

EDN: ZQPOXQ
УДК 612.017.2

Total Metabolic Activity Index as an Indicator of Athlete's Functional Performance

Kirill P. Bazarin^{*a,b}, Sergei I. Bartsev^b,
Viktor N. Kovalev^c

^a*Krasnoyarsk Institute for the Development of Physical Culture and Sports, Krasnoyarsk, Russian Federation*

^b*Institute of Biophysics SB RAS Krasnoyarsk, Russian Federation*

^c*Siberian Federal University Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 22.03.2022, received in revised form 23.04.2022, accepted 17.10.2022

Abstract. One of the most important tasks of sports physiology and medicine is the search for relevant markers of the course of adaptation processes in the athlete's body, directly related to functional performance. This is necessary for effective individualized management of the training process both in elite sports and in the preparation of a sports reserve.

The study involved 155 athletes, representatives of various sports. Male sex – 96 people, average age 24.34 ± 3.54 years; female sex – 59 people, the average age was 23.12 ± 2.3 years. The control group consisted of 101 people who did not experience high systematic physical exertion. Male sex 53 people mean age 23.17 ± 2.54 , female – 48. Average age 22.12 ± 3.01 years.

A calculated index of the total metabolic activity of blood neutrophilic granulocytes (MA) is proposed as an integral indicator, which has a high degree of connection with the controlled factors of sports activity. The regularities of MA change in athletes in the course of the annual macrocycle were revealed.

Keywords: neutrophils, metabolic activity, physical activity, sports.

Research area: culturology.

Citation: Bazarin K. P., Bartsev S. I., Kovalev V. N. Total metabolic activity index as an indicator of athlete's functional performance. In: *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. soc. sci.*, 2023, 16 (1), 13–23. EDN: ZQPOXQ (online 2022)



Индекс общей метаболической активности как показатель функциональной работоспособности спортсмена

К.П. Базарин^{а,б}, С.И. Барцев^б, В.Н. Ковалев^в

^аКрасноярский институт развития физической культуры и спорта

Российская Федерация, Красноярск

^бИнститут биофизики СО РАН

Российская Федерация, Красноярск

^вСибирский федеральный университет

Российская Федерация, Красноярск

Аннотация. Одной из важнейших задач спортивной физиологии и медицины является поиск релевантных маркеров хода адаптационных процессов в организме спортсмена, непосредственно связанных с функциональной работоспособностью. Это необходимо для эффективного индивидуализированного управления тренировочным процессом как в спорте высших достижений, так и при подготовке спортивного резерва. Предложен расчетный индекс общей метаболической активности нейтрофильных гранулоцитов крови (МА) как интегральный показатель, обладающий высокой степенью связанности с управляемыми факторами спортивной деятельности. Выявлены закономерности изменения МА у спортсменов в ходе годового макроцикла.

Ключевые слова: нейтрофилы, метаболическая активность, физическая нагрузка, спорт.

Научная специальность: 24.00.00 – культурология.

Цитирование: Базарин К.П., Барцев С.И., Ковалев В.Н. Индекс общей метаболической активности как показатель функциональной работоспособности спортсмена. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Гуманитарные науки*, 2023, 16 (1). С. 13–23. EDN: ZQPOXQ (онлайн 2022)

Введение. Глубокая вовлеченность иммунной системы в адаптационные процессы делает ее крайне чувствительным индикатором хода адаптации в организме в целом (Tiernan et al., 2019; Xiao et al., 2019; Nieman et al., 2019). Особенно высокой информативностью для исследования метаболизма клеток обладают окислительно-восстановительные ферменты. Это обусловлено тем, что, являясь основными переносчиками электронов в клетке, они осуществляют ключевые реакции клеточного метаболизма и координируют сопряженные метаболические пути (Nieman et al., 2019; Савченко и др., 2012). Именно в этой точке пересекаются лимитирующие факторы

для высокой физической работоспособности организма и высокой функциональной активности иммунной системы (Gleeson, 2007; Leite et al., 2018; Castell et al., 2018). Клетки крови являются доступным материалом, что делает такой подход пригодным для оперативного контроля течения адаптационных процессов, принятия решения о коррекции тренировочных нагрузок и схем назначаемых препаратов.

Цель. Обосновать применение индекса общей метаболической активности нейтрофильных гранулоцитов крови (МА) в качестве интегрального показателя, обладающего высокой степенью связанности

с управляемыми факторами спортивной деятельности. Исследовать закономерности изменения МА у спортсменов в ходе годового макроцикла.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 155 спортсменов, представителей различных видов спорта. Мужской пол – 96 человек, средний возраст $24,34 \pm 3,54$ лет; женский пол – 59 человек, средний возраст составил $23,12 \pm 2,3$ лет. Контрольная группа состояла из 101 человека, не испытывающих систематических высоких физических нагрузок. Мужской пол – 53 человека, средний возраст $23,17 \pm 2,54$, женский – 48. средний возраст $22,12 \pm 3,01$ лет. Данное исследование одобрено локальным этическим комитетом, обследуемые давали добровольное информированное согласие на участие в эксперименте.

Объемы и интенсивность физической нагрузки изучались по материалам дневников самоконтроля спортсменов, тренировочным и соревновательным планам. Для определения ЧСС использовались спортивные кардиомониторы Polar FT1, Polar RC 3 GPS. В пределах общего объема годовой нагрузки рассчитывалась ее структура по зонам интенсивности. Интенсивность нагрузки классифицировалась в соответствии с классическими зонами: 1 зона, низкая интенсивность, 50 % от величины максимального потребления кислорода (МПК), ЧСС находится в пределах до 135 уд/мин; 2 зона, средняя интенсивность, уровень анаэробного порога. Потребление кислорода возрастает до 50–80 % от МПК, пульс 135–150 уд/мин; 3 зона, высокая интенсивность, смешанный аэробно-анаэробный характер энергообеспечения, МПК 80–100 %, ЧСС до 180 уд/мин; 4 зона, максимальная интенсивность. МПК близко к 100 %, ЧСС > 180 уд/мин.

Учитывая различную длительность циклов и отличия в размерности, для оценки использовалась относительная величина, выраженная как процентное соотношение нагрузки каждой зоны интенсивности в пересчете на один день мезоцикла. Средний показатель рассчитывался как среднее

арифметическое процентных соотношений для каждого из видов спорта.

Венозную кровь у спортсменов забирала в конце соревновательного периода. Реакционная смесь для хемилюминесцентной реакции состояла из 40 мкл донорской сыворотки АВ (IV), 100 мкл люминола в концентрации 10^{-5} М, 50 мкл индуктора (в случае определения индуцированной хемилюминесценции), 610 мкл раствора Хенкса без красителя и 250 мкл лейкоцитарной взвеси (2 млн/мл) для определения спонтанной хемилюминесценции или 685 мкл раствора Хенкса и 125 мкл взвеси лейкоцитов – для индуцированной. Оценка спонтанной и индуцированной хемилюминесценции производилась в течение 90 минут на 36-канальном хемилюминесцентном анализаторе «CL3604» (СКТБ «Наука», г. Красноярск). Определялись время выхода на максимум (Tmax), максимальное значение (Imax) и площадь кривой (S). В качестве индукторов «респираторного взрыва» использовали опсонизированный зимозан («Sigma», США). Усиление хемилюминесценции, индуцированной зимозаном, относительно спонтанной оценивали соотношением $S_{\text{зим.}}/S_{\text{спон}}$, которое определяли как индекс активации (ИА) (Савченко, 2015). Расчеты осуществляли в пакете MathCad 15, Statistica 6.1.

Результаты и их обсуждение. Очевидно, что функциональная активность клетки есть проявление работы внутриклеточных ферментных систем и, следовательно, значимые изменения в ее работе в первую очередь должны иметь отражение на уровне клеточного метаболизма. Нами были исследованы уровни активности НАД- и НАДФ-зависимых дегидрогеназ нейтрофильных гранулоцитов крови в качестве показателей внутриклеточного метаболизма (рис. 1). Данный класс ферментов играет ведущую роль в обеспечении функциональной активности исследуемых клеток иммунной системы (Савченко и др., 2011; Siler et al., 2017; Khan et al., 2017; Lebenet al., 2018).

Исследуемые ферменты занимают ключевые позиции на разных метаболиче-

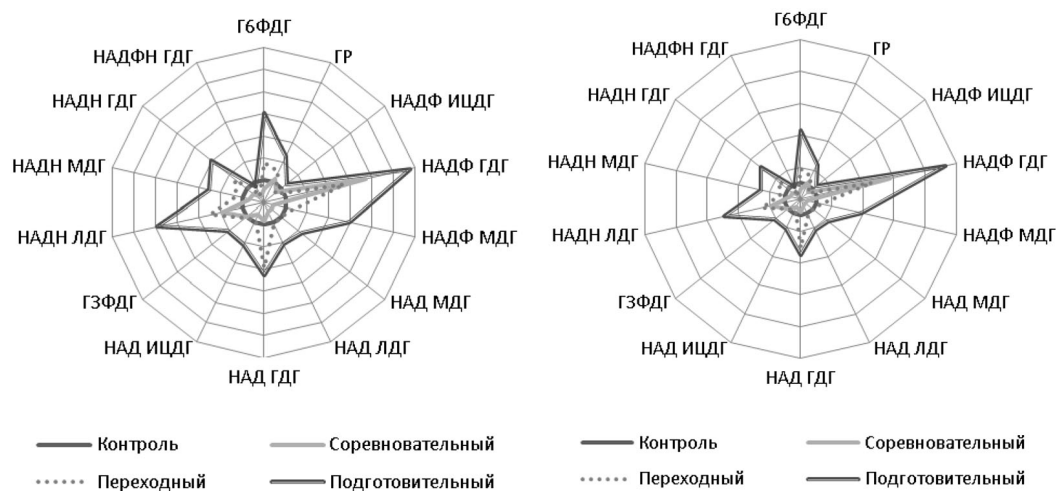


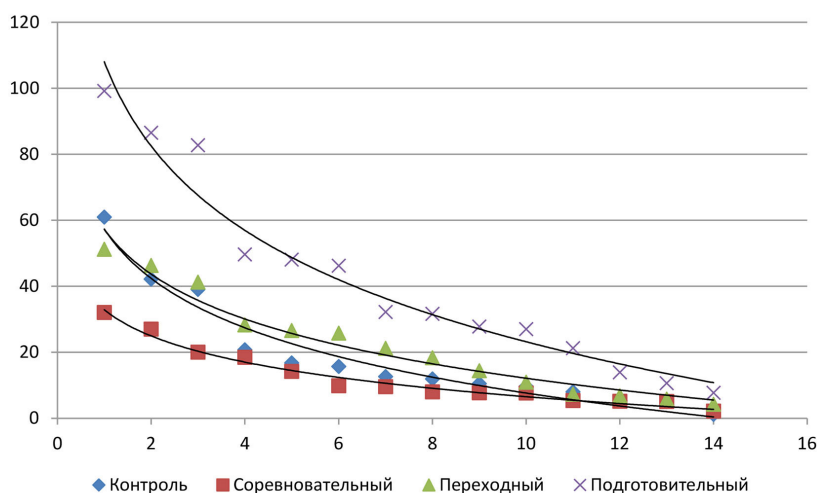
Рис. 1. Распределение активности ферментов у спортсменов мужчин (а) и женщин (б) на разных этапах годового тренировочно-соревновательного макроцикла и лиц контрольной группы

Fig. 1. Distribution of enzyme activity in male (a) and female (б) athletes at different stages of the annual training-competitive macrocycle and in the control group

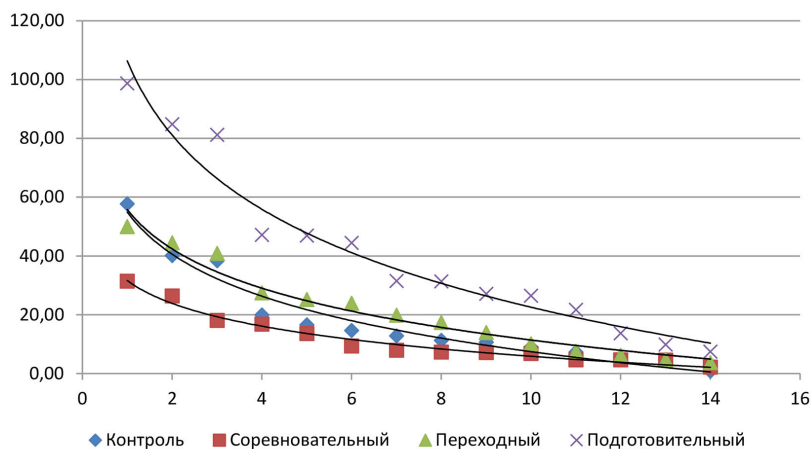
ских путях клетки, которые в целом обеспечивают ее физиологические и функциональные потребности. Роль и особенности динамики активности каждого из ферментов подробно рассмотрены в наших предыдущих публикациях (Bazarin et al., 2011; Савченко и др., 2013; Базарин и др., 2013; Базарин и др., 2015). Общие же закономерности характеризуются следующим: в конце подготовительного периода у спортсменов в нейтрофильных гранулоцитах крови активированы основные метаболические процессы: анаэробная и аэробная энергетика, глутатион-зависимая антиоксидантная система, а также пластические реакции, определяющие уровень реакций макромолекулярного синтеза и реактивность клеток. На фоне усталости (в конце соревновательного периода) в нейтрофилах наблюдается выраженное снижение активности исследуемых НАД- и НАДФ-зависимых дегидрогеназ, что определяет снижение биоэнергетических процессов, реакций пластического обмена, повышается вероятность апоптоза. В период отдыха полного восстановления метаболических процессов в нейтрофильных гра-

нулоцитах у спортсменов не происходит. В этот период наблюдается повышение роли анаэробной энергетики, в том числе за счет повышения притока субстратов с реакций липидного катаболизма, а также НАДФ-зависимого оттока субстратов с цикла трикарбоновых кислот на реакции аминокислотного обмена.

Из представленных диаграмм (рис. 1) видно, что отличия активности исследуемой группы ферментов у спортсменов как от контрольной группы, так и в различных фазах годового макроцикла выражаются в значительном изменении площади, занимаемой фигурами. Площадь фигуры характеризует общую метаболическую активность нейтрофильных гранулоцитов (МА). С целью получения численных значений данной характеристики были предприняты следующие действия: значения активности были ранжированы в порядке убывания, была рассчитана аппроксимирующая функция, был вычислен определенный интеграл данной функции. Обнаруженные закономерности для средних величин активности ферментов отражены на следующих графиках (рис. 2).



a)



б)

Рис. 2. Распределение уровней активности ферментов у спортсменов мужчин (а) и женщин (б) на разных этапах годового тренировочно-соревновательного макроцикла и лиц контрольной группы

Fig. 2. Distribution of enzyme activity levels in male (a) and female (б) athletes at different stages of the annual training-competitive macrocycle and in the control group

Распределение активности носит логарифмический характер. Аппроксимационные формулы и величины МА для различных периодов годового макроцикла у спортсменов мужского и женского пола приведены в табл. 1.

Интересно отметить, что общая метаболическая активность нейтрофильных гранулоцитов у спортсменов в конце переходного периода, характеризующегося

существенным снижением уровня физических нагрузок, фактически приближается к таковой у лиц контрольной группы, однако отличие остается достоверным. Общая метаболическая активность нейтрофилов у спортсменов в конце соревновательного периода ниже, чем в контрольной группе в 1,5 раза у мужчин и в 1,54 раза у женщин. Подготовительный период характеризуется существенным увеличением метаболиче-

Таблица 1. Аппроксимационные формулы и величины МА для различных периодов годового макроцикла у спортсменов мужского и женского пола

Table 1. Approximation formulas and MA values for different periods of the annual macrocycle in male and female athletes

	Мужчины	Женщины
Контроль	$f(x) = -21,56\ln(x)+57,334$ ($r^2=0,964$; $p<0,001$) $MA_{\kappa} = 229,049$	$f(x) = -20,6\ln(x)+54,885$ ($r^2=0,96$; $p<0,001$) $MA_{\kappa} = 220,201$
Соревновательный	$f(x) = -11,43\ln(x)+32,886$ ($r^2=0,98$; $p<0,001$) $MA_{\epsilon} = 153,806$	$f(x) = -11,18\ln(x)+31,624$ ($r^2=0,97$; $p<0,001$) $MA_{\epsilon} = 143,387$
Переходный	$f(x) = -19,59\ln(x)+57,265$ ($r^2=0,96$; $p<0,001$) $MA_{\omicron} = 275,327$	$f(x) = -19,27\ln(x)+55,762$ ($r^2=0,96$; $p<0,001$) $MA_{\omicron} = 263,451$
Подготовительный	$f(x) = -36,83\ln(x)+108,01$ ($r^2=0,96$; $p<0,001$) $MA_{\pi} = 522,169$	$f(x) = -36,38\ln(x)+106,34$ ($r^2=0,96$; $p<0,001$) $MA_{\pi} = 511,235$

ской активности. У спортсменов она превышает показатели контрольной группы в 2,28 раза у мужчин и в 2,32 раза у женщин. Рост по сравнению с соревновательным периодом составляет 3,39 раза у мужчин и 3,57 раза у женщин. Отличия по величине МА между мужчинами и женщинами спортсменами достоверны для всех периодов годового

тренировочно-соревновательного макроцикла ($p_{\epsilon} = 0,0278$; $p_{\omicron} = 0,0167$; $p_{\pi} = 0,0335$).

Изменения МА в различных фазах годового макроцикла высоко коррелированы с изменениями активности ферментов в нейтрофильных гранулоцитах. Значения коэффициентов корреляции приведены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели корреляционной взаимосвязи между изменениями величины МА и изменениями величин активности отдельных ферментов нейтрофильных гранулоцитов у мужчин и женщин спортсменов

Table 2. Indicators of the correlation relationship between changes in the MA value and changes in the activity values of individual enzymes of neutrophilic granulocytes in male and female athletes

Ферменты	МА			
	мужчины		женщины	
	г	р	г	р
1	2	3	4	5
Г6ФДГ	1	<0,001	1	<0,001
Г3ФДГ	0,98	<0,001	0,95	<0,001
НАД ЛДГ	1	<0,001	1	<0,001
НАДФ МДГ	1	<0,001	1	<0,001
НАДФ ГДГ	0,79	<0,001	0,85	<0,001
НАДФ ИЦДГ	0,9	<0,001	0,92	<0,001
НАД МДГ	1	<0,001	1	<0,001
НАД ГДГ	0,83	<0,001	0,84	<0,001
НАД ИДГ	0,99	<0,001	0,98	<0,001

Продолжение табл. 1
Continued Table 1

1	2	3	4	5
НАДН ЛДГ	0,99	<0,001	0,99	<0,001
НАДН МДГ	1	<0,001	1	<0,001
ГР	1	<0,001	1	<0,001
НАДН ГДГ	1	<0,001	0,99	<0,001
НАДФН ГДГ	0,99	<0,001	0,99	<0,001

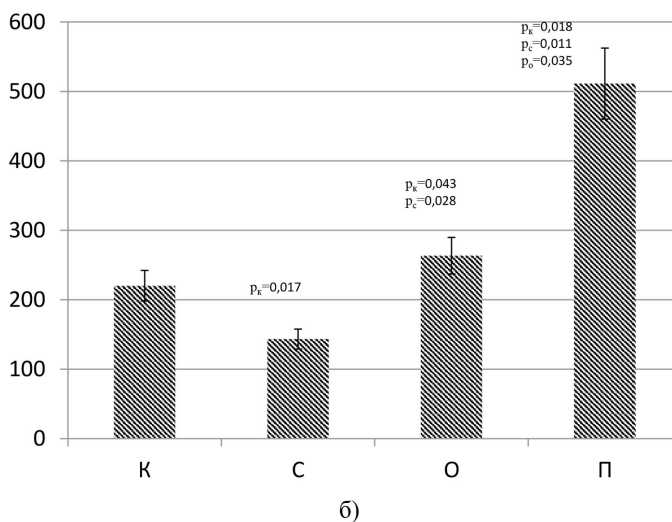
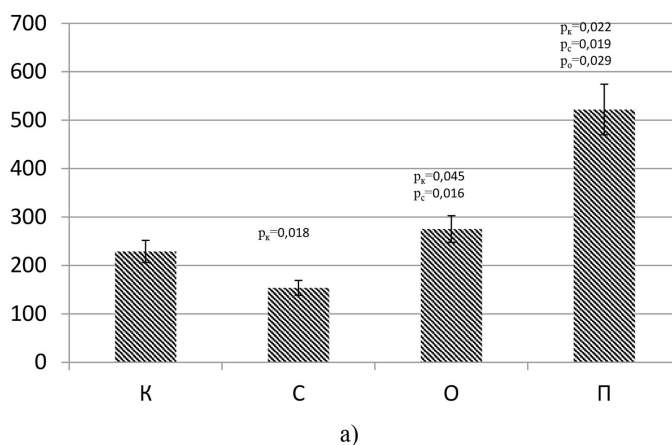
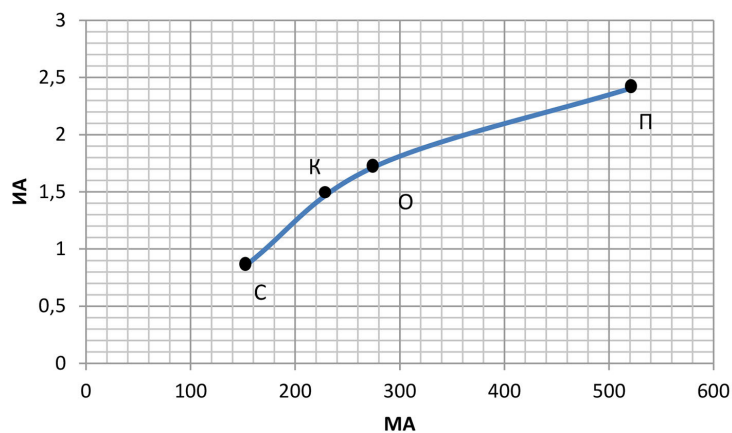
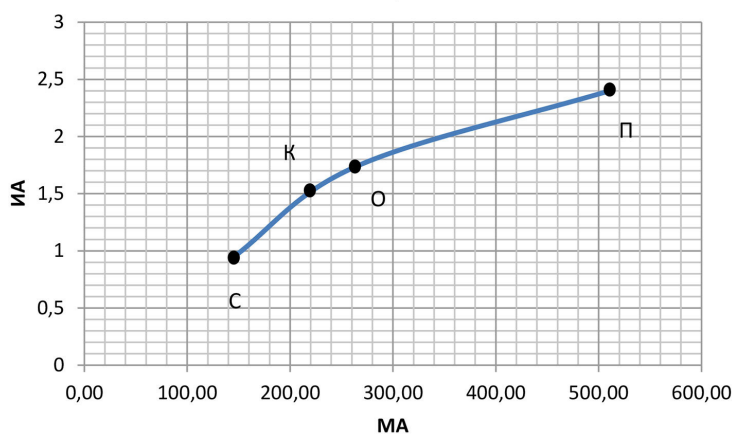


Рис. 3. Величина МА у спортсменов мужчин (а) и женщин (б) на разных этапах годового тренировочно-соревновательного макроцикла и лиц контрольной группы

Fig. 3. The value of MA in male (a) and female (б) athletes at different stages of the annual training-competitive macrocycle and in the control group



а)



б)

Рис. 4. Взаимосвязь изменений величины МА и ИА у мужчин (а) и женщин (б) спортсменов
 Fig. 4. Correlation between changes in MA and IA values in male (a) and female (б) athletes

Таким образом, МА может использоваться в качестве интегрального показателя, характеризующего изменения активности ферментных систем нейтрофильных гранулоцитов крови.

Очевидно, что функциональная активность клетки непосредственно связана с работой ее ферментных систем, тем не менее четкая взаимосвязь между этими процессами в условиях систематических высоких физических нагрузок до настоящего времени показана не была. Исследование данной взаимосвязи имеет значение в первую очередь для лучшего понимания механизмов

формирования спортивного иммунодефицита, разработки методов его превентивной диагностики и способов коррекции этого состояния.

Взаимосвязь между изменениями МА в ходе годового макроцикла и соответствующими изменениями индекса активации – ключевого показателя функциональной активности нейтрофильных гранулоцитов крови, представлена на рис. 4.

Данная зависимость у мужчин с высокой точностью ($R^2=0,99$; $p<0,001$) аппроксимируется следующей формулой (1)

$$ИА=1,26\ln(MA) - 5,44 \quad (1)$$

У женщин зависимость имеет тот же вид (2), коэффициенты незначительно отличаются ($R^2=0,99$; $p<0,001$).

$$ИА=1,15\ln(MA)-4,75 \quad (2)$$

Логарифмический характер зависимости, в частности, позволяет говорить о том, что величина общей метаболической активности в пределах 250 является критической, после которой дальнейшее ее снижение ведет к резкому падению способности нейтрофильных гранулоцитов отвечать на стимуляцию. Рост же МА, наоборот, не ведет к бесконечному увеличению интенсивности развития процессов респираторного взрыва в нейтрофилах, а имеет предел насыщения.

Выводы. Полученные результаты важны не только в контексте предупреждения развития иммунодефицитных состояний,

они являются чрезвычайно важными для обеспечения поступательного роста спортивных результатов в ходе многолетней подготовки. Как было показано выше, переходный период не обеспечивает достаточно-го восстановления исследуемых функций. Учитывая универсальный характер изучаемых процессов, можно с большой долей уверенности экстраполировать данное утверждение на весь комплекс физиологических реакций организма спортсмена. Таким образом, начало подготовительного периода приходится на все еще продолжающийся спад активности, вызванный избыточным перенапряжением в соревновательном периоде. Тренировочный процесс можно сделать более эффективным в многолетней перспективе, если начинать новый цикл не из «метаболической ямы», не допуская развития декомпенсаторных состояний.

Список литературы

- Базарин К. П., Савченко А. А. Изменение функциональной активности нейтрофилов крови под влиянием физических нагрузок. *Спортивная медицина: наука и практика*, 2013, 1(10). 40–41.
- Базарин К. П., Савченко А. А. Особенности метаболической активности нейтрофильных гранулоцитов у спортсменов в динамике тренировочного цикла. *Спортивная медицина: наука и практика*, 2013, 1(10), 246–247.
- Базарин К. П., Савченко А. А., Александрова Л. И. Изменение функциональной активности нейтрофильных гранулоцитов крови у квалифицированных спортсменов. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*, 2013, 6, 16–18.
- Базарин К. П., Савченко А. А., Гвоздев И. И. Метаболические механизмы хемилюминесцентной активности нейтрофильных гранулоцитов у квалифицированных спортсменов. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*, 2015, 6, 7–10.
- Савченко А. А. Определение активности NAD(P)-зависимых дегидрогеназ в нейтрофильных гранулоцитах биолюминесцентным методом. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*, 2015, № 5. С. 656–660.
- Савченко А. А., Базарин К. П. Состояние активности НАД- и НАДФ-зависимых дегидрогеназ в нейтрофильных гранулоцитах у спортсменов в динамике тренировочного цикла. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология*, 2013, 6(2), 151–162.
- Савченко А. А., Борисов А. Г. *Основы клинической иммунометаболомики*. Новосибирск: Наука, 2012. 263 с.
- Савченко А. А., Сунцова Л. И. Высококчувствительное определение активности дегидрогеназ в лимфоцитах периферической крови биолюминесцентным методом. *Лабораторное дело*, 2011, № 11. С. 23–25.
- Bazarin K. P., Savchenko A. A. Special features of the state of functional activity of neutrophil granulocytes in blood during high level of physical exercises. In: *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. Soc. Sci.*, 2011, 9, 1251–1259.
- Castell L. M., Nieman D. C., Bermon S., Peeling P. Exercise-induced illness and inflammation: can immunonutrition and iron help? In: *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 2018, 3, 1–26. DOI: 10.1123/ijs-nem.2018–0288.

Gleeson M. Immune function in sport and exercise. In: *J. Appl. Physiol.*, 2007, 103, 693–699.

Khan T.A. et. al. Expanding the clinical and genetic spectrum of G6PD deficiency: The occurrence of BCGitis and novel missense mutation. In: *Microb. Pathog.*, 2017, 102, 160–165. DOI: 10.1016/j.micpath.2016.11.025.

Leben R. et. al. Phasor-Based Endogenous NAD(P)H Fluorescence Lifetime Imaging Unravels Specific Enzymatic Activity of Neutrophil Granulocytes Preceding NETosis. In: *Int. J. Mol. Sci.*, 2018, 19(4). DOI: 10.3390/ijms19041018.

Leite G.S.F. et. al. A.H. Jr. Probiotics and sports: a new magic bullet? In: *Nutrition*, 2018, 22(60), 152–160. DOI: 10.1016/j.nut.2018.09.023.

Nieman D.C., Lila M.A., Gillitt N.D. Immunometabolism: A multi-omics approach to interpreting the influence of exercise and diet on the immune system. In: *Annu. Rev. Food. Sci. Technol.*, 2019, 11. DOI: 10.1146/annurev-food-032818–121316.

Siler U. et. al. Severe glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency leads to susceptibility to infection and absent NETosis In: *J. Allergy Clin. Immunol.*, 2017, 139(1), 212–219. – doi: 10.1016/j.jaci.2016.04.041.

Tiernan C. et. al. Salivary IgA as a predictor of upper respiratory tract infections and relationship to training load in elite rugby union players. In: *J. Strength. Cond. Res.*, 2019, 23. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003019

Xiao F. et. al. Reduction of T Cells and Hsa-miR 150–5p in female canoeing athletes: preliminary evidence between exercise training and immune. In: *J. Strength. Cond. Res.*, 2019, 17. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002924.

References

Bazarin K.P., Savchenko A.A. Izmenenie funkcional'noj aktivnosti nejtrofilov krovi pod vlijaniem fizicheskikh nagruzok [Changes in the functional activity of blood neutrophils under the influence of physical exertion]. In: *Sportivnaja medicina: nauka i praktika*, 2013, 1(10), 40–41.

Bazarin K.P., Savchenko A.A. Osobennosti metabolicheskoy aktivnosti nejtrofil'nyh granulocitov u sportsmenov v dinamike trenirovochnogo cikla [Features of the metabolic activity of neutrophil granulocytes in athletes in the dynamics of the training cycle]. In: *Sportivnaja medicina: nauka i praktika*, 2013, 1(10), 246–247.

Bazarin K.P., Savchenko A.A. Special Features of the State of Functional Activity of Neutrophil Granulocytes in Blood During High Level of Physical Exercises. In: *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. Soc. Sci.*, 2011, 9, 1251–1259.

Bazarin K.P., Savchenko A.A., Aleksandrova L.I. Izmenenie funkcional'noj aktivnosti nejtrofil'nyh granulocitov krovi u kvalificirovannyh sportsmenov [Changes in the functional activity of neutrophil granulocytes of blood in qualified athletes]. In: *Bjulleten' VSNC SO RAMN*, 2013, 6, 16–18.

Bazarin K.P., Savchenko A.A., Gvozdev I.I. Metabolicheskie mehanizmy hemiljumescentnoj aktivnosti nejtrofil'nyh granulocitov u kvalificirovannyh sportsmenov [Metabolic mechanisms of chemiluminescent activity of neutrophil granulocytes in qualified athletes]. In: *Bjulleten' VSNC SO RAMN*, 2015, 6, 7–10.

Castell L.M. et. al. Exercise-induced illness and inflammation: can immunonutrition and iron help? In: *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 2018, 3, 1–26. DOI: 10.1123/ijsnem.2018–0288.

Khan T.A. et.al. Expanding the clinical and genetic spectrum of G6PD deficiency: The occurrence of BCGitis and novel missense mutation. In: *Microb. Pathog.*, 2017, 102, 160–165. DOI: 10.1016/j.micpath.2016.11.025.

Gleeson M. Immune function in sport and exercise. In: *J. Appl. Physiol.*, 2007, 103, 693–699.

Leben R. et. fl. Phasor-Based Endogenous NAD(P)H Fluorescence Lifetime Imaging Unravels Specific Enzymatic Activity of Neutrophil Granulocytes Preceding. In: *Int. J. Mol. Sci.*, 2018, 19(4). DOI:10.3390/ijms19041018.

Leite G.S.F. et. al. Jr. Probiotics and sports: a new magic bullet? In: *Nutrition*, 2018, 22(60), 152–160. DOI: 10.1016/j.nut.2018.09.023.

Nieman D. C., Lila M. A., Gillitt N. D. Immunometabolism: A multi-omics approach to interpreting the influence of exercise and diet on the immune system. In: *Annu. Rev. Food. Sci. Technol.*, 2019, 11. DOI: 10.1146/annurev-food-032818-121316.

Savchenko A. A. Opredelenie aktivnosti NAD(P)-zavisimyh degidrogenaz v nejtrofil'nyh granulocitah bioluminescentnym metodom [Determination of the activity of NAD(P)-dependent dehydrogenases in neutrophil granulocytes by bioluminescent method]. In: *Bjulleten' jeksperimental'noj biologii i mediciny [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]*, 2015, 5, 656–660.

Savchenko A. A., Bazarin K. P. Sostojanie aktivnosti NAD- i NADF-zavisimyh degidrogenaz v nejtrofil'nyh granulocitah u sportsmenov v dinamike trenirovochnogo cikla [The state of activity of NAD- and NADP-dependent dehydrogenases in neutrophil granulocytes in athletes in the dynamics of training cyclativity of blood neutrophils under the influence of physical exertion]. In: *J. Sib. Fed. Univ. Biology.*, 2013, 6 (2), 151–162.

Savchenko A. A., Borisov A. G. *Osnovy klinicheskoy immunometabolomiki* [Fundamentals of clinical immunometabolomics]. Novosibirsk, 2012, 263 p.

Savchenko A. A., Suncova L. I. Vysokochuvstvitel'noe opredelenie aktivnosti degidrogenaz v limfocitah perifericheskoy krovi bioluminescentnym metodom [Highly sensitive determination of dehydrogenase activity in peripheral blood lymphocytes by bioluminescent method]. In: *Laboratornoe delo*, 2011, 11, 23–25.

Siler U. et. al. Severe glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency leads to susceptibility to infection and absent NETosis. In: *J. Allergy Clin. Immunol.*, 2017, 139(1), 212–219. – doi: 10.1016/j.jaci.2016.04.041.

Tiernan C. et. al. Salivary IgA as a predictor of upper respiratory tract infections and relationship to training load in elite rugby union players. In: *J. Strength. Cond. Res.*, 2019, 23. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003019

Xiao F. et. al. Reduction of T Cells and Hsa-miR 150–5p in female canoeing athletes: preliminary evidence between exercise training and immune. In: *J. Strength. Cond. Res.*, 2019, 17. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002924.