



© О. В. Балберова, Е. Г. Сидоркина, К. С. Кошкина, Ю. К. Плачи, Е. В. Быков

DOI: [10.15293/2658-6762.2103.09](https://doi.org/10.15293/2658-6762.2103.09)

УДК 612+577+371

Модельные характеристики соревновательной деятельности по показателям функциональной подготовленности спортсменов

О. В. Балберова, Е. Г. Сидоркина, К. С. Кошкина (Челябинск, Россия),
Ю. К. Плачи (Мишкольц, Венгрия), Е. В. Быков (Челябинск, Россия)

Проблема и цель. На сегодняшний день в теории спорта нет четких критериев оценки спортивной подготовленности, которые бы отражали модельные характеристики соревновательной деятельности. В статье представлены в качестве модельных характеристик соревновательной деятельности результаты исследования функционального состояния спортсменов с разной спецификой тренировочного процесса. Цель исследования – обосновать модельные характеристики соревновательной деятельности как основной критерий оценки спортивной подготовки в теории спорта.

Методология. Энергетический компонент функциональной подготовленности спортсменов был исследован у 80 квалифицированных спортсменов (ЖМС, МС, МСМК), специализирующихся в беге на короткие, средние и длинные дистанции в соревновательном периоде подготовки. При исследовании энергетического компонента был использован разработанный Б. Ф. Вашиляевым с соавторами «Способ определения (оценки) физической работоспособности по динамике отношения минутного объема дыхания к мощности возрастающей нагрузки» (Роспатент № 2442797). Данная методика позволяет определить, за счет какого источника

Статья подготовлена по результатам НИР в рамках выполнения государственного задания «Разработка и научное обоснование модельных характеристик квалифицированных спортсменов циклических видов спорта по показателям функциональной подготовленности на разных этапах многолетней подготовки» (приказ Минспорта РФ № 1080 от 20.12.2019 г.).

Балберова Ольга Владиславовна – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского института Олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: olga-balberova@mail.ru

Сидоркина Елена Геннадьевна – научный сотрудник научно-исследовательского института Олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: rezenchik@bk.ru

Кошкина Ксения Сергеевна – лаборант-исследователь научно-исследовательского института Олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: caseychica@mail.ru

Плачи Юдит Копкане – доцент, факультет здравоохранения, университет Мишкольца, Мишкольц, медье Боршод-Абауй-Земплен, Венгрия.

E-mail: plachy.judit@gmail.com

Быков Евгений Витальевич – доктор медицинских наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, Уральский государственный университет физической культуры.

E-mail: bev58@yandex.ru

энергообеспечения спортсменов справлялся с нагрузкой на каждой ступени велоэргометрического тестирования.

Результаты. Авторами были выявлены модельные характеристики функциональной подготовленности спортсменов с разной спецификой тренировок на основе энергетического компонента. Проведено физиологическое обоснование с позиции оптимального взаимодействия систем энергообеспечения. Описаны ключевые регуляторные механизмы, связанные с активацией метаболических реакций выработки молекул аденозинтрифосфата.

Заключение. Полученные в ходе исследования модельные характеристики соревновательной деятельности спортсменов с разной спецификой тренировочного процесса (бег на короткие, средние и длинные дистанции) помогут тренеру эффективно управлять спортивной подготовкой. Выявленные модельные характеристики также можно использовать как основной критерий оценки спортивной подготовки в теории спорта.

Ключевые слова: модельные характеристики; соревновательная деятельность; функциональная подготовленность; теория спорта; аэробная емкость; аэробная мощность; анаэробная емкость; анаэробная мощность.

Постановка проблемы

В циклических видах спорта, в частности в беговых дисциплинах легкой атлетики, значительно возрос удельный вес соревновательного периода в годичном цикле подготовки. Это предъявляет высокие требования к физиологическим, биохимическим, психологическим сторонам подготовки спортсменов. Следует отметить, что беговые дисциплины характеризуются большим разнообразием дистанций: от спринта, длительность которого составляет несколько секунд, до марафона, продолжающегося несколько часов¹ [4], – и в Олимпийской программе занимают лидирующее положение по «медалеваемости» [1]. Соревновательный результат в циклических видах спорта будет определяться в первую очередь доступностью аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) для сократительной активности скелетных мышц [20]. Поскольку запасы АТФ в мышцах невелики, для поддержания необходимой скорости ресинтеза АТФ должны быть активированы метаболические пути (рис. 1).

Эти пути включают расщепление креатинфосфата (КрФ) в фосфогенной системе энергообеспечения и мышечного гликогена или глюкозы крови в гликолитической системе энергообеспечения. Данные реакции обеспечивают фосфорилирование на уровне субстрата («анаэробное»). Митохондриальная система, или система окисления, реализует окислительное фосфорилирование за счет использования восстанавливающих эквивалентов метаболизма углеводов и жиров («аэробное»). Относительный вклад этих метаболических путей в первую очередь определяется интенсивностью и продолжительностью нагрузки [6]. В связи с этим специфика тренировок (бег на короткие, средние или длинные дистанции) будет формировать оптимальную функциональную модель энергетической системы, направленную на увеличение эргогенности при преодолении спортивной дистанции. Цель исследования – физиологическое обоснование модельных характеристик соревновательной деятельности

¹ Тамбовцева Р. М. Биохимические характеристики бега на разные дистанции // Евразийский Союз Учёных. – 2015. – № 5. – С. 36–39.

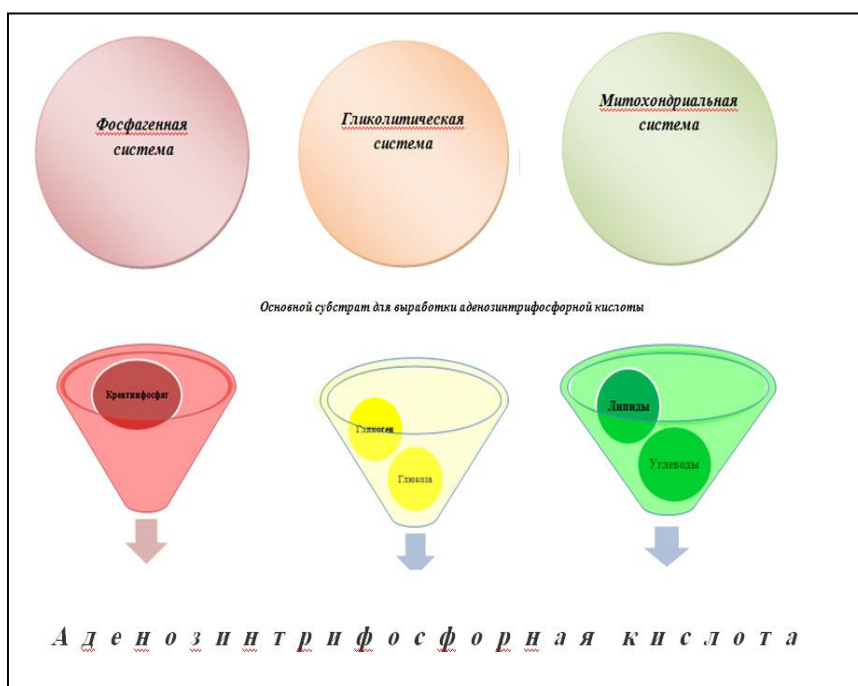


Рис. 1. Метаболические пути синтеза молекулы АТФ

Fig. 1. Metabolic pathways of ATP molecule synthesis

по показателям энергетического компонента функциональной подготовленности спортсменов циклических видов спорта.

Методология исследования

Исследование было проведено на базе лаборатории функциональной диагностики НИИ Олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры. В исследовании приняли участие 80 спортсменов циклических видов спорта (беговые дисциплины легкой атлетики) мужского пола, спортивной квалификации КМС МС, МСМК. Результативность соревновательной деятельности оценивалась в соревновательный период (СП) годового цикла подготовки по результату в беге на 200–400 м (спринт), 800–1500 м (средние дистанции) и на 3000–5000 м (марафон).

При исследовании энергетического компонента был использован разработанный Б. Ф. Вашляевым с соавторами «Способ определения (оценки) физической работоспособности по динамике отношения минутного объема дыхания к мощности возрастающей нагрузки» (Роспатент № 2442797)². Анализируются следующие показатели функциональных возможностей спортсменов: максимальная мощность выполненной нагрузки, Вт; мощность ПАНО, Вт; аэробная емкость, характеризующаяся временем выполнения нагрузки за счет аэробного процесса энергообеспечения, мин.; анаэробная мощность, характеризующаяся скоростью образования молочной кислоты; анаэробная емкость, характеризующаяся максимальным накоплением мо-

²Вашляев Б. Ф., Сазонов И. Ю., Дятлов Д. А., Доронин А. И. Оценка физической работоспособности и методики тренировки по динамике внешнего дыхания

// Инновационные технологии в подготовке спортсменов: материалы науч.-практ. конф. – М.: ГКУ ЦСТиСК Москомспорта, 2013. – С. 19–21.

лочной кислоты, выраженной в работе, выполненной за счет анаэробного процесса энергообеспечения (гликолиз), мин.

В ранее проведенных исследованиях нами была изучена взаимосвязь биоэнергетических показателей с результатами соревновательной деятельности спортсменов [3]. На основании этого установлено, за счет каких путей энергопродуцирования (аэробного, анаэробного или их сочетанием в разных соотношениях) было достигнуто состояние «спортивной формы» наиболее успешных спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса. Также были установлены основные критерии исследуемых параметров энергетического компонента, наличие которых в динамике физической работоспособности у спортсменов позволяет прогнозировать достижение спортсменом «пика спортивной формы» [2]. В основу модельных характери-

стик соревновательной деятельности были положены параметры мощности и емкости энергетических процессов. Проанализированы протоколы велоэргометрического тестирования, полученные в соревновательном периоде у спортсменов, показавших высокий спортивный результат (рис. 2–5). Протоколы формируются автоматически в программе L-sport. Протокол исследования позволяет определить значения аэробного порога (АП) и порога анаэробного обмена (ПАНО) и оценить вклад энергетических систем на каждой ступени выполнения теста.

Результаты исследования, обсуждение

На рисунках представлены протоколы исследования спортсменов-легкоатлетов, призеров в первенстве России, специализирующихся в беге на 400 м (рис. 2), 1500 м (рис. 3), 5000 м (рис. 4).

	Длит. ступени	Мощность ступени	Пuls	Ударный объем	МОК	Дыхат. объем	Пики	Мин. ДО	Уд. ДО	Танг. Уд. ДО	Танг2. Уд. ДО	Танг. ДО	Танг2. ДО	Танг. пер. Уд. ДО.
2	60	98	78,00	7.644	1,29	6	23,22	6,14						
4	90	106	82,00	8.692	1,90	5,3	30,21	5,33	-0,0272			0,0203		
6	120	122	73,00	8.906	2,71	6	48,78	6,45	0,0375	0,0052		0,0270	0,0237	
8	150	134	66,00	8.844	2,98	6,4	57,22	6,05	-0,0133	0,0121		0,0090	0,0180	
10	180	144	71,00	10.224	2,32	8	67,68	5,97	-0,0029	0,0087		-0,0053	0,0016	
12	210	162	68,00	11.016	3,18	7,7	73,46	5,55	-0,0139	-0,0084		0,0120	0,0033	
14	240	171	62,00	10.602	3,45	9,7	100,40	6,64	0,0363	0,0112		0,0090	0,0105	0,0363
16	270	176	64,00	11.264	3,81	12,2	139,45	8,20	0,0519	0,0441		0,0120	0,0105	0,0441

Рис. 2. Модельная характеристика энергетического компонента функциональной подготовленности бегуна-спринтера

Fig. 2. Model characteristics of a sprinter runner's functional fitness energy component

	Длит. ступени	Мощность ступени	Пuls	Ударный объем	МОК	Дыхат. объем	Пики	Мин. ДО	Уд. ДО	Танг. Уд. ДО	Танг2. Уд. ДО	Танг. ДО	Танг2. ДО	Танг. пер. Уд. ДО.
2	60	102	130,00	13.26	1,67	7,5	37,58	8,13						
4	90	109	112,00	12.208	1,70	6	30,60	4,42	-0,1239			0,0010		
6	120	122	88,00	10.736	2,04	6,4	39,17	4,24	-0,0059	-0,0649		0,0113	0,0062	
8	150	132	116,00	15.312	2,54	6,5	49,53	4,29	0,0016	-0,0021		0,0167	0,0140	
10	180	150	105,00	15.75	2,79	7	58,59	4,23	-0,0020	-0,0002		0,0083	0,0125	
12	210	162	94,00	15.220	2,92	9	70,84	4,80	0,0216	0,0090		0,0043	0,0063	0,0216
14	240	162	82,00	13.284	3,19	9,7	92,83	5,02	0,0049	0,0133		0,0090	0,0067	0,0133
16	270	170	77,00	13.09	3,35	11	110,55	5,32	0,0098	0,0074		0,0053	0,0072	0,0121
18	300	180	93,00	16.74	3,21	15	144,45	6,25	0,0312	0,0205		-0,0047	0,0003	0,0169

Рис. 3. Модельная характеристика энергетического компонента функциональной подготовленности бегуна на средние дистанции

Fig. 3. Model characteristics of a middle-distance runner's functional fitness energy component

	Длит. ступени	Мощность ступени	Пuls	Ударный объем	МОК	Дышат. объем	Пики	Мин. ДО	Уд. ДО	Танг. Уд. ДО	Танг2. ДО	Танг. ДО	Танг2. ДО	Танг. пер. Уд. ДО.
2	60	98	129,00	12.642	1,14	4.8	16,42	3,42						
4	90	104	131,00	13.624	1,84	5.2	28,70	3,99	0,0189			0,0233		
6	120	114	129,00	14.706	2,20	5	33,00	3,44	-0,0183	0,0003		0,0120	0,0177	
8	150	124	117,00	14.508	2,33	5.2	36,35	3,03	-0,0136	-0,0160		0,0043	0,0082	
10	180	141	107,00	15.087	2,42	6	43,56	3,03	-0,0001	-0,0069		0,0030	0,0037	
12	210	154	98,00	15.092	3,26	5.8	56,72	3,38	0,0117	0,0058		0,0280	0,0155	
14	240	162	98,00	15.876	3,91	5.8	68,03	3,54	0,0056	0,0086		0,0217	0,0248	
16	270	170	95,00	16.15	3,92	6.6	77,62	3,59	0,0017	0,0036		0,0003	0,0110	
18	300	187	82,00	17.204	4,28	6.8	87,31	3,84	0,0015	0,0015		0,0130	0,0082	
20	330	191	108,00	20.628	4,35	9.1	118,76	4,50	0,0287	0,0151		0,0023	0,0072	0,0287

Рис. 4. Модельная характеристика энергетического компонента функциональной подготовленности бегуна на длинные дистанции

Fig. 4. Model characteristics of a long-distance runner's functional fitness energy component

Зона протокола, окрашенная светло-зеленым цветом, характеризует работу, выполненную за счет аэробного процесса энергообеспечения. Время работы в этой зоне (аэробная емкость) существенно различается у спортсменов с разной спецификой тренировок. Как видно из рисунков 2–4, у спринтера аэробная емкость составляет 8 мин., у спортсмена на средние дистанции – 10 мин. и у спортсмена-марафонца – 16 мин. Основными субстратами при работе в этой зоне являются мышечный гликоген, глюкоза крови и жирные кислоты как внутримышечные (внутримышечный триглицерид), так и триглицериды жировой ткани. Основными детерминантами относительного вклада этих субстратов в окислительный метаболизм являются интенсивность и продолжительность упражнений [18; 23]. Окисление углеводов, особенно из мышечного гликогена, преобладает при более высоких нагрузках, тогда как окисление жиров более важно при нагрузках невысокой интенсивности. Окисление внутримышечных субстратов (гликогена и жирных кислот) доминирует на ранних этапах выполнения нагрузки и снижается по мере увеличения продолжительности и интенсивности нагрузки [19; 22]. Увеличение распада жирных кислот в жировой

ткани способствует прогрессирующему увеличению поглощения и окисления жирных кислот в плазме. Однако, поскольку липолиз протекает с большей скоростью, чем поглощение и окисление, уровни жирных кислот в плазме повышаются [9]. Увеличение поглощения глюкозы мышцами сопровождается увеличением выхода глюкозы из печени как в результате гликогенолиза, так и глюконеогенеза [21].

Момент перехода от светло-зеленой границы к темно-зеленой является характеристикой АП. По мнению многих авторов, интенсивность нагрузки на уровне АП высоко коррелирует с максимальной скоростью окисления жиров [10; 12; 13; 15]. Из протоколов исследования видно, что спортсмен, специализирующийся в беге на длинные дистанции, обладает наибольшими параметрами, характеризующими аэробный процесс: аэробной емкостью, аэробной мощностью. Он более длительное время справляется с нагрузкой за счет аэробного компонента энергообеспечения. Кроме этого, АП максимально приближен к точке ПАНО (переход от темно-зеленой границы к желтой, оранжевой, красной). Это дает спортсмену следующее преимущество: во-первых, не будет существенного снижения средней дистанционной скорости при переходе от одного источника энергообеспечения

на другой (темно-зеленая область); во-вторых, позволит спортсмену-марафонцу удерживать высокую дистанционную скорость за счет аэробного компонента энергообеспечения, а именно за счет эффективного вовлечения окисления жиров. У бегуна на длинные дистанции АП, а значит и максимальная скорость окисления липидов, наблюдается вплоть до нагрузки 270 Вт. У бегуна на средние дистанции АП отмечен при нагрузке 180 Вт, у спринтера – при мощности 150 Вт. Полученные результаты указывают на снижение возможностей аэробной системы энергообеспечения у спортсменов на средние дистанции и в еще большей степени у спортсменов-спринтеров.

Темно-зеленая зона, зарегистрированная у спортсменов на уровне 180, 210 и 300 Вт (соответственно в беге на короткие, средние и длинные дистанции), демонстрирует, что ресинтез АТФ, производимый исключительно аэробным процессом, не может удовлетворить полностью потребность скелетных мышц в энергетическом субстрате. В это время в процесс продуцирования молекул АТФ подключается гликолитическая система энергообеспечения, однако этот процесс носит компенсируемый характер. Это значит, что дыхательная и сердечно-сосудистая системы обеспечивают адекватную доставку O_2 к сокращающимся мышцам (кислородный долг не образуется), а побочные продукты утилизации АТФ в цитоплазме (Ca^{2+} , аденозиндифосфат (АДФ), неорганический фосфат (P_i), оксид азота (NO), активные формы кислорода) транспортируются обратно в митохондрии для ресинтеза АТФ.

Момент перехода от темно-зеленой границы к желтой / оранжевой / красной является точкой ПАНО. Таким образом, когда в протоколе исследования темно-зеленая граница сменяется желтым, оранжевым или красным цветом, это свидетельствует о преимущественном вкладе гликолитической системы в

энергообеспечение мышечной деятельности. Активация и разворачивание этой системы (мощность гликолитических реакций) могут проходить с разной интенсивностью, что в лабораторных условиях измеряется скоростью образования лактата. Желтый цвет в тесте указывает на низкую мощность гликолитической системы в процесс выработки АТФ, оранжевый цвет – на среднюю мощность, красный – на высокую. Специфика тренировок будет определять наиболее выгодный путь вовлечения гликолитической системы в процесс энергообеспечения.

Важная роль на этой ступени принадлежит как внутри-, так и внеклеточным факторам. Активация системы гликолиза вызвана увеличением концентрации аденозинмонофосфата (АМФ), внутримышечного Ca^{2+} и P_i . Оба субстрата (Ca^{2+} и P_i) повышают скорость реакции фосфорилазы, поскольку Ca^{2+} является активатором фосфорилата, а P_i является субстратом. Кроме этого, активация гликолитической системы связана со значительным увеличением поглощения глюкозы из крови мышцами, вызванным их сокращением [5]. Фосфорилаза играет важную роль в скорости разворачивания гликолитического процесса. Ее активация находится под двойным контролем, который осуществляется с помощью местных (продукты обмена веществ, связанных с сокращением мышц) и внешних факторов (адреналин, глюкоза в сыворотке крови) [6]. Сочетание ковалентной и аллостерической регуляции объясняет, как поток через фосфорилазу может увеличиваться с очень низкого уровня в состоянии покоя до очень высокого уровня во время интенсивных упражнений всего за миллисекунды.

Повышение АДФ и АМФ активирует в основном фосфорилазу А (через аллостерическую регуляцию), которая расщепляет гликоген; затем продукты соединяются с неорганическим фосфатом (P_i), таким образом образуя

глюкозо-1-фосфат (Г1Ф), глюкозо-6-фосфат (Г6Ф) и фруктозо-6-фосфат (Ф6Ф) в гликолитическом пути. Повышенный уровень Г6Ф

обеспечивает быстрый источник энергии для последовательности из 8 реакций, которые расщепляют его до пирувата (рис. 5).

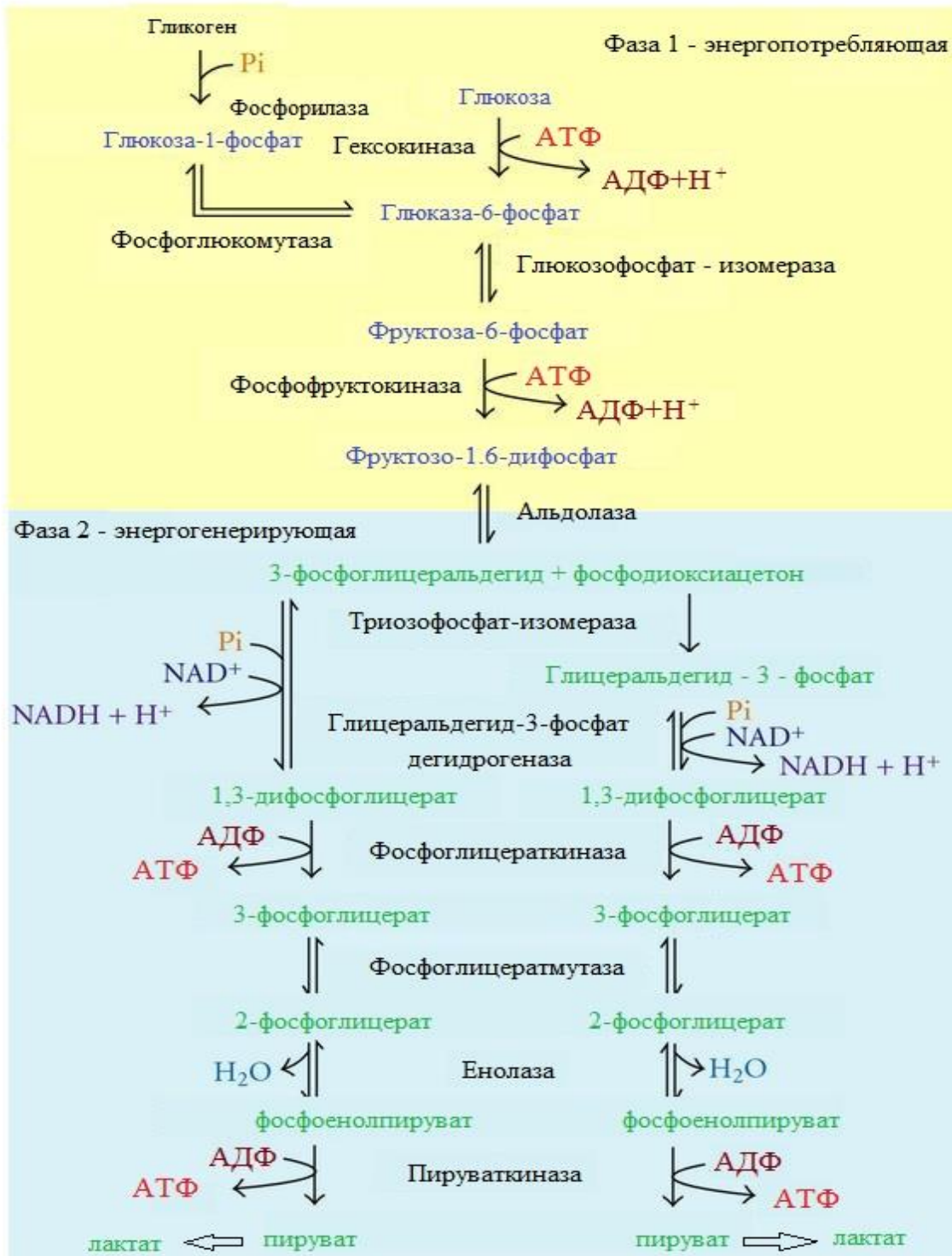


Рис. 5. Гликолитический путь образования молекулы АТФ

Fig. 5. Glycolytic pathway of ATP molecule formation

Гликолиз условно можно разделить на две фазы [7]. Фаза 1 (энергопотребляющая) включает шесть промежуточных углеводов, фосфорилированных углеродом, называемых гексозофосфатами. Фаза 1 требует больших затрат на АТФ, поскольку АТФ обеспечивает конечный фосфат в каждой из реакций гексокиназы и фосфофруктокиназы. Фазу 1 можно обозначить как подготовку к фазе 2, где регенерация АТФ происходит с большей мощностью, что приводит к чистому выходу гликолитического АТФ. Фаза 2 (энергогенерирующая) – это фаза гликолиза, регенерирующая АТФ.

Фаза 2 включает 3 промежуточных продукта, фосфорилированных углеродом, или триозофосфаты. На этой фазе происходит удвоение реакций, которое вызвано расщеплением фруктозо-1,6-бисфосфата на дигидроксиацетонфосфат и глицеральдегид-3-фосфат (рис. 5). Важно отметить роль P_i в качестве субстрата в реакции глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы. Эта реакция, позволяющая P_i связываться с глицеральдегид-3-фосфатом с образованием 1,3-дифосфоглицерата. Именно эта реакция делает эффективным процесс образования АТФ, за счет обеспечения добавленной фосфатной группы, необходимой для дополнительного переноса фосфата в АДФ и образования АТФ в последующих реакциях. Две реакции, которые регенерируют АТФ при гликолизе, – это реакции фосфоглицераткиназы и пируваткиназы, приводящие к 4 АТФ из фазы 2 [5].

Чем выше емкость гликолитической системы, тем более длительное время поддерживается необходимая концентрация мышечного АТФ. Анаэробная емкость в тесте выражена во времени, в течение которого спортсмен

справляется с нагрузкой за счет анаэробного процесса (суммарное количество ступеней желтого, оранжевого и красного цвета). Значительное увеличение использования АТФ на последних ступенях нагрузки (высокая мощность нагрузки) и длительная активация гликолитической системы существенно увеличивают потоки ионов во время выполнения нагрузки, что приводит к метаболическому ацидозу.

Мощность и емкость анаэробного процесса характеризуется высокими значениями у спортсменов-спринтеров и бегунов на средние дистанции. Однако следует учитывать, что специфика тренировок спринтера (необходимость развить и удержать высокую скорость за короткий интервал времени) предполагает, что большая часть АТФ образуется в результате распада фосфокреатина (КрФ) и гликогена до лактата³, что предполагает очень высокую скорость и мощность анаэробного процесса (рис. 2). При выполнении теста мы видим, что спортсмен три последних ступени работает за счет анаэробного процесса, скорость гликолитической реакции высокая (ступени окрашены в красный цвет). В беге на средние дистанции также важны высокие показатели активации анаэробного процесса: высокая емкость (три ступени спортсмен выполняет нагрузку за счет анаэробного гликолиза) при невысокой скорости разворачивания гликолиза (рис. 3).

При выполнении нагрузки повышенная скорость гликолиза приводит к выработке лактата, который накапливается в мышцах и крови. Когда углеводы в форме глюкозы или гликогена катаболизируются во время интенсивной физической нагрузки, происходит

³ Тамбовцева Р. М. Биохимические характеристики бега на разные дистанции // Евразийский Союз Учёных. – 2015. – № 5. – С. 36–39.

только частичное их расщепление в гликолитической системе. Полное окисление углеводов реализуется в системе митохондриального дыхания. Это связано с тем, что производство пирувата происходит со скоростью, превышающей способность митохондрий его поглощать. Чтобы предотвратить ингибирование гликолиза продуктом и снизить скорость регенерации гликолитического АТФ, из цитозоля необходимо удалить как можно больше пирувата. В то время как часть пирувата выводится из сокращающихся мышечных волокон, его большая часть превращается в лактат в результате реакции лактатдегидрогеназы [5].

В течение многих лет лактат рассматривался исключительно как продукт метаболизма. В настоящее время он признан важным субстратом для окислительного метаболизма, глюконеогенеза и мышечного гликогенеза [11], а также сигнальной молекулой, опосредующей адаптацию к нагрузкам разной направленности и межорганное взаимодействие [7; 16; 17].

Производство лактата в скелетных мышцах во время интенсивных упражнений способствует выведению пирувата, поддержанию высокой скорости гликолиза и регенерации цитозольного NAD^+ , который является субстратом реакции глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы. Эта реакция является реакцией окисления-восстановления. Два электрона и один протон удаляются из глицеральдегид-3-фосфата и используются для восстановления NAD^+ до NADH . Без достаточного количества NAD^+ в цитозоле скорость этой реакции резко снизилась бы, тем самым ограничивая скорость регенерации АТФ при гликолизе. Это чрезвычайно важная функция производства лактата. Еще одна важная функция лактата связана с буферизацией метаболических про-

тонов. В реакции лактатдегидрогеназы используются два электрона и один протон из NADH и второй протон из раствора для восстановления пирувата до лактата [6]. Таким образом, производство лактата замедляет, а не вызывает развитие метаболического ацидоза. Выработка лактата в скелетных мышцах необходима для удаления пирувата, регенерации NAD^+ и поддержания высокой скорости регенерации АТФ в результате гликолиза, а также метаболической буферизации протонов. По мнению авторов, спортсмены не могли бы поддерживать высокоинтенсивные упражнения дольше 10–15 сек. без выработки лактата [5].

Углеводы – единственный субстрат, который можно использовать как для аэробного, так и для анаэробного производства АТФ. Следует отметить, что аэробная система энергообеспечения в качестве субстрата для выработки молекул АТФ может использовать как углеводные, так и липидные источники. Однако метаболические пути, обеспечивающие образование АТФ за счет использования жирных кислот, происходят медленнее, чем углеводные. Анаэробные энергетические пути имеют гораздо большую мощность (скорость производства АТФ), но меньшую емкость (общее количество произведенного АТФ), чем аэробные пути. Что касается окислительного метаболизма, то окисление углеводов имеет более высокую выходную мощность, но меньшую емкость, чем окисление жиров. Это один из факторов, способствующих снижению выходной мощности при истощении углеводов во время длительных напряженных упражнений. Поэтому высокая емкость (запасы углеводов в мышцах и печени) являются необходимым условием высокой спортивной результативности [8; 14].

Заключение

Полученные нами в ходе исследования модельные характеристики соревновательной деятельности спортсменов с разной спецификой тренировочного процесса (бег на короткие, средние и длинные дистанции) помогут тренеру эффективно управлять спортивной подготовкой спортсмена. Медико-биологическое обследование, проведенное в предсоревновательном периоде, предоставляет тренеру возможность соотнести полученные результаты исследования конкретного спортсмена с

модельной характеристикой. Получив объективные данные об уровне развития мощности и емкости систем энергообеспечения, тренер, избирательно воздействуя на отдельные компоненты функциональной подготовленности спортсмена, может увеличить вероятность достижения спортсменом «пика спортивной формы» к моменту главных стартов сезона.

Памяти Плачи Юдит Копкане, доцента факультета здравоохранения университета Мишкольца (Мишколец, медье Боршод-Абауй-Земплен, Венгрия), принимавшей участие в настоящем исследовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арансон М. В., Шустин Б. Н. Тематика современных исследований по Олимпийским циклическим видам спорта // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. – 2019. – № 4. – С. 18–25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37785377>
2. Балберова О. В., Быков Е. В., Чипышев А. В., Сидоркина Е. Г. Параметры функциональной подготовленности, сопряженные с высокой физической работоспособностью у спортсменов циклических видов спорта // Современные вопросы биомедицины. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 5–14. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44074066>
3. Быков Е. В., Балберова О. В., Коломиец О. И., Чипышев А. В. Взаимосвязь данных функционального тестирования и результатов соревновательной деятельности спортсменов с различной направленностью физических нагрузок // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2018. – № 8. – С. 32–38. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35630041>
4. Кряжев В. Д., Кряжева С. В., Аленуров Э. А., Бокова Л. В. Зоны соревновательной и тренировочной нагрузки в циклических локомоциях у спортсменов высшей квалификации // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2020. – № 10. – С. 205–213. DOI: <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2020.10.p205-213> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44237355>
5. Baker J. S., McCormick M. C., Robergs R. A. Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise // Journal of Nutrition and Metabolism. – 2010. – Vol. 2010. – P. 905612. DOI: <http://doi.org/10.1155/2010/905612>
6. Hargreaves M., Spriet L. L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise // Nature Metabolism. – 2020. – Vol. 2 (9). – P. 817–828. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
7. Hashimoto T., Hussien R., Oommen S., Gohil K., Brooks G. A. Lactate sensitive transcription factor network in L6 cells: activation of MCT1 and mitochondrial biogenesis // Federation of American Societies for Experimental Biology Journal. – 2007. – Vol. 21 (10). – P. 2602–2612. DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.07-8174com>
8. Hawley J. A., Leckey J. J. Carbohydrate Dependence During Prolonged, Intense Endurance Exercise // Sports Medicine. – 2015. – Vol. 45 (S1). – P. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0400-1>



9. Horowitz J. F., Klein S. Lipid metabolism during endurance exercise // *American Journal of Clinical Nutrition*. – 2000. – Vol. 72 (2). – P. 558S–563S. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.2.558S>
10. Maunder E., Plevs D. J., Kilding A. E. Contextualising Maximal Fat Oxidation During Exercise: Determinants and Normative Values // *Frontiers in Physiology*. – 2018. – Vol. 23 (9). – P. 599. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00599>
11. Medbø J. I., Jebens E., Noddeland H., Hanem S., Toska K. Lactate elimination and glycogen re-synthesis after intense bicycling // *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. – 2006. – Vol. 66 (3). – P. 211–226. DOI: <https://doi.org/10.1080/00365510600570599>
12. Muscella A., Stefano E., Lunetti P., Capobianco L., Marsigliante S. The Regulation of Fat Metabolism During Aerobic Exercise // *Biomolecules*. – 2020. - Vol. 10 (12). – P. 1699. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10121699>
13. Özgünen K. T., Özdemir Ç., Korkmaz-Eryılmaz S., Kılıcı A., Günaştı Ö., Kurdak S. S. A Comparison of the Maximal Fat Oxidation Rates of Three Different Time Periods in The Fatmax Stage // *Journal of Sports Science and Medicine*. – 2019. – Vol. 18 (1). – P. 44–51. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30787650/>
14. Örténblad N., Westerblad H., Nielsen J. Muscle glycogen stores and fatigue // *Journal of Physiology*. – 2013. – Vol. 591 (18). – P. 4405–4413. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.251629>
15. Peric R., Meucci M., Bourdon P.C., Nikolovski Z. Does the aerobic threshold correlate with the maximal fat oxidation rate in short stage treadmill tests? // *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. – 2018. – Vol. 58 (10). – P. 1412–1417. DOI: <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07555-7>
16. Scheiman J., Luber J. M., Chavkin T. A., MacDonald T., Tung A., Pham L. D., Wibowo M. C., Wurth R. C., Punthambaker S., Tierney B. T., Yang Z., Hattab M. W., Avila-Pacheco J., Clish C. B., Lessard S., Church G. M., Kostic A. D. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism // *Nature Medicine*. – 2019. – Vol. 25 (7). – P. 1104–1109. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0485-4>
17. Takahashi H., Alves C. R. R., Stanford K. I., Middelbeek R. J. W., Nigro P., Ryan R. E., Xue R., Sakaguchi M., Lynes M. D., So K., Mul J. D., Lee M. Y., Balan E., Pan H., Dreyfuss J. M., Hirshman M. F., Azhar M., Hannukainen J. C., Nuutila P., Kalliokoski K. K., Nielsen S., Pedersen B. K., Kahn C. R., Tseng Y. H., Goodyear L. J. TGF- β 2 is an exercise-induced adipokine that regulates glucose and fatty acid metabolism // *Nature Metabolism*. – 2019. – Vol. 1 (2). – P. 291–303. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42255-018-0030-7>
18. van Loon L. J., Greenhaff P. L., Constantin-Teodosiu D., Saris W. H., Wagenmakers A. J. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans // *Journal of Physiology*. – 2001. – Vol. 536 (1). – P. 295–304. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00295.x>
19. van Loon L. J., Thomason-Hughes M., Constantin-Teodosiu D., Koopman R., Greenhaff P. L., Hardie D. G., Keizer H. A., Saris W. H., Wagenmakers A. J. Inhibition of adipose tissue lipolysis increases intramuscular lipid and glycogen use in vivo in humans // *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*. – 2005. – Vol. 289 (3). – P. 482–493. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00092.2005>
20. Volkov N. I., Popov O. I., Gabrys' T., Shmatyan-Gabrys U. Physiological Criteria in Defining the Standards for Training and Competition Loads in Elite Sports // *Human Physiology*. – 2005. – Vol. 31 (5). – P. 606–614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10747-005-0102-4>
21. Wasserman D. H. Four grams of glucose // *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*. – 2009. – Vol. 296 (1). – P. 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90563.2008>



22. Watt M., Heigenhauser G., Dyck D., Spriet L. Intramuscular triacylglycerol, glycogen and acetyl group metabolism during 4 h of moderate exercise in man // The Journal of Physiology. – 2002. – Vol. 541 (3). – P. 969–978. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.018820>
23. Zinoubi B., Vandewalle H., Driss T. Modeling of Running Performances in Humans: Comparison of Power Laws and Critical Speed // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2017. – Vol. 31 (7). – P. 1859–1867. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001542>



DOI: [10.15293/2658-6762.2103.09](https://doi.org/10.15293/2658-6762.2103.09)

Olga Vladislavovna Balberova

Candidate of Biology Sciences, Associate Professor, Senior Researcher,
Research Institute of Olympic Sports,
Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian
Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5513-6384>

E-mail: olga-balberova@mail.ru

Elena Gennadyevna Sidorkina

Researcher,
Research Institute of Olympic Sports,
Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian
Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6854-7406>

E-mail rezenchik@bk.ru (Corresponding Author)

Ksenia Sergeevna Koshkina

Laboratory Assistant-Researcher,
Research Institute of Olympic Sports,
Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian
Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1734-8276>

E-mail: caseychica@mail.ru

Judit Kopkáné Plachy

Assistant Professor,
Faculty of Health Care,
University of Miskolc, Miskolc, Borsod-Abaúj-Zemplén, Hungary.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1483-2276>

E-mail: plachy.judit@gmail.com

Evgeny Vitalievich Bykov

Doctor of Medical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research,
Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russian
Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

E-mail: bev58@yandex.ru

Model characteristics of competition performance in terms of athletes' functional fitness

Abstract

Introduction. Nowadays, the theory of sports does not contain clear criteria for assessing sports fitness, which would reflect the model characteristics of competition performance. The article presents the research results on the functional state of athletes with different training process specifics as model characteristics of competition performance. The aim of the research is to identify and describe the model

characteristics of competition performance as the main criterion for evaluating sports training in the theory of sports.

Materials and Methods. Energy component of athletes' functional fitness was studied in 80 qualified athletes (Candidates for Master of Sports, Masters of Sports, International Masters of Sports), specializing in running short, medium and long distances during the period of training for competitions. The study of the energy component was conducted using the inventory developed by B. F. Vashlyayev et al. ('A method for evaluating physical performance based on minute volume of breathing dynamics ratio to increasing load power'). This method allows to identify which source of energy is used by the athlete while taking a cycle ergometer testing.

Results. The authors identified the model characteristics of functional fitness in athletes with different training specifics, based on the energy component. The study provides physiological grounding from the point of view of appropriate interaction of energy supply systems. The key regulatory mechanisms associated with the metabolic reactions activation of adenosine triphosphate molecules production are described.

Conclusions. Model characteristics of athletes' competition performance, obtained in this research, can be used by coaches in order to manage sports training effectively. Moreover, the identified model characteristics can be used as the main criteria for evaluating sports training in sports theory.

Keywords

Model characteristics; Competition performance; Functional fitness; Theory of sports; Aerobic capacity; Aerobic power; Anaerobic capacity; Anaerobic power.

Acknowledgments

The study was financially supported by the Ministry of Sports of the Russian Federation. Project number 1080 (20.12.2019) "Development and scientific justification of model characteristics of qualified cyclical sports athletes in terms of functional fitness at different stages of long-term training".

In memory of Judit Kopkane Plachy, Associate Professor of the Faculty of Health at the University of Miskolc (Miskolc, medje Borsod-Abauj-Zemplen, Hungary), who participated in this study.

REFERENCES

1. Aranson M. V., Shustin B. N. Topics of modern researches on Olympic cyclic sports. *Ucheny`e zapiski universiteta imeni P. F. Lesgafta*, 2019, no. 4, pp. 18–25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37785377>
2. Balberova O. V., Bykov E. V., Chipy`shev A. V., Sidorkina E. G. Parameters of functional fitness associated with high physical performance in athletes cyclical sports. *Sovremenny`e voprosy` biomeditsiny*, 2020, vol. 4 (3), pp. 5–14. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44074066>
3. Bykov E. V., Balberova O. V., Kolomicz O. I., Chipy`shev A. V. Correlation of functional testing data and results of competitive activities of athletes with different character of physical loading. *Ucheny`e zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2018, no. 8, pp. 32–38. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35630041>
4. Kryazhev V. D., Kryazheva S. V., Alenurov E. A., Bokova L. V. Competitive and training areas in cyclical locomotion at top-qualified athletes. *Ucheny`e zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2020, no. 10, pp. 205–213. DOI: <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2020.10.p205-213> URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44237355>



5. Baker J. S., McCormick M. C., Robergs R. A. Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise. *Journal of Nutrition and Metabolism*, vol. 2010, pp. 905612. DOI: <http://doi.org/10.1155/2010/905612>
6. Hargreaves M., Spriet L. L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, 2020, vol. 2 (9), pp. 817–828. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
7. Hashimoto T., Hussien R., Oommen S., Gohil K., Brooks G. A. Lactate sensitive transcription factor network in L6 cells: Activation of MCT1 and mitochondrial biogenesis. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal*, 2007, vol. 21 (10), pp. 2602–2612. DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.07-8174com>
8. Hawley J. A., Leckey J. J. Carbohydrate dependence during prolonged, intense endurance exercise. *Sports Medicine*, 2015, vol. 45 (S1), pp. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0400-1>
9. Horowitz J. F., Klein S. Lipid metabolism during endurance exercise. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, vol. 72 (2), pp. 558S–563S. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.2.558S>
10. Maunder E., Plews D. J., Kilding A. E. Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Frontiers in Physiology*, 2018, vol. 23 (9), pp. 599. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00599>
11. Medbø J. I., Jebens E., Noddeland H., Hanem S., Toska K. Lactate elimination and glycogen resynthesis after intense bicycling. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 2006, vol. 66 (3), pp. 211–226. DOI: <https://doi.org/10.1080/00365510600570599>
12. Muscella A., Stefano E., Lunetti P., Capobianco L., Marsigliante S. The regulation of fat metabolism during aerobic exercise. *Biomolecules*, 2020, vol. 10 (12), pp. 1699. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10121699>
13. Özgünen K. T., Özdemir Ç., Korkmaz-Eryılmaz S., Kılıcı A., Günası Ö., Kurdak S. S. A Comparison of the maximal fat oxidation rates of three different time periods in the fatmax stage. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2019, vol. 18 (1), pp. 44–51. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30787650/>
14. Örténblad N., Westerblad H., Nielsen J. Muscle glycogen stores and fatigue. *Journal of Physiology*, 2013, vol. 591 (18), pp. 4405–4413. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.251629>
15. Peric R., Meucci M., Bourdon P. C., Nikolovski Z. Does the aerobic threshold correlate with the maximal fat oxidation rate in short stage treadmill tests? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2018, vol. 58 (10), pp. 1412–1417. DOI: <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07555-7>
16. Scheiman J., Luber J. M., Chavkin T. A., MacDonald T., Tung A., Pham L. D., Wibowo M. C., Wurth R. C., Punthambaker S., Tierney B. T., Yang Z., Hattab M. W., Avila-Pacheco J., Clish C. B., Lessard S., Church G. M., Kostic A. D. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nature Medicine*, 2019, vol. 25 (7), pp. 1104–1109. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0485-4>
17. Takahashi H., Alves C. R. R., Stanford K. I., Middelbeek R. J. W., Nigro P., Ryan R. E., Xue R., Sakaguchi M., Lynes M. D., So K., Mul J. D., Lee M. Y., Balan E., Pan H., Dreyfuss J. M., Hirshman M. F., Azhar M., Hannukainen J. C., Nuutila P., Kalliokoski K. K., Nielsen S., Pedersen B. K., Kahn C. R., Tseng Y. H., Goodyear L. J. TGF- β 2 is an exercise-induced adipokine that regulates glucose and fatty acid metabolism. *Nature Metabolism*, 2019, vol. 1 (2), pp. 291–303. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42255-018-0030-7>
18. van Loon L. J., Greenhaff P. L., Constantin-Teodosiu D., Saris W. H., Wagenmakers A. J. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *Journal of Physiology*, 2001, vol. 536 (1), pp. 295–304. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00295.x>



19. van Loon L. J., Thomason-Hughes M., Constantin-Teodosiu D., Koopman R., Greenhaff P. L., Hardie D. G., Keizer H. A., Saris W. H., Wagenmakers A. J. Inhibition of adipose tissue lipolysis increases intramuscular lipid and glycogen use in vivo in humans. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism*, 2005, vol. 289 (3), pp. 482–493. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00092.2005>
20. Volkov N. I., Popov O. I., Gabrys' T., Shmatyan-Gabrys U. Physiological criteria in defining the standards for training and competition loads in elite sports. *Human Physiology*, 2005, vol. 31 (5), pp. 606–614. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10747-005-0102-4>
21. Wasserman D. H. Four grams of glucose. *American Journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 2009, vol. 296 (1), pp. 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90563.2008>
22. Watt M., Heigenhauser G., Dyck D., Spriet L. Intramuscular triacylglycerol, glycogen and acetyl group metabolism during 4 h of moderate exercise in man. *The Journal of Physiology*, 2002, vol. 541 (3), pp. 969–978. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.018820>
23. Zinoubi B., Vandewalle H., Driss T. Modeling of running performances in humans: Comparison of power laws and critical speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, vol. 31 (7), pp. 1859–1867. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001542>

Submitted: 09 April 2021

Accepted: 10 May 2021

Published: 30 June 2021



This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. (CC BY 4.0).