods.** Highly skilled ski-racers ($n = 24$, men) were examined in the general training period. The rate of fat oxidation was determined by indirect calorimetry during the cycle ergometer VO_{2max} test using the Oxycon Pro system. **Results.** The maximum rate of fat oxidation (MFO) for highly skilled skiers (Master of sport title) was 0.77 g/min, which corresponded to a range of 40–60 % of the VO_{2max} and a high level of aerobic performance. In athletes with a title of the candidate for Master of sport, MFO averaged 0.53 g/min, which corresponded to average aerobic performance. A direct correlation is shown between MFO and oxygen consumption at anaerobic threshold (AT) ($R_s = 0.568$; $p = 0.003$); watt pulse at AT ($R_s = 0.594$; $p = 0.002$); VO_{2max} ($R_s = 0.390$; $p = 0.054$) that indicates the diagnostic significance of determining aerobic performance through FOR. **Conclusions.** FOR characterizes the level of aerobic performance and can be used in assessing the functional status of athletes when planning training programs and preventing fatigue.

Keywords: fat oxidation rate, ski-racers, aerobic performance, maximum oxygen consumption, sports skills.

References

1. Vanyushin Yu.S., Khayrullin R.R., Elistratov D.E. [Diagnosis of the Functional State of Athletes in Terms of the Cardiorespiratory System]. *Vestnik ChGPU imeni I.Ya. Yakovleva* [Bulletin of CSPU Named after I.Ya. Yakovlev], 2017, no. 1 (93), pp. 12–17. (in Russ.)
2. Popov D.V., Vinogradova O.L. [Aerobic Performance. The Role of Oxygen Delivery, its Utilization and Glycolysis Activation]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* [Successes in Physiological Sciences], 2012, no. 1, pp. 30–47. (in Russ.)
3. Bakhareva A.S., Isaev A.P., Savinykh E.Yu., Baimukhametova E.F. Physiological Adaptation to Huge Endurance Training Loads in Athletes. *Human. Sport. Medicine*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 29–33. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm160105.
4. Garnov I.O., Chalysheva A.A., Varlamova N.G. et al. [Physical Performance and Stress Recovery of Skiers-Racers in the Preparatory and Competitive Periods]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Bulletin of Sports Science], 2018, no. 4, pp. 70–75. (in Russ.)
5. Achten J., Jeukendrup A. Relation Between Plasma Lactate Concentration and Fat Oxidation Rates Over a Wide Range of Exercise Intensities. *Int. J. Sports. Med.*, 2004, no. 25, pp. 32–37. DOI: 10.1055/s-2003-45231
6. Odland L.M., Heigenhauser G.J., Wong D. et al. Effects of Increased Fat Availability on Fat-Carbohydrate Interaction during Prolonged Exercise in Men. *J. Am. Physiol.*, 1998, no. 274, pp. 894–902. DOI: 10.1152/ajpregu.1998.274.4.R894
7. Hermansen L., Hultman E., Saltin B. Muscle Glycogen during Prolonged Severe Exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 1967, no. 71, pp. 129–139. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1967.tb03719.x

8. Jeppesen J., Kiens B. Regulation and Limitations to Fatty Acid Oxidation during Exercise. *J. Physiol.*, 2012, no. 590 (5), pp. 1059–1068. DOI: 10.1113/jphysiol.2011.225011
9. Lyudinina A.Yu., Ivankova G.E., Bojko E.R. Priority Use of Medium-Chain Fatty Acids during High-Intensity Exercise in Cross Country Skiers. *J Int Soc Sports Nutr*, 2018, no. 15 (57), pp. 77–82. DOI: 10.1186/s12970-018-0265-4
10. Maunder Ed., Plews D.J., Kilding A.E. Contextualizing Maximal Fat Oxidation during Exercise: Determinants and Normative Values. *Front. in Physiol.*, 2018, no. 9, 13 p. DOI: 10.3389/fphys.2018.00599
11. Frandsen J., Vest S.D., Larsen S. et al. Maximal Fat Oxidation is Related to Performance in an Ironman Triathlon. *Int J Sports Med*, 2017, no. 38 (13), pp. 975–982. DOI: 10.1055/s-0043-117178
12. Randell R.K., Rollo I., Roberts T.J. et al. Maximal Fat Oxidation Rates in an Athletic Population. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, no. 6, p. 145. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001084
13. Noland R.C. Exercise and Regulation of Lipid Metabolism. *Prog Mol Biol Transl Sci*, 2015, no. 7, p. 36. DOI: 10.1016/bs.pmbts.2015.06.017
14. Nordby B., Saltin J.W., Helge I. Whole-Body Fat Oxidation Determined by Graded Exercise and Indirect Calorimetry: a Role for Muscle Oxidative Capacity? *Scand J Med Sci Sports*, 2006, no. 16, pp. 209–214. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2005.00480.x
15. Ørtenblad N., Westerblad H., Nielsen J. Muscle Glycogen Stores and Fatigue. *The J. Physiol.*, 2013, no. 591 (18), pp. 4405–4413. DOI: 10.1113/jphysiol.2013.251629
16. Losnegard T., Myklebust H., Spencer M., Hallén J. Seasonal Variations in VO₂max, O₂-Cost, O₂-Deficit, and Performance in Elite Cross-Country Skiers. *J. Strength Cond. Res.*, 2013, no. 27, pp. 1780–1790. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31827368f6
17. Purdom T., Kravitz L., Dokladny K., Mermier C. Understanding the Factors that Effect Maximal Fat Oxidation. *J Int Soc Sports Nutr*, 2018, no. 15 (3), pp. 1–10. DOI: 10.1186/s12970-018-0207-1
18. Venables M., Achten J., Jeukendrup A. Determinants of Fat Oxidation During Exercise in Healthy Men and Women: a Cross-Sectional Study. *J. Appl. Physiol.*, 2004, no. 98, pp. 160–167. DOI: 10.1152/jappphysiol.00662.2003
19. Hall A.U., Edin F., Pedersen A., Madsen K. Whole-Body Fat Oxidation Increases More by Prior Exercise Than Overnight Fasting in Elite Endurance Athletes. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 2016, no. 41 (4), pp. 430–437. DOI: 10.1139/apnm-2015-0452

Received 12 February 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Оценка взаимосвязи скорости окисления жира с показателями аэробной работоспособности у лыжников-гонщиков / А.Ю. Людинина, И.О. Гарнов, Е.А. Бушманова и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 5–12. DOI: 10.14529/hsm200101

FOR CITATION

Lyudinina A.Yu., Garnov I.O., Bushmanova E.A., Nutrihin A.V., Boyko E.R. The Relationship between Fat Oxidation Rate and Aerobic Performance in Ski-Racers. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 5–12. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm200101