

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ГРЕБЦОВ-БАЙДАРОЧНИКОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ГОДИЧНЫХ МАКРОЦИКЛОВ 2011 И 2019 ГГ.

**Мороз Е.А.**

Белорусский
государственный
университет
физической культуры

**Шкуматов Л.М.**

канд. биол. наук,
Республиканский
научно-практический
центр спорта

**Шантарович В.В.**

доцент, Заслуженный
тренер БССР, Главный
тренер национальной
команды Республики
Беларусь по гребле
на байдарках и каноэ

В статье представлены результаты количественной оценки анаэробного лактатного и аэробного механизмов энергообеспечения мышечной деятельности при прохождении дистанции 1000 м на гребном эргометре «Dansprint» на подготовительных этапах предолимпийских годовых макроциклов 2011 и 2019 гг. В исследовании принимали участие 16 высококвалифицированных гребцов на байдарках (МСМК), являвшихся членами основного состава национальной команды Республики Беларусь по гребле на байдарках и каноэ. Показано, что емкость и вклад гликолиза в энергетику прохождения дистанции 1000 м у элитных гребцов на байдарках постоянны на протяжении многолетней подготовки. Емкость гликолиза по ресинтезируемому АТФ составляет $1,27 \pm 0,21$ моль. Емкость аэробного окисления – $4,05 \pm 0,39$ моль. Вклад анаэробного гликолиза и окислительного фосфорилирования в энергетику составляет $22,67 \pm 3,29$ и $73,41 \pm 4,97$ % соответственно. Стабильность полученных результатов исследования на подготовительном этапе в различных олимпийских микроциклах указывает на валидность разработанной нами методики определения вклада анаэробного гликолиза в энергообеспечение упражнений на основе биокинетики лактата согласно одночастевой фармакокинетической модели с всасыванием.

Ключевые слова: гликолиз; лактат; гребля; байдарка; энергообеспечение мышечной деятельности; анаэробные возможности; аэробные возможности; тестирование на гребном эргометре.

MUSCULAR ACTIVITY ENERGY SUPPLY IN HIGHLY QUALIFIED ROWERS AT THE INITIAL STAGE OF THE ANNUAL MACROCYCLES 2011 AND 2019

The article presents the results of a quantitative assessment of the anaerobic lactate and aerobic mechanisms of muscle activity energy supply while covering a 1000 m distance on the rowing ergometer “Dansprint” at the preparatory stages of the pre-Olympic annual macrocycles 2011 and 2019. The study involved 16 highly qualified kayak rowers, first choice members of the national team of the Republic of Belarus in kayaking. It has been shown that the capacity and contribution of glycolysis to the energy of covering a 1000 m distance in elite kayak rowers are constant over many years of preparation. The glycolysis capacity of the resynthesized ATP is 1.27 ± 0.21 mol. The aerobic oxidation capacity is $4,05 \pm 0,39$ mol. The contribution of anaerobic glycolysis and oxidative phosphorylation to energy is $22,67 \pm 3,29$ and $73,41 \pm 4,97$ %, respectively. The stability of the results of the study at the preparatory stage in various Olympic microcycles indicates the validity of the developed methodology for determining the anaerobic glycolysis contribution to the energy supply of exercises based on lactate biokinetics according to the single-particle absorption and pharmacokinetic model.

Keywords: glycolysis; lactate; rowing; kayak; energy supply of muscle activity; anaerobic capacity; aerobic capacity; rowing ergometer testing.

Введение. Ведущими факторами, обеспечивающими успех в гребле на байдарках, являются большая мышечная сила и анаэробные возможности в дополнение к аэробной выносливости [1]. В зависимости от дистанции существенно варьирует значение вкладов различных механизмов ресинтеза

АТФ в энергетику упражнения. На дистанции 1000 м доминирует аэробная, а на 200 м – анаэробная системы энергообеспечения. На 500-метровой дистанции вклады обеих систем примерно одинаковы. Поскольку концентрация креатинфосфата в мышцах в 3–4 раза превосходит концентрацию АТФ, объем

мышц, задействованных в локомоции, также влияет на выработку энергии. Алактатный анаэробный механизм энергообеспечения, вероятно, играет определенную роль на участке стартового разгона, хотя его вклад в энергетику всего упражнения невелик [2]. Вклад анаэробного гликолиза в энергетику гребли начинает резко снижаться с увеличением длины дистанции. Окислительное фосфорилирование существенно превосходит другие источники энергии уже на дистанции в 1000 м. Это обусловлено тем, что и креатинфосфатный, и лактатный механизмы, в отличие от окислительного, обладают ограниченной емкостью. Исследование вклада аэробного и анаэробного механизмов в энергообеспечение гребли дает дополнительные сведения для научного обоснования тренировочного процесса [3].

«Прохождение» дистанции на гребном эргометре повторяет физиологические реакции организма спортсмена, выполняющего задание в лодке на открытой воде. При этом не наблюдается различий в потреблении кислорода и динамике концентрации лактата во время работы и в процессе восстановления после нагрузки [4]. Использование тренажера-эргометра «Dansprint» дает возможность количественно определить выполненную гребцами на байдарках механическую работу. Работа на эргометре также позволяет более точно прослеживать динамику изучаемых показателей при проведении одинаковых тестов. Это обусловлено отсутствием не контролируемых факторов (ветра, течений и т. п.), характерных для тестирования на открытой воде.

Вопросы энергетической стоимости и эффективности гребли обычно изучаются на основании определения величины механической работы, потребления кислорода и динамики концентрации лактата после прохождения дистанции [5, 6]. В предыдущих наших работах были определены вклады анаэробного гликолиза и аэробного механизма энергообеспечения при прохождении дистанции 1000 м [7, 8]. В литературе по этому вопросу есть сведения относительно молодых гребцов или гребцов национального уровня [9]. Сведения, относящиеся к спортивной элите, опубликованы в 70–80-х гг. прошлого века [1]. В современной литературе данных по этому вопросу у гребцов на байдарках международного уровня нет, тем более о динамике этих показателей на протяжении нескольких олимпийских циклов. Изложенное свидетельствует об актуальности данной тематики.

Целью нашего исследования являлось определение емкости и вклада гликолитического и окислительного механизмов в энергообеспечение мышечной деятельности при прохождении дистанции 1000 м на тренажере-эргометре «Dansprint» гребцами на байдарках международного уровня.

Методы и организация исследования. В исследовании принимали участие 16 (2 спортсмена в обоих тестах) высококвалифицированных гребцов,

имевших лучшие результаты на К-1, 1000 в пределах 3'28"–3'40". По спортивной классификации Республики Беларусь все мастера спорта международного класса (МСМК). На момент тестирования они являлись членами основного состава национальной команды Республики Беларусь по гребле на байдарках и каноэ. Тестирования проводились с интервалом 8 лет на подготовительных этапах предолимпийских годовых макроциклов (2011 и 2019). Спортсмены выполняли трехступенчатый тест с повышающейся мощностью нагрузки на гребном эргометре «Dansprint». На каждой ступени гребцы «проходили» дистанцию 1000 м. Интервалы отдыха между ступенями составляли 3 минуты.

Для исследования кинетики лактата капиллярную кровь забирали из проколов подушечек дистальных фаланг пальцев. Отбор крови осуществлялся до выполнения тестирования, до начала каждой последующей ступени, 6–10 раз в течение от 1 минуты до 30–62 минут периода восстановления после работы. Время забора крови индивидуально для каждого спортсмена контролировали по секундомеру. Содержание лактата в капиллярной крови определяли электрохимическим методом на анализаторе «BIOSEN» (Германия). В нашей работе для расчетов параметров кинетики лактата использовали концентрацию лактата до третьей ступени задания и во время восстановления после нагрузки.

На основании полученных в ходе исследования величин концентрации лактата до выполнения последней ступени (C_1), максимальной концентрации лактата, зафиксированной в крови ($C_{\max(b)}$), времени достижения максимальной концентрации в сыворотке крови (t_{\max}) были рассчитаны основные фармакокинетические параметры лактата. Это: константа скорости появления лактата в крови (k_a), константа скорости исчезновения лактата из крови (k_d). На основании этих данных методом подбора в программе Exel был рассчитан максимальный прирост концентрации лактата в объеме распределения ($\Delta C_{\max(v)}$). С учетом оценки объема распределения для лактата в организме мужчин гребцов в 0,6 от объема тела было вычислено количество образовавшегося в результате анаэробного гликолиза лактата и соответствующее ему количество АТФ ($n(\text{АТФ})_{\text{gl}}$). Расчеты проведены согласно описанной нами ранее методики определения вклада анаэробного гликолиза в энергообеспечение упражнений на основе биокинетики лактата согласно одночастевой фармакокинетической модели с всасыванием [10].

Исходя из величины механической работы (A) на последней ступени тестирования, КПД использования АТФ в 0,5 и энергии гидролиза АТФ до АДФ в 31 500 кДж/моль вычисляли количество АТФ, необходимое для выполнения упражнения [11].

Для определения аэробных возможностей гребцов на байдарках использовали портативный эргоспирометр CortexMetaMax 3B. Вычислили количество

АТФ, ресинтезированной в процессе окислительно-го фосфорилирования ($n(\text{ATF})_{\text{оф}}$) и вклад аэробного окисления в энергетику прохождения дистанции 1000 м на последней ступени тестирования [7, 8].

Полученные и расчетные данные исследования были обработаны с использованием пакета программ STATISTICA. Показатели были проверены на соответствие закону нормального распределения с применением критерия Шапиро – Уилка. При соответствии всех исследуемых показателей в группе закону нормального распределения использовали параметрические методы описательной статистики. В противном случае – непараметрические методы описательной статистики. У-критерий Манна – Уитни для сопоставления данных тестов, для изучения взаимосвязи между изучаемыми показателями – метод Спирмена. Результаты представлены в виде медианы и интерквартильного размаха, среднего арифметического и стандартного отклонения.

Основная часть. Полученные и расчетные показатели энергообеспечения мышечной деятельности, характеризующие анаэробный гликолиз и окислительное фосфорилирование, представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Энергетические показатели работы, кинетики лактата, газоанализа

Показатели	I тест (n=11)	II тест (n=7)
Работа, Дж	64 274 (60 694–68 984)*	67 931 (66 529–71 813)*
$n(\text{ATF})_{\text{т}}$, моль	5,44 (5,14–5,84)*	5,75 (5,63–6,12)*
$t_{\text{раб}}$, мин	3,80 (3,73–3,90)	3,87 (3,82–3,87)
k_d , мин $^{-1}$	0,025 (0,018–0,027)	0,029 (0,024–0,033)
k_a , мин $^{-1}$	0,230 (0,161–0,322)	0,243 (0,124–0,338)
$t_{1/2}$, мин	28,32 (25,38–38,86)	23,81 (21,06–29,00)
t_{max} , мин	9,25 (5,17–11,00)	5,97 (3,95–10,67)
C_1 , ммоль/л	5,74 (5,07–6,91)	5,85 (5,45–6,26)
$C_{\text{max}(b)}$, ммоль/л	18,34 (16,59–18,82)	17,32 (16,99–17,78)
$\Delta C_{\text{max}(v)}$, ммоль/л	14,99 (12,42–17,09)	17,05 (14,08–18,21)
$V(O_2)_0$, л/мин	0,66 (0,51–0,71)	0,77 (0,55–1,04)
$V(O_2)_{\text{ср}}$, л/мин	5,44 (5,10–5,85)	5,84 (5,18–6,15)
$\Delta K_{\text{ср}}$	1,05 (0,97–1,14)	1,07 (1,04–1,08)
$n(\text{ATF})_{\text{гл}}$, моль	1,19 (1,04–1,46)	1,30 (1,25–1,56)* ²
$p_{\text{гл}}$, %	21,69 (19,17–24,90)	23,04 (21,19–26,16)
$n(\text{ATF})_{\text{оф}}$, моль	4,11 (3,82–4,18)	4,42 (4,11–4,50)* ²
$p_{\text{оф}}$, %	72,83 (69,47–76,69)	73,49 (72,98–75,74)

Примечание: * – статистически значимое отличие по У-критерию Манна – Уитни $p < 0,05$.

Как видно из данных, приведенных в таблице, во втором тесте спортсмены выполнили несколько большую механическую работу, затратив на ее выполнение большее количество АТФ. Время прохождения дистанции 1000 м на последней ступени тестирования во втором тесте было больше 4,2 с, но

это составляет разницу только в 1,8 %, что вполне объяснимо величиной ошибки эргометра. Это позволяет утверждать, что время прохождения дистанции 1000 м у спортивной элиты стабильно на одинаковых этапах многолетней подготовки.

Также не отмечается статистически значимых отличий в измеряемых и расчетных параметрах кинетики лактата. Концентрация лактата в крови до выполнения последней ступени задания и максимальная зафиксированная концентрация в крови после нагрузки стабильны. Что свидетельствует о сходной активации гликолиза в группах тестируемых элитных гребцов на байдарках на одинаковом этапе многолетней подготовки. Незначительные увеличения (на 14 % концентрации лактата в объеме распределения, на 9 % количества АТФ, ресинтезированного в процессе гликолиза, на 7 % среднего потребления кислорода, на 8 % количества АТФ, ресинтезированного за счет окислительного фосфорилирования), статистически не значимы. При этом вклад гликолиза и окислительного фосфорилирования близки в обоих тестах.

Данные по корреляции между показателями, характеризующими успешность выполнения ступени задания (время прохождения дистанции, выполненная спортсменом работой) и показателями, оценивающими процессы гликолиза и аэробного окисления представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Взаимосвязь между показателями, характеризующими гликолиз, окислительным фосфорилированием и временем прохождения 1000 м, выполненной работой

Показатели	n	Время, мин		Работа, Дж	
		r	p	r	p
k_d , мин $^{-1}$	18	0,264	0,290	0,220	0,381
k_a , мин $^{-1}$	18	-0,206	0,412	-0,209	0,404
t_{max} , мин	18	0,212	0,288	-0,144	0,570
$t_{1/2}$, мин	18	-0,264	0,290	-0,220	0,381
C_1 , ммоль/л	18	0,574	0,013	-0,269	0,280
$C_{\text{max}(b)}$, ммоль/л	18	-0,191	0,449	-0,251	0,316
$\Delta C_{\text{max}(v)}$, ммоль/л	18	-0,276	0,268	0,249	0,320
$n(\text{ATF})_{\text{гл}}$, моль	18	-0,326	0,186	0,540	0,021
$p_{\text{гл}}$, %	18	-0,314	0,205	0,209	0,404
$V(O_2)_0$, л/мин	13	-0,207	0,496	0,347	0,114
$V(O_2)_{\text{ср}}$, л/мин	13	-0,506	0,078	0,786	0,001
$n(\text{ATF})_{\text{оф}}$, моль	13	-0,207	0,496	0,676	0,011
$p_{\text{оф}}$, %	13	-0,017	0,957	0,104	0,734

Прослеживается умеренная положительная взаимосвязь между содержанием лактата в крови до выполнения последней ступени и временем прохождения дистанции 1000 м (таблица 2).

Отмечается статистически значимая умеренная положительная корреляция между количеством АТФ, ресинтезированным гликолитическим механиз-

мом энергообеспечения и выполненной работой на последней ступени. Выявлена статистически значимая сильная взаимосвязь между средним значением потребления кислорода на последней ступени и работой. Наблюдается статистически значимая умеренная положительная корреляция между количеством АТФ, ресинтезированного за счет окислительного фосфорилирования, и работой.

Следовательно, полученные результаты свидетельствуют, что высокая активация гликолиза на предыдущих ступенях тестирования сопровождается менее успешным прохождением дистанции 1000 м (большее время, затраченное на задание). Также указывают на высокую значимость гликолиза и ведущую роль окислительного фосфорилирования, что подтверждают полученные нами ранее данные [8].

Таким образом, полученные данные о количестве АТФ, ресинтезированного за счет гликолиза и окислительного фосфорилирования, вклада гликолитического механизма энергообеспечения мышечной деятельности и аэробного окисления, постоянны на протяжении многолетних наблюдений у высококвалифицированных гребцов на байдарках. Общие групповые данные соответствуют закону нормального распределения. Поэтому результаты обоих тестирований в настоящей работе были объединены и представлены в виде среднего арифметического и сигмы. При прохождении дистанции 1000 м на последней ступени тестирование количество АТФ, ресинтезированное за счет гликолиза и тканевого дыхания, составило $1,27 \pm 0,21$ и $4,17 \pm 0,41$ моль соответственно. Вклад гликолиза и аэробного окисления составил $22,67 \pm 3,29$ и $73,41 \pm 4,97$ % соответственно, а в сумме – $95,70 \pm 5,34$ %. Это согласуется с полученными нами ранее данными: вклад анаэробного гликолиза – $19,87 \pm 5,50$ %, аэробного механизма энергообеспечения – $75,99 \pm 6,55$ %, и с данными Yongming Li (76,2 % – вклад окислительного фосфорилирования) [2, 7].

Заключение. Емкость гликолиза у элитных гребцов на байдарках постоянна на протяжении многолетней подготовки и составляет $1,27 \pm 0,21$ моль при прохождении дистанции 1000 м. Емкость аэробного окисления – $4,05 \pm 0,39$ моль.

На подготовительном этапе многолетних тренировок вклад анаэробного гликолиза в энергообеспечение мышечной деятельности при прохождении дистанции 1000 м элитными гребцами на байдарках постоянен и составляет около 23 %. Вклад окислительного фосфорилирования – приблизительно 73 %.

Ранняя активация гликолитического механизма энергообеспечения мышечной деятельности до прохождения дистанции 1000 м на заключительной ступени с максимальной скоростью на гребном эргометре заметно снижает расчетную емкость гликолиза.

Стабильность полученных результатов исследования на подготовительном этапе в различных олимпийских микроциклах указывает на валидность разработанной нами методики определения вклада анаэробного гликолиза в энергообеспечение упражнений на основе биокинетики лактата согласно одночастевой фармакокинетической модели с всасыванием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tesch, P. A. Physiological Characteristics of elite kayak paddlers / P. A. Tesch // Can. J. Appl. Sport Sci. – 1983. – Vol. 8 (2). – P. 87–91.
2. Шкуматов, Л. М. Метаболическая модель байдарочника международного уровня и оценка механизмов энергообеспечения гребли на байдарке / Л. М. Шкуматов, В. В. Шантарович // Научные труды НИИ физ. культуры и спорта Респ. Беларусь : сб. науч. тр. / редкол.: А. А. Михеев (гл. ред.). – Вып. 8. – Минск : Изд. центр БГУ, 2009. – С. 196–201.
3. Li, Y. Energetics in canoe sprint: dis. ... Ph.D / Y. Li. – Leipzig, 2015. – 137 p.
4. Someren, K. A. Comparison of physiological responses to open water kayaking and kayak ergometry / K. A. van Someren, G. R. Phillips, G. S. Palmer // Int. J. Sports Med. – 2000. – Vol. 21 (3) – P. 200–204.
5. Energetics of best performances in elite kayakers and canoeists / A. Buglione [et al.] // Med. Sci. Sports Exerc. – 2011. – Vol. 43, № 5. – P. 877–884.
6. Gross efficiency and energy expenditure in kayak ergometer exercise / B. B. Gomes [et al.] // Int. J. Sports Med. – 2012. – Vol. 33 (8). – P. 654–660.
7. Мороз, Е. А. Энергетический баланс у байдарочников при прохождении дистанции 1000 м на гребном тренажере / Е. А. Мороз, Л. М. Шкуматов, В. В. Шантарович // Прикладная спортивная наука. – 2018. – № 2 (8). – С. 78–84
8. Мороз, Е. А. Емкость анаэробного гликолиза и его вклад в энергетику упражнений, выполняемых гребцами на байдарках высокой квалификации / Е. А. Мороз, Л. М. Шкуматов, В. В. Шантарович // Ученые записки : сб. рец. науч. тр. / редкол.: С. Б. Репкин (гл. ред.) [и др.]; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2019. – Вып. 22. – С. 235–241.
9. Michael, J. S. The metabolic demands of kayaking: a review / J. S. Michael, K. B. Rooney, R. J. Smith // J. Sports Sci. Med. – 2008. – Vol. 7 (1). – P. 1–7.
10. Шкуматов, Л. М. Метод индивидуализации подготовки высококвалифицированных гребцов на байдарках на основе особенностей кинетики эндогенного лактата : практико-пособие / Л. М. Шкуматов, В. В. Шантарович, Е. А. Мороз. – Минск : БГУФК, 2014. – 39 с.
11. Мороз, Е. А. Оценка роли анаэробного гликолиза в энергообеспечении тестирующей физической нагрузки у гребцов на байдарках высокой квалификации на начальном этапе годичной подготовки / Е. А. Мороз, В. В. Шантарович, Л. М. Шкуматов // Прикладная спортивная наука. – 2016. – № 2 (4). – С. 74–80.

02.07.2020