

DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr105659>

Влияние специализированных продуктов питания на основе свекольного сока на повышение работоспособности спортсменов циклических видов спорта

А.Е. Шестопапов^{1, 2}, Ж.В. Гришина¹, Е.В. Ломазова¹, А.В. Калинин³, В.С. Фещенко¹, А.В. Жолинский¹

¹ Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации, Москва, Российская Федерация

² Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Российская Федерация

³ Городской врачебно-физкультурный диспансер, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Согласно результатам исследований, концентрации нитратов и нитритов в плазме крови увеличиваются при приёме пищевых добавок, содержащих нитраты. Такое увеличение не только способствует увеличению производительности тренировки за счёт активации нитратного пути энергообеспечения мышечной деятельности, но и в целом улучшает физическую работоспособность спортсменов.

Цель исследования — оценить влияние употребления свекольного сока как источника нитратов на работоспособность биатлонистов-спринтеров.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 40 мужчин-биатлонистов в возрасте от 18 до 22 лет. Исследование проходило в условиях учебно-тренировочного сбора летом 2017 г. Спортсмены были разбиты на 2 группы — опытную и контрольную. Опытной группе 2 раза в день после каждой тренировки предлагался препарат, содержащий сок свёклы специального сорта; спортсмены контрольной группы после тренировок ничего не принимали. До начала эксперимента и спустя 20 дней приёма препарата было выполнено нагрузочное тестирование до отказа работы, а также выполнен биохимический и общий анализ крови.

Результаты. У спортсменов опытной группы на фоне приёма свекольного сока наблюдались уменьшение поглощения кислорода на килограмм массы тела и увеличение пульса в момент анаэробного порога, а также увеличение времени нагрузки, что указывает на повышение выносливости при анаэробной нагрузке. Кроме этого, на фоне приёма препарата свекольного сока повышались такие показатели крови, как содержание железа, коэффициент насыщения трансферрина, концентрация гемоглобина, средний объём эритроцитов.

Заключение. Данные изменения показателей кислородтранспортной системы крови могут быть одним из механизмов, через который экзогенные нитраты реализуют своё действие при повышении работоспособности в анаэробной фазе у спортсменов циклических видов спорта.

Ключевые слова: свекольный сок; нитраты; биатлон; работоспособность.

Как цитировать

Шестопапов А.Е., Гришина Ж.В., Ломазова Е.В., Калинин А.В., Фещенко В.С., Жолинский А.В. Влияние специализированных продуктов питания на основе свекольного сока на повышение работоспособности спортсменов циклических видов спорта // Клиническое питание и метаболизм. 2022. Т. 3, № 1. С. 19–27. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr105659>

DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr105659>

The effect of beet juice-based foods on the performance of athletes in cyclic sports

Aleksandr E. Shestopalov^{1, 2}, Zhanna V. Grishina¹, Elena V. Lomazova¹, Andrey V. Kalinin³, Vladimir S. Feshchenko¹, Andrey V. Zholinsky¹

¹ Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russian Federation

² Federal Scientific and Clinical Center for Reanimation and Rehabilitation, Moscow, Russian Federation

³ Saint Petersburg State Healthcare Institution City Sports Dispensary, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Modern data from the scientific literature indicate that nitrate, when added to food, can serve as a precursor of nitric oxide (NO). According to research results, the concentrations of nitrates and nitrites in plasma increase when subjects are taking dietary supplements containing nitrates. Such an increase not only contributes to training performance by activating the nitrate pathway of energy supply to muscle activity but also generally improves physical performance.

AIMS: To evaluate the effect of consumption of beet juice, as a source of nitrates, on the performance of biathletes-sprinters.

MATERIALS AND METHODS: Forty male biathletes aged from 18 to 22 years took part in the study. The study took place in a training camp in the summer of 2017. The athletes were divided into an experimental group and a control group. The experimental group was given a preparation containing beet juice of a special variety twice daily after each training session, and the athletes of the control group did not consume anything after training sessions. Before the experiment and after 20 days of intervention, load testing before work refusal was carried out, as well as biochemical and general blood analysis.

RESULTS: In the athletes of the experimental group, who were consuming beet juice, there was a decrease in oxygen uptake per kilogram of body weight and an increase in heart rate at the moment of anaerobic threshold, as well as an increase in load time, which indicates an increase in endurance during anaerobic exercise. This parameter is one of the limiting factors of performance in cyclic sports. In addition, increases in blood iron content, transferrin saturation, hemoglobin concentration, and average erythrocyte volume were observed in participants who consumed the beet juice preparation.

CONCLUSIONS: The observed changes in indicators of the oxygen-transport system of the blood may be one of the mechanisms through which exogenous nitrates realize their positive effect on performance in the anaerobic phase.

Keywords: beet juice; nitrates; biathlon; performance.

To cite this article

Shestopalov AE, Grishina ZhV, Lomazova EV, Kalinin AV, Feshchenko BC, Zholinsky AV. The effect of beet juice-based foods on the performance of athletes in cyclic sports. *Clinical nutrition and metabolism*. 2022;3(1):19–27. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr105659>

Received: 07.04.2022

Accepted: 22.04.2022

Published: 20.05.2022

ОБОСНОВАНИЕ

В профессиональном спорте чрезмерные физические нагрузки, иногда превосходящие уровень адаптации функциональных систем, требуют всё более качественного подбора специализированных продуктов питания с учётом индивидуальных особенностей метаболизма спортсменов. В спорте высших достижений поиск новых средств, направленных на улучшение функционального состояния, ускорение восстановления спортсменов, является актуальным направлением последнего десятилетия.

Известно, что нитраты и нитриты считались инертными побочными продуктами метаболизма оксида азота (NO), но последние данные свидетельствуют о том, что добавление нитрата в пищу может служить предшественником NO через нитрат-, → нитрит-, → NO-зависимый путь [1]. Различные исследования показали, что концентрации нитратов и нитритов в плазме увеличиваются при приёме пищевых добавок, содержащих нитраты [2]. Это увеличение, в свою очередь, ведёт к улучшению производительности тренировки за счёт активации нитратного пути энергообеспечения мышечной деятельности [3]. В качестве диетической добавки для введения в организм человека дополнительного количества нитратов часто используется свекольный сок.

Большинство ранних работ об эргогенных эффектах, вызванных приёмом нитратов, было сосредоточено на видах спорта, где лимитирующим фактором является выносливость, в то время как нагрузке высокой интенсивности было уделено мало внимания. Недавние исследования демонстрируют, что пищевой нитрат опосредует своё влияние на повышение производительности тренировок через мышечные волокна 2-го типа [4]. S.K. Ferguson и соавт. [4] для оценки влияния пищевых добавок нитратов на кровоток в организме во время выполнения упражнений субмаксимальной мощности использовали модель крысы. Увеличение кровотока и сосудистой проводимости в двигающихся конечностях наблюдалось преимущественно при быстром подёргивании мышечных волокон. В соответствии с этими наблюдениями A. Hernandez и соавт. [5] сообщили, что диетическое добавление нитрата улучшает внутриклеточный обмен кальция в быстрых мышечных волокнах мышей. Основываясь на этих выводах, можно предположить, что эргогенные эффекты нитрата могут быть наиболее выражены в мышечных волокнах II типа, которые отвечают за выполнение короткой высокоинтенсивной работы.

С этой позиции наиболее интересно исследование, проведенное британскими учёными под руководством T. Clifford [6]. Было изучено влияние свекольного сока на следующие показатели спринтеров: максимальные изометрические произвольные сокращения (maximum voluntary isometric contraction, MIVC), сила прыжка против воздействия (countermovement jump, CMJ), индекс реактивной силы (reactive strength index, RSI), болевой порог (pressure pain threshold, PPT), а также концентрация

креатинкиназы (creatine kinase, CK), высокочувствительного C-реактивного белка (high sensitivity C-reactive protein, hs-CRP), карбонильных белков (protein carbonyls, PC), гидропероксидазных липидов (lipid hydroperoxides, LOOH) и свободных аскорбиловых радикалов. Спортсмены принимали свекольный сок в течение 3 дней, после чего выполняли первый спринт-тест (20×30 м; repeated sprint tests, RST1). Спустя 72 ч выполняли повторный спринт-тест (RST2). В результате данного исследования было установлено, что после первого спринт-теста (RST1) сила прыжка и индекс реактивной силы в опытной группе возросли по сравнению с контрольной на 7,6%, после второго теста (RST2) — на 13,8% ($p < 0,05$). Уровень болевой порога в опытной группе увеличился на 10,4%. Различий между опытной и контрольной группой по времени выполнения спринт-теста или индексу усталости не обнаружено. MIVC и биохимические показатели ($p > 0,05$) существенно не отличались, что позволило авторам сделать следующий вывод: приём свекольного сока ведёт к снижению показателей CMJ и RSI, но не оказывает никакого эффекта на окислительный стресс и эффективность спринтерских показателей [6].

Ещё одно исследование, посвящённое изучению эффектов свекольного сока, проведено группой голландских исследователей под руководством A. Semark [7]. В данном исследовании 12 мужчин-велосипедистов (31 ± 3 года, $VO_{2max} = 58 \pm 2$ мл / (кг · мин) [W_{max}] = 342 ± 10 Вт, где VO_{2max} — субмаксимальное поглощение кислорода, W_{max} — субмаксимальная нагрузка) в течение 6 дней принимали свекольный сок (140 мл/день, что соответствует 8 ммоль/день нитрата) или плацебо. Спустя 6 дней они в течение 60 мин выполняли нагрузочный тест на велоэргометре при субмаксимальной нагрузке (2×30 мин при 45 и 65% W_{max} соответственно), после чего наступал 10-минутный регистрируемый период. Данный период в опытной группе спортсменов составил 953 ± 18 сек, в контрольной — 965 ± 18 сек ($p < 0,005$), мощность работы при приёме свекольного сока возросла с 294 ± 12 до 288 ± 12 Вт ($p < 0,05$). Показатель VO_2 был ниже в опытной группе в сравнении с группой плацебо: 45% $W_{max} = 1,92 \pm 0,06$ против $2,02 \pm 0,09$ л/мин, 65% W_{max} $2,94 \pm 0,12$ против $3,11 \pm 0,12$ л/мин ($p < 0,05$). Энергетические субстраты, концентрация лактата, глюкозы и инсулина в крови в группах не различались. Таким образом, приём свекольного сока в течение 6 дней уменьшает VO_2 во время субмаксимальной нагрузки и улучшает время выполнения теста у профессиональных велосипедистов [7].

Несмотря на наличие литературных данных, механизм действия нитратов, содержащихся в свекольном соке, до конца не ясен, в том числе не стандартизирована схема приёма нитратов (концентрация, кратность приёма и дозировка).

Цель исследования — расширение представлений о действии добавки пищевого нитрата (свекольного сока) на биатлонистов на этапе учебно-тренировочного сбора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено проспективное контролируемое сравнительное рандомизированное исследование у спортсменов-биатлонистов в период летнего учебно-тренировочного сбора.

Описание медицинского вмешательства

Методом открытых конвертов спортсмены разделены на две рандомизированные группы: опытную группу, в рацион которых была введена биологически активная добавка к пище (БАД) ExtraBeetOx, и группу сравнения (контрольную), спортсмены которой не использовали БАД. Спортсмены опытной группы принимали по 1 флакону БАД 2 раза в день после каждой тренировки в течение 20 дней.

ExtraBeetOx (Академия-Т, Россия) представляет собой биологически активную добавку к пище, содержащую фракционированный свекольный сок, полученный из уникального сорта свёклы, комплекс LipoFer — источник легкоусвояемого липосомального железа, Vinitrox — запатентованная смесь экстрактов винограда и яблока.

До начала приёма БАД и спустя 20 дней были измерены и оценены следующие показатели субмаксимального нагрузочного тестирования, выполненного на велотренажёре до отказа работы: пульс при достижении порога анаэробного обмена (ПАНО), максимальный пульс, мощность нагрузки при достижении ПАНО, максимальная нагрузка, поглощение кислорода при достижении анаэробного порога (максимальное потребление кислорода, МПК), а также время выполнения нагрузки (сек). Изучены показатели общего и биохимического анализа крови.

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с помощью программы IBM SPSS Statistics. Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В исследовании приняли участие 40 мужчин — биатлонистов-спринтеров (20 человек опытной группы и 20 человек группы сравнения), уровень спортивной подготовки — кандидаты в мастера спорта или мастера спорта (табл. 1).

К лимитирующим факторам в видах спорта, где основным качеством является выносливость, относится МПК (интегральный показатель, отражающий максимальное количество поглощённого кислорода). АНП — величина анаэробного порога, отражающая момент включения анаэробного пути энергопродукции (показатель отражает аэробную способность спортсмена и может быть использован для выбора интенсивности тренировок). Экономичность работы, или метаболическая стоимость, отражает эффективность доставки кислорода к мышцам во время нагрузки (миллилитр кислорода на килограмм массы тела спортсмена на километр пути, мл/кг/км) [8].

Основные результаты исследования

В нашем исследовании для оценки влияния добавки свекольного сока в качестве дополнительного источника нитратов был проведён кардиореспираторный тест до отказа на велоэргометре. Начальное сопротивление составляло 100 Вт и увеличивалось на 25 Вт каждую минуту. Для измерения показателей кардиореспираторной системы спортсмена использовали метабограф FitmatePro (Cosmed, Италия). Результаты данного теста отражены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что в контрольной группе спортсменов, которые не принимали БАД, за 20 дней не произошло достоверных изменений показателей кардиореспираторного теста, в то время как в опытной группе спортсменов спустя 20 дней приёма БАД достоверно увеличился пульс при достижении ПАНО (с $144,20 \pm 2,64$ до $152,20 \pm 10,89$). Кроме этого, в опытной группе спустя 20 дней приёма свекольного сока отмечалось уменьшение МПК с $25,73 \pm 4,39$ до $20,05 \pm 2,82$, т.е. происходило снижение потребления кислорода на килограмм массы тела, что свидетельствовало об увеличении экономичности мышечной работы, а следовательно, увеличении выносливости.

Таблица 1. Характеристики спортсменов, принимающих участие в исследовании

Table 1. Characteristics of athletes participating in the study

Показатель	Опытная группа, $M \pm m$, $n=20$	Контрольная группа, $M \pm m$, $n=20$
Возраст, лет	20 ± 2	20 ± 2
Рост, см	$176,67 \pm 5,85$	$169,83 \pm 4,52$
Масса тела, кг	$69,50 \pm 6,55$	$65,20 \pm 7,81$
Индекс массы тела, $кг/м^2$	$22,25 \pm 1,77$	$22,50 \pm 1,20$
Характер тренировок	Учебно-тренировочный сбор	Учебно-тренировочный сбор

Таблица 2. Изменение показателей кардиореспираторного тестирования на велоэргометре до отказа работы**Table 2.** Change in indicators of cardiorespiratory testing on a bicycle ergometer "to failure"

Показатель	Контрольная группа, М±m, n=20		Опытная группа, М±m, n=20		p
	До приёма	После приёма	До приёма	После приёма	
Максимальный пульс, уд/мин	184,80±3,54	185,80±2,99	190,00±8,69	187,00±4,32	>0,05
Пульс при ПАНО, уд/мин	144,20±6,79	145,60±4,32	144,20±2,64	152,20±10,89*	<0,05
Мощность максимальной нагрузки, Вт	335,00±30,00	345,00±18,71	355,00±36,74	375,00±30,00	>0,05
Мощность нагрузки при ПАНО, Вт	215,00±33,91	225,00±22,36	175,00±59,16	175,00±10,00	>0,05
МПК, мл / (кг × мин)	36,72±10,00	37,62±7,50	25,73±4,39	20,05±2,82*	<0,05
Время нагрузки, сек	591,20±78,85	619,40±57,11	595,50±96,22	636,75±32,00	>0,05

Примечание. * $p < 0,05$ — уровень достоверности различий в опытной группе спортсменов. ПАНО — порог анаэробного обмена; МПК — максимальное потребление кислорода. Жирным шрифтом выделены значения достоверности отличий между опытной и контрольной группами в конечной точке.

Note: * $p < 0,05$ — the level of significance of differences in the experimental group of athletes. ANOR, threshold of anaerobic metabolism; MPC is the maximum oxygen consumption. Bold font indicates the significance of differences between the experimental and control groups at the end point.

До начала эксперимента и спустя 20 дней у исследуемых спортсменов была взята венозная кровь натощак для проведения общего и биохимического анализа с целью выяснения некоторых аспектов механизма действия добавки экзогенных нитратов. Результаты представлены в табл. 3.

Наше внимание привлекло изменение показателей кислородтранспортной системы крови, однако, как видно из табл. 3, помимо данных показателей, спустя 20 дней происходит достоверное уменьшение содержания мочевины в опытной группе, что может указывать на нормализацию обмена белка в условиях учебно-тренировочного

Таблица 3. Общий и биохимический анализ крови спортсменов опытной и контрольной группы до приёма биологически активной добавки и спустя 20 дней приёма**Table 3.** General and biochemical analysis of the blood of athletes of the experimental and control groups before taking a dietary supplement and after 20 days of taking

Показатель	Контрольная группа, n=20, М±m		Опытная группа, n=20, М±m		p
	До приёма	После приёма	До приёма	После приёма	
Общий анализ крови					
Аланинаминотрансфераза	19,00±2,4	18,72±2,6	21,35±1,3	21,15±0,93	>0,05
Аспартатаминотрансфераза	27,44±1,9	31,30±1,6	29,38±3,5	37,06±2,7	>0,05
Триглицериды	0,75±0,1	0,71±0,08	0,96±0,15	0,64±0,09*	>0,05
Глюкоза	4,40±0,14	4,44±0,16	4,42±0,20	4,63±0,24	>0,05
Креатинфосфокиназа	467,40±150,8	431,20±162,4	619,67±140,2	368,83±70,5*	>0,05
Альбумин	51,00±0,7	51,40±1,4	49,16±0,6	48,33±0,5	>0,05
Креатинин	82,00±3,2	80,20±3,1	78,50±2,0	77,33±2,1	>0,05
Мочевина	5,54±0,46	5,48±0,51	5,20±0,34	4,17±0,09*	<0,05
Общий белок	71,40±1,72	71,20±1,5	73,5±1,06	73,83±0,87	>0,05
Фосфор	1,20±0,095	1,15±0,092	1,25±0,034	1,10±0,05	>0,05
Железо	15,04±2,71	16,90±1,97	15,68±1,78	21,18±0,28*	<0,05
Трансферрин	2,74±0,12	2,89±0,15	2,53±0,07	2,31±0,15*	<0,05
Коэффициент насыщения трансферрина, %	23,22±4,19	23,68±3,36	24,70±2,74	32,25±1,18*	<0,05

Таблица 3. Окончание

Table 3. Ending

Показатель	Контрольная группа, n=20, M±m		Опытная группа, n=20, M±m		p
	До приёма	После приёма	До приёма	После приёма	
Биохимический анализ крови					
Лейкоциты	4,56±0,41	4,65±0,55	4,47±0,68	4,79±0,65*	>0,05
Эритроциты	5,12±0,07	5,12±0,08	3,78±0,33	4,90±0,25*	>0,05
Гемоглобин	142,2±1,5	144,4±1,36	132,5±1,93	145,16±3*	>0,05
Гематокрит	40,6±0,22	41,06±0,39	40,35±1,16	40,51±0,93	>0,05
Средний объём эритроцитов	83,5±0,69	84,84±1	79,98±0,35	84,42±0,86*	>0,05
Лимфоциты, %	37,20±1,21	35,04±2,28	35,23±4	35,90±3,77	>0,05
Лимфоциты, абс.	1,90±0,17	1,84±0,09	1,87±0,12	1,89±0,16	>0,05
Тромбоциты	207,60±24,75	226,40±8,11	236,50±17,54	235,83±16,10	>0,05

Примечание. * $p < 0,05$ — уровень достоверности различий в опытной группе. Жирным шрифтом выделены значения достоверности отличий между опытной и контрольной группами в конечной точке.

Note: * $p < 0,05$ — the level of significance of differences in the experimental group. Bold font indicates the significance of differences between the experimental and control groups at the end point.

сбора. В опытной группе происходит незначительное снижение содержания альбуминов и общего белка в крови, что может быть следствием увеличения объёма циркулирующей крови на фоне физических нагрузок, отражающего процессы адаптации организма к высоким нагрузкам [9]. Наиболее информативными являются изменения показателей системы транспорта кислорода в крови: содержание железа, уровень трансферрина, коэффициент насыщения трансферрина, количество эритроцитов, содержание гемоглобина, гематокрит, средний объём эритроцитов (рисунок).

У спортсменов опытной группы на фоне приёма свекольного сока спустя 20 дней происходит достоверное увеличение содержания железа в крови с $16,90 \pm 1,97$ до $21,18 \pm 0,28$, коэффициент насыщения трансферрина с $23,68 \pm 3,36$ до $32,25 \pm 1,18$, тогда как содержание трансферрина уменьшается с $2,89 \pm 0,15$ до $2,31 \pm 0,15$.

Кроме того, в опытной группе происходит достоверное увеличение гемоглобина на 11%, тогда как в контрольной группе — всего на 1%. Схожая динамика наблюдается и в изменении показателя среднего объёма эритроцитов. В опытной группе этот показатель достоверно увеличился на 7%, в контрольной группе — на 2%. Возможно, изменения данных показателей отражает действие экзогенного нитрата на кислородтранспортную систему крови, увеличивая доставку кислорода к мышцам посредством стимуляции образования эритроцитов и сопутствующих элементов кислородтранспортной системы, таких как гемоглобин, железо, процент насыщения трансферрина.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Прием добавки ExtraBeetOx улучшает показатели спортсменов при нагрузочном тестировании, увеличивая пульс ПАНО и уменьшая МПК. Помимо этого, улучшаются показатели кислородтранспортной системы крови, за счет чего, скорее всего, объясняются наблюдаемые эффекты данной добавки.

Обсуждение основного результата исследования

Наблюдаемое в исследовании увеличение пульса у спортсменов при ПАНО может свидетельствовать о более позднем включении гликолиза в энергообеспечение мышечной работы, что ведёт к более позднему началу накопления лактата в мышцах, а следовательно, к повышению выносливости, т.к. накопление лактата является одним из лимитирующих факторов выносливости спортсменов. О повышении выносливости также говорит наблюдаемое уменьшение МПК. Это подтвердилось и в изменениях показателей кислородтранспортной системы крови (увеличение содержания гемоглобина и железа в крови, среднего объёма эритроцитов и коэффициента насыщения трансферрина). Изменения данных показателей может отражать действие добавки нитратов на увеличение переноса кислорода к мышцам, что обеспечивает их лучшее энергообеспечение и, соответственно, повышает выносливость [10]. Данные эффекты ExtraBeetOx, скорее всего, обусловлены не только свекольным соком, но и липосомальным железом, входящим в состав добавки.

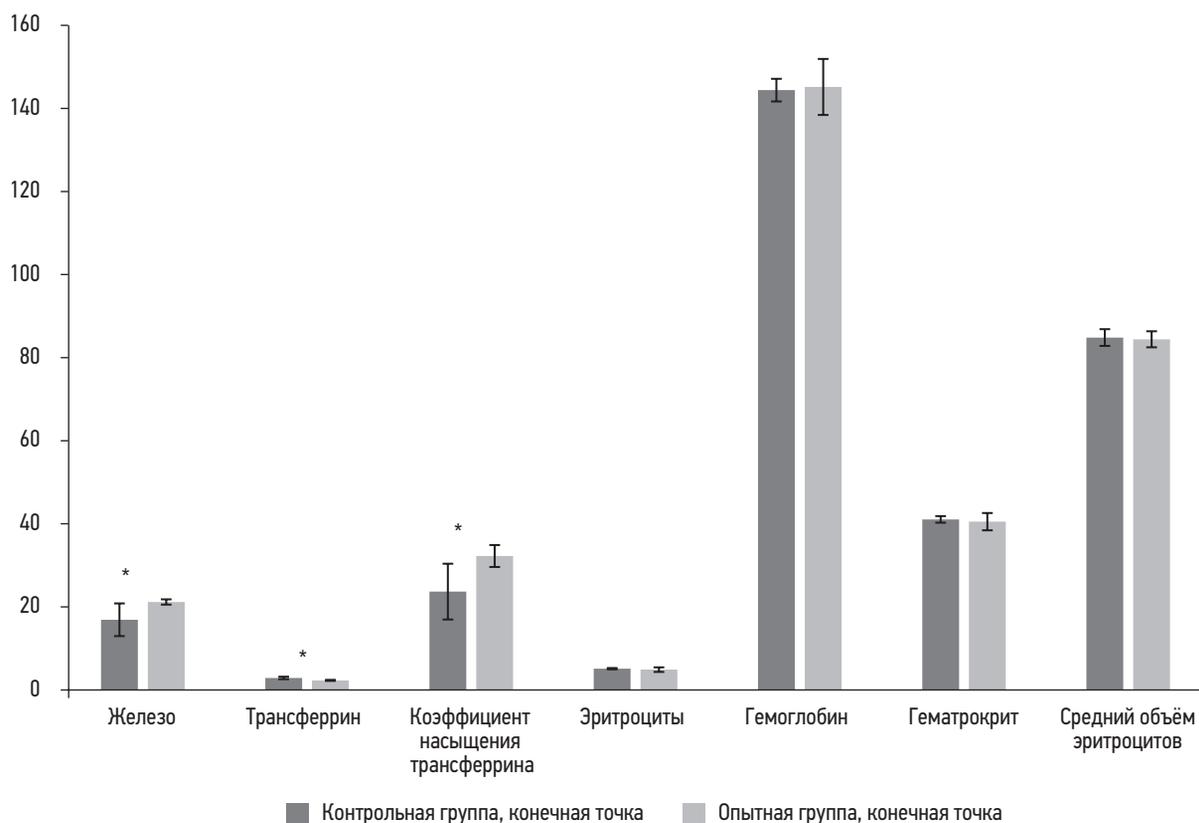


Рис. Изменение показателей кислородтранспортной системы крови спортсменов опытной и контрольной групп спустя 20 дней приёма биологически активной добавки, содержащей свекольный сок, $M \pm m$. * $p < 0,05$.

Fig. Changes in the parameters of the oxygen transport system of the blood of athletes in the experimental and control groups after 20 days of taking a dietary supplement containing beetroot juice, $M \pm m$. * $p < 0,05$.

Ограничения исследования

Ограничения данного исследования могут быть связаны с малым объемом выборки спортсменов. А также, вероятно, при изменении характера и режима нагрузок влияние исследуемой добавки может меняться, поскольку при проведении эксперимента все спортсмены находились с идентичных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исходя из полученных данных, можно предположить, что добавление экзогенного нитрата в организм спортсмена с пищей опосредует своё антигипоксическое действие через кислородтранспортную систему крови: увеличиваются содержание гемоглобина и сывороточного железа, а также средний объём эритроцитов и коэффициент насыщения трансферрина. Вероятно, подобные изменения кислородтранспортной системы под влиянием добавки нитратов повышают выносливость спортсменов в условиях анаэробной мышечной работы, о чём свидетельствуют полученные нами данные нагрузочного тестирования: происходит снижение потребления кислорода на килограмм массы тела, что указывает

на увеличение экономичности мышечной работы, а следовательно, увеличение выносливости. Кроме этого, увеличивается пульс при ПАНО, а это может свидетельствовать о более позднем включении гликолиза в энергообеспечение мышечной работы, что ведёт к более позднему началу накопления лактата, а следовательно, к повышению выносливости, т.к. накопление лактата является одним из лимитирующих факторов выносливости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках прикладной научно-исследовательской работы «Разработка типовых программ фармакологического обеспечения и нутритивной поддержки спортсменов сборных команд РФ», шифр «Коррекция-17» по государственному контракту № 67.003.17.800

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили

финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.Е. Шестопалов — идея и разработка дизайна исследования, проведение эксперимента, написание и редактирование текста статьи; Ж.В. Гришина — проведение эксперимента, написание и редактирование текста статьи, математическая обработка данных; Е.В. Ломазова, А.В. Калинин — проведение эксперимента, сбор данных; В.С. Фещенко — редактирование текста статьи; А.В. Жолинский — редактирование текста статьи, утверждение окончательного варианта рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The article was carried out as part of the applied research work “Development of standard programs for pharmacological support and nutritional support for athletes of the

national teams of the Russian Federation”, code “Correction-17” under the state contract № 67.003.17.800

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. А.Е. Shestopalov — the idea and design of the study, conducting the experiment, writing and editing the text of the article. Zh.V. Grishina — conducting the experiment, writing and editing the text of the article, mathematical data processing. E.V. Lomazova, A.V. Kalinin — conducting the experiment, data collection. V.S. Feshchenko — editing the text of the article. A.V. Zholinsky — editing the text of the article, approving the final version of the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lundberg J.O., Weitzberg E., Lundberg J.M., Alving K. Intra-gastric nitric oxide production in humans: measurements in expelled air // *J Gut*. 1994. Vol. 35, N 11. P. 1543–1546. doi: 10.1136/gut.35.11.1543
2. Wylie L.J., Kelly J., Bailey S.J., et al. Beetroot juice and exercise: pharmacodynamic and dose-response relationships // *J Appl Physiol*. 2013. Vol. 115, N 3. P. 325–336. doi: 10.1152/jappphysiol.00372.2013
3. Bailey S.J., Winyard P., Vanhatalo A., et al. Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans // *J Appl Physiol*. 2009. Vol. 107, N 1. P. 1144–1155. doi: 10.1152/jappphysiol.00722.2009
4. Ferguson S.K., Hirai D.M., Copp S.W., et al. Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats // *J Physiol*. 2013. Vol. 591, N 2. P. 547–557. doi: 10.1113/jphysiol.2012.243121
5. Hernandez A., Schiffer T.A., Ivarsson N., et al. Dietary nitrate increases tetanic [Ca₂₊]_i and contractile force in mouse fast-twitch muscle // *J Appl Physiol*. 2012. Vol. 590, N 15. P. 3575–3583. doi: 10.1113/jphysiol.2012.232777

6. Clifford T., Berntzen B., Davison G.W., et al. Effects of beetroot juice on recovery of muscle function and performance between bouts of repeated sprint exercise // *J Nutrients*. 2016. Vol. 8, N 8. P. 506. doi: 10.3390/nu8080506
7. Semark A., Noakes T.D., Gibson A., Lambert M.I. The effect of a prophylactic dose of flurbiprofen on muscle soreness and sprinting performance in trained subjects // *J Sports Sci*. 1999. Vol. 17, N 3. P. 197–203. doi: 10.1080/026404199366091
8. Rusko H.K., Tikkanen H.O., Peltonen J.E. Oxygen manipulation as an ergogenic aid // *J Curr Sports Med Rep*. 2003. Vol. 2, N 4. P. 233–238. doi: 10.1249/00149619-200308000-00011
9. Никулин Б.А., Родионова И.И. Биохимический контроль в спорте: науч.-метод. пособие. Москва: Советский спорт, 2011. 232 с.
10. Nyakayiru J., Jonvik K.L., Trommelen J., et al. Beetroot juice supplementation improves high-intensity intermittent type exercise performance in trained soccer players // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, N 3. P. 314. doi: 103390/nu9030314

REFERENCES

1. Lundberg JO, Weitzberg E, Lundberg JM, Alving K. Intra-gastric nitric oxide production in humans: measurements in expelled air. *J Gut*. 1994;35(11):1543–1546. doi: 10.1136/gut.35.11.1543
2. Wylie LJ, Kelly J, Bailey SJ, et al. Beetroot juice and exercise: pharmacodynamic and dose-response relationships. *J Appl Physiol*. 2013;115(3):325–336. doi: 10.1152/jappphysiol.00372.2013
3. Bailey SJ, Winyard P, Vanhatalo A, et al. Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol*. 2009;107(1):1144–1155. doi: 10.1152/jappphysiol.00722.2009
4. Ferguson SK, Hirai DM, Copp SW, et al. Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats. *J Physiol*. 2013;591(2):547–557. doi: 10.1113/jphysiol.2012.243121
5. Hernandez A, Schiffer TA, Ivarsson N, et al. Dietary nitrate increases tetanic [Ca₂₊]_i and contractile force in mouse fast-twitch muscle. *J Appl Physiol*. 2012;590(15):3575–3583. doi: 10.1113/jphysiol.2012.232777

6. Clifford T, Berntzen B, Davison GW, et al. Effects of beetroot juice on recovery of muscle function and performance between bouts of repeated sprint exercise. *J Nutrients*. 2016;8(8):506. doi: 10.3390/nu8080506
7. Semark A, Noakes TD, Gibson A, Lambert MI. The effect of a prophylactic dose of flurbiprofen on muscle soreness and sprinting performance in trained subjects. *J Sports Sci*. 1999;17(3):197–203. doi: 10.1080/026404199366091
8. Rusko HK, Tikkanen HO, Peltonen JE. Oxygen manipulation as an ergogenic aid. *J Curr Sports Med Rep*. 2003;2(4):233–238. doi: 10.1249/00149619-200308000-00011
9. Nikulin BA, Rodionova II. *Biochemical Control in Sports*. Moscow: Sovetskiy sport; 2011. 232 p. (In Russ).
10. Nyakayiru J, Jonvik KL, Trommelen J, et al. Beetroot juice supplementation improves high-intensity intermittent type exercise performance in trained soccer players. *Nutrients*. 2017;9(3):314. doi: 10.3390/nu9030314

ОБ АВТОРАХ

* **Шестопалов Александр Ефимович**, д.м.н., профессор;
адрес: Россия, 121059, Москва,
ул. Б. Дорогомиловская, д. 5;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5278-7058>;
eLibrary SPIN: 7531-6925; e-mail: ashest@yandex.ru

Гришина Жанна Валерьевна, к.б.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9051-9580>;
eLibrary SPIN: 7141-5643; e-mail: grinzanetk@gmail.com

Ломазова Елена Владимировна, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6034-9878>;
eLibrary SPIN: 2166-5068; e-mail: evlomazova@mail.ru

Калинин Андрей Вячеславович, д.м.н., профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4401-4538>;
eLibrary SPIN: 4733-2451; e-mail: Andrei_kalinin@mail.ru

Фещенко Владимир Сергеевич, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4574-6506>;
eLibrary SPIN: 4795-5662; e-mail: vfmed@yandex.ru

Жолинский Андрей Владимирович, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>;
eLibrary SPIN: 8111-9694; e-mail: ZholinskiiAV@sportfmba.ru

AUTHORS' INFO

* **Aleksandr E. Shestopalov**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
address: 5, Bolshaya Dorogomilovskaya street,
Moscow, 121059, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5278-7058>;
eLibrary SPIN: 7531-6925; e-mail: ashest@yandex.ru

Zhanna V. Grishina, Cand. Sci. (Biol.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9051-9580>;
eLibrary SPIN: 7141-5643; e-mail: grinzanetk@gmail.com

Elena V. Lomazova, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6034-9878>;
eLibrary SPIN: 2166-5068; e-mail: evlomazova@mail.ru

Andrey V. Kalinin, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4401-4538>;
eLibrary SPIN: 4733-2451; e-mail: Andrei_kalinin@mail.ru

Vladimir S. Feshchenko, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4574-6506>;
eLibrary SPIN: 4795-5662; e-mail: vfmed@yandex.ru

Andrey V. Zholinsky, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0267-9761>;
eLibrary SPIN: 8111-9694; e-mail: ZholinskiiAV@sportfmba.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author