

МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ И ПАТОФИЗИОЛОГИЯ MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY AND PATHOPHYSIOLOGY

ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКТИВНОСТИ АРТЕРИЙ ВЕРТЕБРОБАЗИЛЯРНОГО БАСЕЙНА ПРИ ПРИЁМЕ ГЛЮКОЗО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО НАПИТКА С ДОБАВЛЕНИЕМ АНТИОКСИДАНТНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ ПРИ НАГРУЗОЧНОМ ТЕСТИРОВАНИИ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Трибрат Н.С.¹,
Бирюкова Е.А.¹,
Хусаинов Д.Р.¹,
Мишин Н.П.¹,
Нагаева Е.И.¹,
Бурцева Е.В.¹,
Кушнир С.К.²

¹ ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (295007, г. Симферополь, пр. Вернадского, 4, Россия)

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России (420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 49, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Трибрат Наталья Сергеевна,
e-mail: miu-miu07@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Оценка влияния глюкозо-электролитного состава с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиоксидантной активностью, на гемодинамические показатели вертебробазилярного бассейна при выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности.

Материалы и методы. В исследовании принимали участие 12 спортсменов (6 кандидатов в мастера спорта и 6 мастеров спорта) в возрасте 18–22 лет, занимающихся спортивным ориентированием в среднем 10 лет и более. Испытуемые выполняли ступенчато-возрастающую нагрузку субмаксимальной мощности, а также выполняли нагрузку субмаксимальной мощности с превентивным приёмом глюкозо-электролитного состава с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиоксидантными свойствами. Для оценки гемодинамических показателей всем испытуемым проводили ультразвуковую доплерографию сосудов мозга, оценивая показатели кровотока в вертебробазилярном бассейне, а также нагрузочные газовые пробы – в модификации гипо- и гипервентиляции; кроме того, проводили позиционную пробу.

Результаты. Однократный приём глюкозо-электролитного напитка в условиях нагрузки ступенчато-возрастающей мощности способствовал проявлению гомеостатического эффекта в отношении гемодинамических показателей артерий вертебробазилярного бассейна, о чём свидетельствует приближение к уровню донагрузочных значений максимальной систолической скорости и средней скорости кровотока в пробе с задержкой дыхания, диастолической скорости кровотока – в пробе с гипервентиляцией, показателей индекса пульсации – в торсионной пробе, в отличие от изолированного выполнения нагрузки субмаксимальной мощности, после прохождения которой изменялись как скоростные показатели, так и расчётные индексы в ходе проведения функциональных проб.

Рассмотрены основные механизмы, лежащие в основе изменения гемодинамических показателей артерий под действием ступенчато-возрастающей нагрузки, а также описаны предполагаемые механизмы, возникающие при комбинированном воздействии ступенчато-возрастающей нагрузки и приёма глюкозо-электролитного состава с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиоксидантной активностью.

Заключение. Показано, что приём глюкозо-электролитного напитка способствовал восстановлению гемодинамических показателей артерий вертебробазилярного бассейна после ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности.

Ключевые слова: нагрузочное тестирование субмаксимальной мощности, спортсмены, глюкозо-электролитный напиток, артерии вертебробазилярного бассейна

Для цитирования: Трибрат Н.С., Бирюкова Е.А., Хусаинов Д.Р., Мишин Н.П., Нагаева Е.И., Бурцева Е.В., Кушнир С.К. Изменение реактивности артерий вертебробазилярного бассейна при приёме глюкозо-электролитного напитка с добавлением антиоксидантных растительных экстрактов при нагрузочном тестировании субмаксимальной мощности. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(1): 86-100. doi: 10.29413/ABS.2023-8.1.10

Статья поступила: 09.09.2022

Статья принята: 12.01.2023

Статья опубликована: 02.03.2023

CHANGES IN THE REACTIVITY OF THE VERTEBROBASILAR ARTERIES WHEN USING GLUCOSE-ELECTROLYTE DRINK WITH ANTIOXIDANT PLANT EXTRACTS DURING SUBMAXIMAL EXERCISE TEST

Tribrat N.S.¹,
Birukova E.A.¹,
Khusainov D.R.¹,
Mishin N.P.¹,
Nagaeva E.I.¹,
Burtseva E.V.¹,
Kushnir S.K.²

¹ V.I. Vernadsky Crimean Federal University
(Vernadsky ave. 4, 295007 Simferopol,
Russian Federation)

² Kazan State Medical University
(Butlerova str. 49, Kazan 420012,
Russian Federation)

Corresponding author:
Natalia S. Tribrat,
e-mail: miu-miu07@mail.ru

ABSTRACT

The aim. To assess the effect of glucose-electrolyte composition with plant extracts having antioxidant activity on the hemodynamic parameters of vertebrobasilar system during the incrementally increasing submaximal exercise test.

Materials and methods. The study included 12 athletes (6 candidates for master of sports and 6 masters of sports) aged 18–22, who have been engaged in orienteering for 10 years and more. Time of aerobic exercise – 2 hours a day, five days a week. The study subjects performed an incrementally increasing submaximal exercise test and also submaximal exercise test with the preventive intake of a glucose-electrolyte composition with plant extracts having antioxidant properties.

To assess the hemodynamic parameters in all study subjects we used Doppler ultrasound of the cerebral vessels, evaluating vertebrobasilar system blood flow, exercise gas test in the modification of hypo- and hyperventilation, and also positional test. **Results.** A single intake of glucose-electrolyte drink under conditions of incrementally increasing exercise test contributed to the manifestation of a homeostatic effect in hemodynamic parameters of the vertebrobasilar arteries. It is evidenced by the approximation to the pre-exercise level of maximum systolic velocity and average blood velocity in the breath-holding test, of the diastolic blood velocity in the hyperventilation test, and of the pulsatility index in the torsion test, as compared to the isolated submaximal exercise test which caused the change in both velocity indicators and calculated indices during the functional tests.

The article considers the main mechanisms underlying the change in arterial hemodynamic parameters caused by incrementally increasing load, as well as describes the proposed mechanisms arising from the combined effect of an incrementally increasing load and the intake of a glucose-electrolyte composition with plant extracts having antioxidant activity.

Conclusion. It was shown that using glucose-electrolyte drink contributed to the restoration of hemodynamic parameters of the vertebrobasilar arteries after an incrementally increasing submaximal exercise test.

Key words: incrementally increasing submaximal exercise test, athletes, glucose-electrolyte drink, vertebrobasilar arteries

Received: 09.09.2022
Accepted: 12.01.2023
Published: 02.03.2023

For citation: Tribrat N.S., Biryukova E.A., Khusainov D.R., Mishin N.P., Nagaeva E.I., Burtseva E.V., Kushnir S.K. Changes in the reactivity of the vertebrobasilar arteries when using glucose-electrolyte drink with antioxidant plant extracts during submaximal exercise test. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(1): 86–100. doi: 10.29413/ABS.2023-8.1.10

ВВЕДЕНИЕ

Функциональная активность головного мозга у людей в значительной степени определяется непрерывной доставкой кислорода, метаболических питательных веществ, что определяется активной регуляцией мозгового кровотока. Поэтому сохранение адекватного кровотока в головном мозге является важнейшей задачей сердечно-сосудистой системы, в том числе в период интенсивных физических нагрузок, наряду с возрастанием потоком крови к функционирующим мышцам. В частности, во время упражнений, несмотря на значительное увеличение сердечного выброса до 300–600 % [1] и кровотока в скелетных мышцах до 800 %, отмечается умеренное увеличение потока крови в сосудах мозга на 10–30 %, что обеспечивает поддержание адекватной доставки субстрата за счёт синергетической интеграции нервной, гормональной и гуморальной систем. Согласно не так давно проведённым исследованиям, отмечается существенная гетерогенность в ответе церебральных сосудов на возрастающие нагрузки и на изменение газового состава крови [2]. Причём было показано, что наиболее выраженные изменения при выполнении интенсивных физических нагрузок на выносливость отмечаются в большей степени в сосудах вертебробазилярного бассейна, что проявляется в виде наиболее значимого прироста перфузии в позвоночных артериях в сравнении с артериями каротидного бассейна [2]. Наибольшая чувствительность к изменению газового состава крови также показана для сосудов вертебробазилярного бассейна по результатам позитронно-эмиссионной томографии, согласно которой вазомоторные реакции на гиперкапнию были выше в вертебробазилярных зонах, чем в большей части коры головного мозга, снабжаемой каротидным бассейном [3]. Соответственно, нарушение гемодинамики этого бассейна сопровождается существенными неврологическими расстройствами.

Одной из причин нарушений гемодинамики у профессиональных спортсменов являются дегидратация и гипонатриемия, возникающие при длительных (более 40 минут) интенсивных тренировках на выносливость. В случае, если потребности по воде и содержанию натрия остаются невосполненными, возможно развитие энцефалопатии вследствие перегрева [4].

В более лёгких случаях дефицит жидкости, возникающий в период длительной тренировки, является фактором, сопровождающим снижение работоспособности. При этом значительное снижение работоспособности и выносливости начинается с уровня дегидратации 2 % и выше [5], что сопровождается снижением аэробного метаболизма и, как следствие, ухудшением энергообеспечения, результатом чего является существенное снижение спортивной результативности. Так, суммарные потери жидкости и натрия во время умеренной нагрузки продолжительностью более часа при оптимальной температуре составляют 1 л и более. Дефицит жидкости инициирует высвобождение вазопрессина, активацию ренин-ангиотензин-альдостероновой системы для срочного восполнения её потерь. Следствием это-

го является возрастание вязкости крови, гиповолемия, нарастание дисфункции эндотелия, учащение частоты сердечных сокращений [6].

В работе А.Н. Мартинчик и соавт. [7] опубликованы результаты, где показано, что «основным методом регидратации у 86 % из 280 обследованных спортсменов (кандидаты и мастера спорта) является бутилированная вода. Причём в группе единоборств и силовых видов спорта воду употребляют 95–96 % спортсменов. В других видах спорта потребителей воды меньше – 67–79 %. Что касается спортивных напитков, то их используют лишь во время тренировки только 31 % высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта и незначительный процент атлетов из группы единоборств».

В 2018 г. были опубликованы дополненные клинические рекомендации Федерального медико-биологического агентства по методам регидратации организма спортсменов [7], согласующиеся с главными тезисами Научного комитета Еврокомиссии по продуктам питания, предназначенным для восполнения ежесуточных затрат при большой мышечной работе, особенно у спортсменов [8], и их спецификации. Согласно данным клиническим рекомендациям, напитки для спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта на выносливость, должны содержать как минимум два вида сахара, а также должны быть обогащёнными натрием – так называемые глюкозо-электролитные растворы или углеводно-электролитные составы. Содержание остальных микроэлементов носит необлигатный характер [9, 10], однако лишь в случае сбалансированного питания спортсменов [11].

Доказано, что при длительных физических нагрузках растворы, содержащие оптимальные концентрации сахара, улучшают работоспособность, повышают выносливость за счёт снабжения работающих мышц углеводами и предотвращения истощения запасов гликогена, поддержания кислородного баланса в крови с помощью антиоксидантов [12].

В настоящее время спортивные напитки в широком ассортименте представлены преимущественно зарубежными производителями. Отечественный товар представлен немногими позициями. Для нутриентного обогащения, роста выносливости и эффективности тренировки в спортивные напитки нередко добавляют растительные экстракты, обладающие антиоксидантными свойствами, хотя действие последних на функционирование мышечной ткани в условиях высоких нагрузок в настоящее время является дискуссионным вопросом [13], однако роль антиоксидантов для кардиоваскулярной системы, в том числе в условиях спортивных нагрузок, имеет высокий доказательный потенциал [14].

Вместе с тем с учётом биоразнообразия растительности, развитого эфиромасличного производства в Республике Крым, а также развитого сектора спортивной направленности (спортивное ориентирование, спортивный туризм) предлагается улучшение базовой рецептуры глюкозо-электролитного состава за счёт добавления водных экстрактов плодов шиповника, листа

крапивы, сока лимона, а также гидролата розмарина, обладающих выраженными антиоксидантными свойствами, а также обогащение витаминно-минеральным премиксом, что способствует нутриентному обогащению спортсменов.

Соответственно, **целью настоящего исследования** явилась оценка влияния глюкозо-электролитного состава с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиоксидантной активностью, на основе растительного сырья, произведённого в экологически чистых регионах Республики Крым, на показатели потока крови вертебробазилярного бассейна при выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование было выполнено на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского».

В исследовании принимали участие 12 спортсменов (6 кандидатов в мастера спорта и 6 мастеров спорта) в возрасте 18–22 лет, занимающихся спортивным ориентированием. Стаж спортивной нагрузки составил в среднем 10 лет и более. Режим аэробной нагрузки – по 2 часа в сутки в течение пяти дней в неделю.

Для оценки гемодинамических показателей всем испытуемым проводили ультразвуковую доплерографию (УЗДГ) сосудов, оценивая показатели кровотока в вертебробазилярном бассейне (симметричные позвоночные артерии и основная артерия), а также нагрузочные газовые пробы – в модификации гипо- и гипервентиляции; кроме того, проводили позиционную пробу. УЗДГ сосудов мозга проводили на аппарате «Сономед 300» (Нижний Новгород).

Для оценки влияния глюкозо-электролитного состава на показатели гемодинамики вертебробазилярного бассейна было проведено два цикла исследования:

1. Первый цикл исследования включал регистрацию скоростных показателей, а также расчётных индексов УЗДГ по артериям вертебробазилярного бассейна. Кроме того, в первом цикле исследования проводили функциональные пробы, включающие проведение пробы с гипер- и гиповентиляцией с одновременной регистрацией показателей УЗДГ по основной артерии и проведение позиционной пробы по симметричным позвоночным артериям, также с одновременной регистрацией показателей УЗДГ.

В ходе исследования оценивали следующие показатели кровотока по основной и по позвоночным артериям (симметричным):

V_{max} – максимальная систолическая скорость кровотока;

V_{min} – диастолическая скорость кровотока;

V_{aver} – средняя скорость кровотока;

Ri – индекс циркуляторного сопротивления (резистивности) (индекс Пурсело), который отражает состо-

яние сопротивления кровотоку дистальнее места измерения и представляет собой отношение разности максимальной систолической и конечной диастолической скоростей к максимальной систолической скорости:

$$Ri = \frac{(V_{max} - V_{min})}{V_{max}} \quad (1);$$

Pi – индекс пульсации (индекс Гослинга), который отражает упруго-эластические свойства артерий, снижается с возрастом и представляет собой отношение разности максимальных систолической и диастолической скоростей к средней скорости:

$$Pi = \frac{(V_{max} - V_{min})}{V_{aver}} \quad (2).$$

Дополнительно проводили вентиляционные пробы, позволяющие оценить состояние метаболического контура регуляции мозгового кровотока, лоцируя основную артерию.

Перед проведением пробы с задержкой дыхания испытуемого предупреждали о необходимости по команде сделать выдох и задержать дыхание на максимально возможный период. Регистрацию показателей гемодинамики в период задержки дыхания производили в момент устойчивого изменения скоростных показателей, после чего испытуемый мог вдохнуть и возобновить обычный ритм дыхания.

К проведению пробы с гипервентиляцией приступали после полного устойчивого восстановления паттерна УЗДГ. При выполнении пробы с гипервентиляцией испытуемый начинал форсированное дыхание. Мониторирование пробы с гипервентиляцией начинали с момента интенсивного дыхания, ожидая момента, когда амплитуда спектральных сигналов перестанет изменяться; на экране фиксировали последние 5–6 комплексов, после чего испытуемый возобновлял обычный ритм дыхания.

После полного восстановления паттерна УЗДГ проводили позиционную (торсионную) пробу по позвоночным артериям с двух сторон последовательно. В период проведения позиционной пробы испытуемый совершал медленный поворот головы и шеи от датчика, добиваясь максимальной амплитуды (подбородок к плечу), опуская голову таким образом, чтобы дотянуться носом до уровня плечевого сустава.

После проведения фонового (исходного) исследования УЗДГ испытуемому было предложено к употреблению 250 мл бутилированной воды с добавлением ароматизатора, имитирующего аромат исследуемого напитка.

После проведения УЗДГ и приёма бутилированной воды спортсменам было предложено нагрузочное тестирование, включающее ступенчато-возрастающую нагрузку на велоэргометре Kettler (KETTLER Holding GmbH, Германия) со стартовой позиции 50 Вт с последующим возрастанием на 50 Вт каждые 3 мин ступени нагрузки. Нагрузочное тестирование завершали по требованию спортсмена – «до отказа».

Сразу после выполнения спортсменами нагрузочно-тестирования субмаксимальной мощности производили повторную регистрацию показателей УЗДГ по артериям вертебробазилярного бассейна с учётом выполнения функциональных проб.

2. Второй цикл проводили спустя две недели после проведения первого. Второй цикл методически был аналогичен проведению первого с той разницей, что во втором цикле в качестве восполнения жидкости и электролитов спортсменам был предложен приём глюкозо-электролитного состава с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиоксидантными свойствами, в количестве 250 мл за 15 мин до нагрузочного тестирования. При этом спортсмены были остановлены на той же ступени нагрузки, на которой они завершили выполнение нагрузки в первом цикле.

В состав глюкозо-электролитного раствора входит природный минеральный комплекс в виде морской соли Чёрного моря, полученной природным выпариванием в акватории озера Сасык-Сиваш – 0,4 г; вода питьевая подготовленная – до необходимого объёма, гидролат (ароматная вода) розмарина – 65 мл; водный экстракт плодов шиповника (1:10) – 100 мл; водный экстракт листа крапивы (1:10) – 100 мл; мальтодекстрин, глюкоза, сок лимона – 5 мл; аскорбиновая кислота, сорбат калия, бензоат натрия. Глюкозо-электролитный напиток соответствует ТР ТС 022/2011, стандартизирован по ГОСТ Р 56543-2015 (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ
И ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАПИТКА**

TABLE 1

**ENERGY VALUE AND CHEMICOANALYTICAL COMPOSITION
OF THE DRINK**

Показатель	Содержание	
	в 100 мл	в 250 мл
Углеводы (г), в т. ч.	8,0	20,0
глюкоза, г	2,0	5,0
мальтодекстрин, г	6,0	15,0
Аскорбиновая кислота, г	0,2	0,5
Натрий, мг	37,6	94,0
Кальций, мг	1,6	4,0
Калий, мг	21,2	53,0
Хлориды, мг	84,0	210,0
Эфирное масло, г	0,016	0,04
Энергетическая ценность, ккал/кДж	23/97	58/241

Испытуемые, принявшие участие в исследовании, не имели хронической кардиоваскулярной и дыхатель-

ной патологии. Препаратов, влияющих на сосудистый тонус, никто из спортсменов не принимал. В день исследования испытуемые не претерпевали предварительных физических нагрузок. Исследование проводили в первой половине дня (10⁰⁰–13⁰⁰ часов).

Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и её последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включённых в исследование участников было получено информированное добровольное согласие. Протокол заседания комитета по этике ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» № 1 от 25.01.2022.

Для проверки распределения массива данных на нормальность применялся критерий Шапиро – Уилка, по результатам которого было показано, что массив данных не подчиняется нормальному распределению. В этой связи для определения статистической значимости различий в связанной выборке был применён непараметрический критерий Фридмана в случае сравнения трёх массивов. При случае попарного сравнения связанных выборок применялся критерий Вилкоксона. Для наглядности описания и визуализации полученных результатов были использованы средние значения, а также ошибка среднего.

Расчёты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel (Microsoft Corp., США) и программного пакета Statistica 8.0 (StatSoft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как показали результаты первого и второго циклов исследования, основные различия показателей УЗДГ, зафиксированные после ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности, имелись лишь в отношении данных, зарегистрированных в период проведения функциональных проб, в сравнении с уровнем донагрузочных значений соответствующих показателей.

Значения гемодинамических показателей артерий вертебробазилярного бассейна, зарегистрированные вне проведения функциональных тестов после ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности, были близки к исходным значениям (табл. 2). Подобная устойчивость показателей скорости кровотока свидетельствует о высокой степени тренированности и выносливости при аэробных нагрузках и, как следствие, о высокой степени синхронизированности и стабильности как кардиореспираторной системы, так и опорно-двигательного аппарата при аэробных нагрузках ступенчато-возрастающей мощности.

Результаты первого цикла исследования, когда спортсмены выполняли только ступенчато-возрастающую нагрузку субмаксимальной мощности, свидетельствуют об изменении ряда скоростных показателей и расчётных индексов, зарегистрированных в ходе проведения функциональных проб после ступенчато-возрас-

тающей нагрузки, в сравнении с уровнем донагрузочных данных соответствующих показателей, зарегистрированных при проведении аналогичных проб (табл. 3).

Результаты второго цикла исследования, когда спортсмены принимали глюкозо-электролитный напиток с последующим выполнением нагрузки субмаксимальной мощности, свидетельствуют о стабильности показателей гемодинамических показателей исследуемых артерий, поскольку значения исследуемых показателей, полученных после нагрузки и приёма глюкозо-электролитного напитка, были близки к исходным значениям (табл. 3).

В частности, результаты исследования первого цикла свидетельствуют о том, что выполнение ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности сопровождается возрастанием показателя $V_{\max}$ на 21,07 % ($p < 0,05$) в периоде проведения пробы с задержкой дыхания по основной артерии относительно данных этого показателя, зарегистрированных в донагрузочном периоде в ходе проведения аналогичной пробы.

Результаты исследования второго цикла свидетельствуют о том, что выполнение нагрузки субмаксимальной мощности и приём глюкозо-электролитного напитка предотвращают изменения значений показателя $V_{\max}$ в сравнении с уровнем донагрузочных значений этого показателя в пробе с задержкой дыхания.

Сравнительный анализ результатов первого и второго циклов исследования свидетельствует о том, что показатель $V_{\max}$ был ниже на 14,57 % ($p < 0,05$) в случае приёма глюкозо-электролитного напитка и нагрузки относительно данных этого показателя, зарегистрированных при изолированном выполнении нагрузки в ходе проведения пробы с задержкой дыхания, и приближался к уровню донагрузочных значений.

Таким образом, приём глюкозо-электролитного напитка препятствовал изменению показателя $V_{\max}$ при выполнении нагрузки субмаксимальной мощности в ходе выполнения пробы с задержкой дыхания.

Аналогичным образом изменялась динамика показателя V_{aver} в период проведения пробы с задержкой дыхания. Так, выполнение ступенчато-возрастающей нагрузки в первом цикле сопровождалось возрастанием этого показателя на 24,58 % ($p < 0,05$) относительно данных этого показателя, зарегистрированных до выполнения субмаксимальной нагрузки (рис. 1).

Приём глюкозо-электролитного состава и последующая ступенчато-возрастающая нагрузка статистически значимо не изменяли значений этого показателя в сравнении с уровнем донагрузочных значений, зарегистрированных в пробе с задержкой дыхания.

Сравнительный анализ результатов I и II циклов исследования свидетельствует о снижении показателя

ТАБЛИЦА 2

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДОПЛЕРОГРАФИИ АРТЕРИЙ ВЕРТЕБРОБАЗИЛЯРНОГО БАССЕЙНА У ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОВ-ОРИЕНТИРОВЩИКОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННАЯ ДО И ПОСЛЕ СТУПЕНЧАТО-ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ, В ТОМ ЧИСЛЕ И С ПРИЁМОМ ГЛЮКОЗО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО НАПИТКА

TABLE 2

DYNAMICS OF PARAMETERS OF DOPPLER ULTRASOUND OF VERTEBROBASILAR ARTERIES IN PROFESSIONAL ORIENTEERS, REGISTERED BEFORE AND AFTER INCREMENTALLY INCREASING LOAD, AS WELL AS BEFORE AND AFTER INCREMENTALLY INCREASING LOAD IN COMBINATION WITH TAKING A GLUCOSE-ELECTROLYTE DRINK

Фазы исследования	Исследуемые артерии	Показатели УЗДГ артерий вертебробазилярного бассейна				
		$V_{\max}$, см/с	$V_{\min}$, см/с	V_{aver} , см/с	Ri	Pi
Фон (I цикл)	ОА	70,09 ± 4,06	32,74 ± 1,38	42,15 ± 1,66	0,53 ± 0,01	0,88 ± 0,06
	ПА справа	57,62 ± 2,73	27,09 ± 2,57	36,26 ± 2,19	0,52 ± 0,04	1,04 ± 0,28
	ПА слева	51,78 ± 6,79	30,73 ± 4,88	38,03 ± 5,39	0,45 ± 0,03	0,68 ± 0,08
Нагрузка (I цикл)	ОА	73,56 ± 6,96	35,7 ± 3,63	46,8 ± 4,32	0,51 ± 0,02	0,83 ± 0,10
	ПА справа	52,8 ± 5,86	30 ± 3,17	35,8 ± 5,87	0,43 ± 0,21	0,67 ± 0,10
	ПА слева	52,8 ± 5,97	27,2 ± 5,83	35,6 ± 6,13	0,48 ± 0,08	0,77 ± 0,21
Фон (II цикл)	ОА	70,16 ± 3,78	33,10 ± 1,18	43,78 ± 2,85	0,52 ± 0,02	0,89 ± 0,06
	ПА справа	53,02 ± 4,01	28,80 ± 2,01	37,05 ± 2,95	0,53 ± 0,03	1,01 ± 0,07
	ПА слева	52,50 ± 3,28	30,54 ± 2,59	36,15 ± 2,14	0,48 ± 0,02	0,65 ± 0,04
Глюкозо-электролитный состав + нагрузка (II цикл)	ОА	65,6 ± 3,97	30,35 ± 1,8	37,95 ± 1,27	0,53 ± 0,03	0,92 ± 0,08
	ПА справа	67,51 ± 5,32	33,34 ± 3,54	40,78 ± 3,21	0,48 ± 0,03	0,81 ± 0,11
	ПА слева	50,45 ± 4,27	27,67 ± 2,27	32,65 ± 2,09	0,44 ± 0,03	0,69 ± 0,07

Примечание. ОА – основная артерия; ПА – позвоночная артерия.

ТАБЛИЦА 3

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДОППЛЕРОГРАФИИ АРТЕРИЙ ВЕРТЕБРОБАЗИЛЯРНОГО БАСЕЙНА, ЗАФИКСИРОВАННАЯ В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОБ У ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОВ-ОРИЕНТИРОВЩИКОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННАЯ ДО И ПОСЛЕ СТУПЕНЧАТО-ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ (I ЦИКЛ), А ТАКЖЕ ДО И ПОСЛЕ СТУПЕНЧАТО-ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ В КОМБИНАЦИИ С ПРИЁМОМ ГЛЮКОЗО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО НАПИТКА

TABLE 3

DYNAMICS OF PARAMETERS OF DOPPLER ULTRASOUND OF VERTEBROBASILAR ARTERIES OF PROFESSIONAL ORIENTEERS DURING FUNCTIONAL TESTS REGISTERED BEFORE AND AFTER INCREMENTALLY INCREASING LOAD (CYCLE I), AS WELL AS BEFORE AND AFTER INCREMENTALLY INCREASING LOAD IN COMBINATION WITH TAKING A GLUCOSE-ELECTROLYTE DRINK

Фазы исследования	Исследуемые артерии	Показатели УЗДГ артерий вертебробазилярного бассейна				
		V_{max} , см/с	V_{min} , см/с	V_{aver} , см/с	Ri	Pi
Фон (I цикл)	ОА (гипервентиляция)	61,25 ± 3,05	28,92 ± 1,54	36,71 ± 1,83	0,52 ± 0,01	0,87 ± 0,05
	ОА (задержка дыхания)	64,39 ± 3,27	32,17 ± 1,93	40,79 ± 2,28	0,49 ± 0,02	0,80 ± 0,07
	ПА (торсионная) справа	50,50 ± 3,74	24,77 ± 1,13	33,48 ± 1,41	0,49 ± 0,02	0,74 ± 0,05
	ПА (торсионная) слева	43,42 ± 2,9	25,26 ± 1,43	28,03 ± 1,61	0,51 ± 0,04	0,80 ± 0,07
Нагрузка (I цикл)	ОА (гипервентиляция)	73,93 ± 1,61 $p < 0,05$	35,61 ± 2,56 $p < 0,05$	43,90 ± 3,19	0,51 ± 0,04	0,90 ± 0,15
	ОА (задержка дыхания)	77,96 ± 7,81 $p < 0,05$	40,82 ± 5,36	50,82 ± 4,83 $p < 0,05$	0,47 ± 0,04	0,75 ± 0,13
	ПА (торсионная) справа	49,06 ± 7,01	28,53 ± 3,40	36,8 ± 4,29	0,41 ± 0,01	0,54 ± 0,03 $p < 0,05$
	ПА (торсионная) слева	39 ± 10,42	20 ± 2,01	19,8 ± 3,32	0,42 ± 0,11	0,45 ± 0,14 $p < 0,05$
Фон (II цикл)	ОА (гипервентиляция)	61,38 ± 3,48	28,36 ± 1,28	37,01 ± 1,45	0,53 ± 0,02	0,87 ± 0,04
	ОА (задержка дыхания)	64,24 ± 2,47	31,79 ± 1,32	40,21 ± 2,16	0,46 ± 0,03	0,81 ± 0,04
	ПА (торсионная) справа	51,29 ± 2,99	24,17 ± 1,73	34,67 ± 1,31	0,48 ± 0,01	0,75 ± 0,04
	ПА (торсионная) слева	44,12 ± 2,91	25,71 ± 1,92	27,05 ± 1,72	0,53 ± 0,03	0,80 ± 0,06
Глюкозо-электролитный напиток + нагрузка (II цикл)	ОА (гипервентиляция)	72,8 ± 6,35 $p < 0,05$	30,62 ± 2,88 $p_1 < 0,05$	37,82 ± 2,41 $p_1 < 0,05$	0,56 ± 0,03	1,12 ± 0,14 $p < 0,05$
	ОА (задержка дыхания)	66,60 ± 3,65 $p_1 < 0,05$	33,77 ± 1,99	41,48 ± 1,44 $p < 0,05$	0,49 ± 0,01	0,79 ± 0,04
	ПА (торсионная) справа	55,61 ± 4,10	27,24 ± 1,87	34,12 ± 1,97	0,50 ± 0,03	0,83 ± 0,11 $p_1 < 0,05$
	ПА (торсионная) слева	54,8 ± 6,01	29,52 ± 3,95	32,41 ± 4,35	0,46 ± 0,03	0,83 ± 0,1 $p_1 < 0,051$

Примечание. $p < 0,05$ – статистическая значимость различий по критерию Вилкоксона при сравнении фоновых значений и значений, полученных при нагрузочном тестировании в I цикле, и статистическая значимость различий, полученных при сравнении фоновых значений и значений, полученных после комбинированного приёма напитка с выполнением нагрузки во II цикле; $p_1 < 0,05$ – статистическая значимость различий по критерию Фридмана при сравнении фоновых значений и значений, полученных после выполнения изолированной нагрузки и нагрузки в комбинации с приёмом глюкозо-электролитного напитка.

V_{aver} на 18,37 % ($p < 0,05$) после нагрузки субмаксимальной мощности в комбинации с приёмом глюкозо-электролитного состава в сравнении с данными этого показателя, полученными после изолированного выполнения нагрузки субмаксимальной мощности, и о приближении значений показателя V_{aver} во II цикле к уровню донагрузочных значений, полученных в ходе пробы с задержкой дыхания.

Таким образом, приём глюкозо-электролитного напитка препятствовал изменению показателей V_{max} и V_{aver} после выполнения нагрузки субмаксимальной мощности, а результаты проведения ступенчато-возрастающей нагрузки после приёма исследуемого напитка сопоставимы с исходными данными, зарегистрированными в донагрузочном периоде в ходе выполнения пробы с задержкой дыхания.

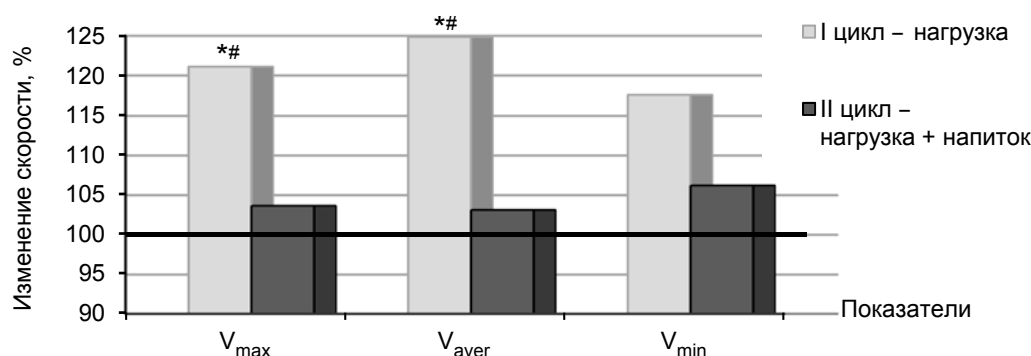


РИС. 1.

Изменения скоростных показателей, зарегистрированные по основной артерии в период проведения пробы с задержкой дыхания до и после ступенчато-возрастающей нагрузки (I цикл), а также до и после комбинированного приёма глюкозо-электролитного напитка с последующей ступенчато-возрастающей нагрузкой (II цикл) в процентах относительно значений, зарегистрированных до проведения нагрузки (приняты за 100 %): * – статистическая значимость различий по критерию Вилкоксона при сравнении фоновых значений и значений, полученных при нагрузочном тестировании в I цикле, а также фоновых значений и значений, полученных после комбинированного приёма исследуемого напитка с выполнением нагрузки во II цикле ($p < 0,05$); # – статистическая значимость различий по критерию Фридмана при сравнении фоновых значений, а также значений, полученных после выполнения изолированной нагрузки и после нагрузки в комбинации с приёмом глюкозо-электролитного напитка ($p_1 < 0,05$)

FIG. 1.

The changes in the velocity indicators of the basilar artery during breath-holding test before and after an incrementally increasing load (cycle I), as well as before and after an intake of the glucose-electrolyte drink followed by an incrementally increasing load (cycle II), in percent relative to the values recorded before the load (taken as 100 %): * – statistical significance of differences according to the Wilcoxon between background values and values obtained during exercise test in the cycle I, and between background values and values obtained after the combination of an intake of the glucose-electrolyte drink with exercise in the cycle II ($p < 0.05$); # – statistical significance of differences according to the Friedman test between background values and values obtained after an isolated exercise test and after the combination of an intake of the glucose-electrolyte drink with exercise ($p_1 < 0.05$)

Показатель V_{min} имел подобную динамику изменений, характерную для показателей V_{max} и V_{aver} , однако без достижения статистически значимой разницы.

При проведении пробы с гипервентиляцией также отмечались изменения скоростных показателей по основной артерии.

Результаты проведения пробы с гипервентиляцией демонстрировали похожие, но не аналогичные результаты.

Так, показатель V_{min} после изолированного выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки возрастал на 25,87 % ($p < 0,05$) относительно исходных данных этого показателя, зарегистрированных в ходе проведения пробы с гипервентиляцией (рис. 2).

Приём глюкозо-электролитного напитка и последующее выполнение ступенчато-возрастающей нагрузки статистически не значимо изменяли значения показателя V_{min} в ходе пробы с гипервентиляцией.

Сравнительный анализ результатов первого и второго циклов исследования свидетельствует о снижении показателя V_{min} на 14,01 % ($p < 0,05$) во II цикле после нагрузки и приёма напитка в сравнении со значениями этого показателя, зарегистрированными в I цикле, после изолированного выполнения нагрузки в ходе проведения пробы с гипервентиляцией (рис. 2). Таким образом, приём исследуемого напитка с последующим вы-

полнением нагрузки препятствовал изменению показателя V_{min} в пробе с гипервентиляцией.

Несколько иная динамика была характерна для показателя V_{max} при проведении пробы с гипервентиляцией. Так, показатель V_{max} возрастал после изолированного выполнения нагрузки на 19,32 % ($p < 0,05$) относительно исходных данных этого показателя.

Приём глюкозо-электролитного напитка и последующее выполнение нагрузки субмаксимальной мощности сопровождалось также возрастанием данного показателя на 18,61 % ($p < 0,05$) в сравнении с его исходными данными, зарегистрированными в период проведения пробы с гипервентиляцией (рис. 2).

Разницы по показателю V_{max} в ходе проведения пробы с гипервентиляцией после нагрузки в I и II циклах получено не было.

Следовательно, приём глюкозо-электролитного напитка не препятствовал изменению показателя V_{max} в ходе проведения пробы с гипервентиляцией.

При проведении позиционной (торсионной) пробы, оценивающей экстравазальные влияния, по позвоночным артериям отмечалась устойчивость в отношении большинства скоростных показателей к выполнению спортсменами нагрузки субмаксимальной мощности. Изменения после изолированного выполнения нагрузки и выполнения нагрузки в комбинации с приём-

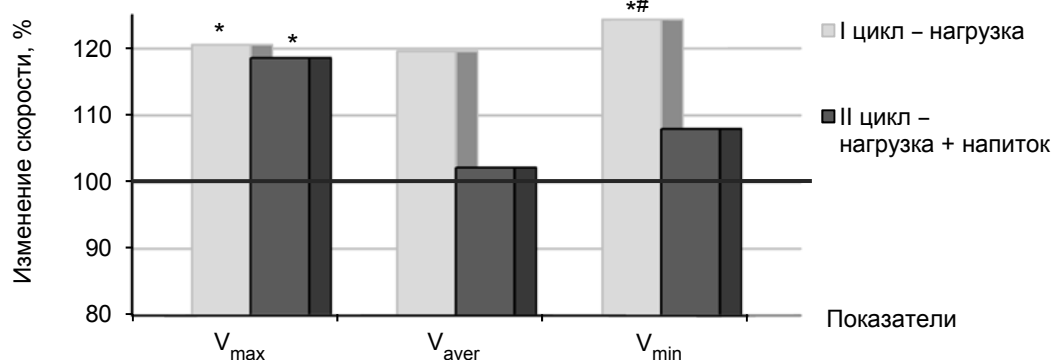


РИС. 2.

Изменения скоростных показателей, зарегистрированные по основной артерии в период проведения пробы с гипервентиляцией до и после ступенчато-возрастающей нагрузки (I цикл), а также до и после приёма глюкозо-электролитного напитка с последующей ступенчато-возрастающей нагрузкой (II цикл), в процентах относительно значений, зарегистрированных до проведения нагрузки (приняты за 100 %): * – статистическая значимость различий по критерию Вилкоксона при сравнении фоновых значений и значений, полученных при нагрузочном тестировании в I цикле, а также фоновых значений и значений, полученных после комбинированного приёма исследуемого напитка с выполнением нагрузки во II цикле ($p < 0,05$); # – статистическая значимость различий по критерию Фридмана при сравнении фоновых значений, а также значений, полученных после выполнения изолированной нагрузки и после нагрузки в комбинации с приёмом глюкозо-электролитного напитка ($p_1 < 0,05$)

FIG. 2.

The changes in the velocity indicators of the basilar artery during hyperventilation test before and after an incrementally increasing load (cycle I), as well as before and after an intake of the glucose-electrolyte drink followed by an incrementally increasing load (cycle II), in percent relative to the values recorded before the load (taken as 100 %): * – statistical significance of differences according to the Wilcoxon between background values and values obtained during exercise test in the cycle I, and between background values and values obtained after the combination of an intake of the glucose-electrolyte drink with exercise in the cycle II ($p < 0.05$); # – statistical significance of differences according to the Friedman test between background values and values obtained after an isolated exercise test and after the combination of an intake of the glucose-electrolyte drink with exercise ($p_1 < 0.05$)

мом глюкозо-электролитного напитка отмечались лишь по данным индекса Гослинга.

Так, при регистрации торсионной пробы по позвоночной артерии справа выполнение ступенчато-возрастающей нагрузки привело к падению индекса Гослинга на треть ($p < 0,05$) относительно значений этого показателя, зарегистрированных в донагрузочном периоде при проведении торсионной пробы.

Прием глюкозо-электролитного напитка в сочетании с нагрузкой субмаксимальной мощности способствовал инверсии ответа – тенденции к росту этого показателя до значений 0,84 ($p < 0,05$) (рис. 3а), сопоставимых с его исходными значениями.

Различия по показателю P_i , зарегистрированные после выполнения изолированной нагрузки и выполнения нагрузки в комбинации с приёмом глюкозо-электролитного состава, достигали значений 53 % ($p < 0,05$). Стоит обратить внимание, что значения данного показателя, зарегистрированные во II цикле, были близки к донагрузочному уровню в сравнении со значениями, полученными в первом цикле исследования (рис. 3а).

Аналогичная динамика индекса Гослинга была зарегистрирована при проведении торсионной пробы по позвоночной артерии слева. Изолированное выполнение нагрузки способствовало снижению показателя P_i на 43,75 % ($p < 0,05$) в сравнении с до-

нагрузочным периодом в ходе проведения пробы (см. рис. 3б).

Значения индекса Гослинга после приёма глюкозо-электролитного напитка и выполнения нагрузки субмаксимальной мощности практически не изменялись во II цикле исследования и соответствовали уровню донагрузочных значений.

Полученные различия по значениям показателя индекса Гослинга после выполнения нагрузки по результатам I и II циклов исследования составили более 50 % ($p < 0,05$) (см. рис. 3б).

Таким образом, однократный приём глюкозо-электролитного напитка с последующим выполнением нагрузки способствовал проявлению гомеостатического эффекта в отношении механизмов регуляции гемодинамики артерий вертебробазилярного бассейна в условиях выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности, о чём свидетельствует стабильность большинства гемодинамических показателей, зарегистрированных после приёма напитка и выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки, в отличие от изолированного выполнения нагрузки субмаксимальной мощности, после прохождения которой изменялись как скоростные показатели, так и расчётные индексы в ходе проведения функциональных проб.

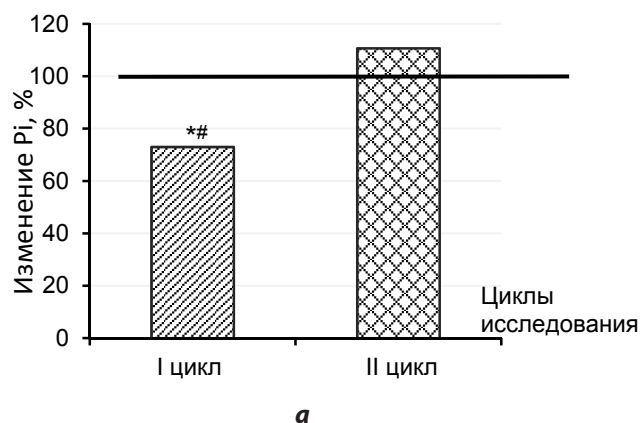


РИС. 3.

Изменения показателя индекса Гослинга (P_i), зарегистрированные по позвоночной артерии справа (а) и слева (б) в период проведения торсионной пробы до и после выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки (I цикл), а также до и после ступенчато-возрастающей нагрузки в комбинации с приёмом глюкозо-электролитного напитка (II цикл), в процентах относительно данных этого показателя в донагрузочном периоде (приняты за 100 %): * – статистическая значимость различий по критерию Вилкоксона при сравнении фоновых значений и значений, полученных при нагрузочном тестировании в I цикле, и фоновых значений и значений, полученных после комбинированного приёма напитка с выполнением нагрузки во II цикле ($p < 0,05$); # – статистическая значимость различий по критерию Фридмана, полученная при регистрации фоновых значений и значений после выполнения изолированной нагрузки и после нагрузки в комбинации с приёмом глюкозо-электролитного напитка ($p_1 < 0,05$)

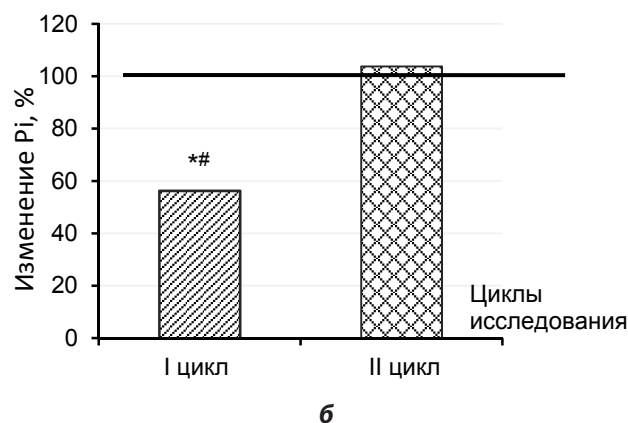


FIG. 3.

The changes in the Gosling index (P_i) on the vertebral artery right (а) and left (б) during the torsion test before and after an incrementally increasing load (cycle I), as well as before and after an intake of the glucose-electrolyte drink followed by an incrementally increasing load (cycle II), in percent relative to the values recorded before the load (taken as 100 %): * statistical significance of differences according to the Wilcoxon between background values and values obtained during exercise test in the cycle I, and between background values and values obtained after the combination of an intake of the glucose-electrolyte drink with exercise in the cycle II ($p < 0.05$); # – statistical significance of differences according to the Friedman test between background values and values obtained after an isolated exercise test and after the combination of an intake of the glucose-electrolyte drink with exercise ($p_1 < 0.05$)

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В период выполнения интенсивной физической нагрузки, учитывая высокое потребление энергии мозгом и отсутствие значимых внутриклеточных запасов энергии, точный контроль поступления питательных веществ и побочных продуктов поддерживается изменениями мозгового кровообращения, что координируется работой различных механизмов регуляции. Если механизмы регуляции сосудистого тонуса в покое хорошо известны, то в период активных физических нагрузок они ещё не до конца определены. Немалую роль в этом играют базальный сосудистый тонус, вегетативная иннервация и региональная гетерогенность в ионных каналах или продукции NO. Однако наибольший вклад в регуляцию церебрального потока крови в период выполнения аэробных упражнений вносят изменения содержания газов в артериальной крови, метаболические изменения, артериальное давление, сердечный выброс, нейроваскулярная иннервация, а также реактивность эндотелия [15]. Разделение этих вкладов весьма проблематично в связи с избыточностью сердечно-сосудистой системы для достижения сложной регуляции, что привело к расхождению в опреде-

лении ключевых участников в регуляции потока крови во время упражнений [15].

Как было показано в настоящем исследовании, выполнение субмаксимальной нагрузки и последующее проведение пробы с задержкой дыхания сопровождалось выраженным приростом значений как систолической, так и средней скорости в сравнении с данными соответствующих показателей, зарегистрированными до выполнения субмаксимальной нагрузки в ходе проведения аналогичной пробы.

Прирост скоростных показателей в ходе проведения пробы с задержкой дыхания является ответной реакцией на рост парциального давления CO_2 , что сопровождается приростом уровня H^+ , следствием чего является повышение уровня осмолярности и последующая реакция дилатации. Однако выполнение субмаксимальной нагрузки с последующим проведением пробы с задержкой дыхания сопровождается большим снижением уровня pH вследствие накопления лактата, что может сопровождаться изменением церебральной гемодинамики и увеличением потока крови, с одной стороны. Это, вероятно, и явилось причиной прироста скоростных показателей по основной артерии после субмаксимальной нагрузки в периоде пробы с задержкой дыхания в сравнении с данными при прове-

дении аналогичной пробы до выполнения субмаксимальной нагрузки.

С другой стороны, поток крови находится в линейной зависимости от сердечного выброса, возрастающего пропорционально нагрузке [16]. При этом вопреки главенствующим не так давно взглядам о постоянстве церебральной гемодинамики в любых условиях, в том числе и при выполнении физических нагрузок, согласно работам последних лет, реакция церебрального потока крови на длительные аэробные нагрузки описывается как двухфазная, с отчётливым прогрессивным его ростом, соответственно увеличению интенсивности упражнений приблизительно до ~ 60 % от максимального потребления кислорода с последующим выходом на плато [15]. Вероятно, рост показателя V_{max} , зависящего от величины сердечного выброса, после выполнения нагрузки субмаксимальной мощности в ходе проведения пробы с задержкой дыхания можно объяснить как возрастанием сердечного выброса, так и более интенсивным снижением уровня pH.

Проведение пробы с гипервентиляцией после выполнения спортсменами субмаксимальной нагрузки сопровождалось приростом показателя V_{min} , что свидетельствует о снижении периферического сопротивления резистивных сосудов и, вероятно, продиктовано метаболическими изменениями, а именно умеренным падением pH вследствие накопления лактата относительно данных этого показателя, зарегистрированных до выполнения спортсменами нагрузки в периоде проведения аналогичной пробы.

Кроме того, по результатам проведения торсионной пробы после выполнения спортсменами нагрузки субмаксимальной мощности отмечалось падение индекса Гослинга, зависящего от эластичности сосудистой стенки. Артериальная эластичность, в свою очередь, определяется как структурными элементами, так и тонусом гладких мышц сосудов. И если первая группа факторов более стабильна, то вторая во многом зависит от уровня функциональной активности сосудистого эндотелия ввиду значительной представленности рецепторов к огромному числу гуморальных факторов на его поверхности и способности совершать в ответ рилизинг как констрикторов, так и дилататоров.

Имеются исследования, свидетельствующие об эндотелиальной дисфункции у профессиональных спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта [17].

Предполагаемый механизм эндотелиальной дисфункции у спортсменов лежит в лавинообразной выработке активных форм кислорода, окисляющих молекулы липопротеинов низкой плотности с образованием окислительно-модифицированных липопротеинов (oxLDL, oxidized low density lipoprotein) [18], высокое содержание которых в кровотоке токсично для эндотелиоцитов, поскольку oxLDL способны индуцировать некроз и апоптоз эндотелиальных клеток. При этом oxLDL приводят к активации иммунокомпетентных клеток, сопровождающихся аутосенситизацией и накоплением аутоантител в крови. Антитела, образуя иммунные комплексы с oxLDL, оказывают дополнительное поврежда-

ющее действие на эндотелий. В этой связи реакционная активность эндотелия, активно участвующего в адаптационных реакциях к физической нагрузке, изменяется. И если в норме баланс функциональной активности эндотелия смещается в сторону рилизинга вазодилататоров, противовоспалительных, а также противотромботических факторов, то при атаке эндотелия иммунными комплексами с oxLDL – в сторону рилизинга вазоконстрикторов, а также протромботических и провоспалительных факторов. В пользу этого свидетельствуют экспериментальные данные о том, что среди лыжников, спортсменов, занимающихся академической греблей, а также велоспортом, в 60,5 % случаев были выявлены признаки развития раннего атеросклероза и склонности к тромбообразованию [19]. В исследовании З.В. Лопатин и В.С. Василенко [20] было показано возрастание уровня гомоцистеина вплоть до 18 мкмоль/л и D-димера у профессиональных спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта. При этом гипергомоцистеинемия определяется при концентрации в плазме крови от 10 мкмоль/л и выше и ассоциирована с развитием сердечно-сосудистых заболеваний ввиду развития эндотелиальной дисфункции и способствует увеличению риска острых нарушений мозгового кровообращения как по ишемическому, так и по геморрагическому типу в связи с промоцией атерогенеза и атеротромбоза церебральных сосудов, увеличением активности матриксных металлопротеиназ [21].

При этом окислительный стресс, вызванный гомоцистеинемией, в значительной степени снижает биодоступность окиси азота и влечёт нарушение регуляции внутриклеточной передачи сигналов и экспрессии генов.

В период интенсивных тренировок спортсменов отмечается рост систолического давления, что влечёт за собой постоянные скачки изменения напряжения сдвига и является стимулом для выработки не только окиси азота, но и свободных форм кислорода. В хроническом режиме такие скачки вызывают эффект перестимулирования эндотелия и дезадаптацию [22].

Возможно предположить, что глюкозо-электролитный напиток с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиоксидантными свойствами, проявляет себя подобно адаптогенам естественного происхождения, хотя не относится к классическим представителям таковых, поскольку ведущими компонентами в составе исследуемого напитка являются гидролат розмарина, сок лимона, лист крапивы, плоды шиповника, витаминный премикс, а также микроэлементы. Традиционно природными адаптогенами являются женьшень, родиола розовая, лимонник китайский, элеутерококк, левзея, аралия. Именно эти адаптогены имеют крупную доказательную базу, в том числе в отношении спортивных достижений [13]. Ряд веществ, входящих в состав растительных экстрактов, на основе которых был сделан исследуемый напиток, также входят в состав традиционных адаптогенов, возможно, в меньшей концентрации, и в комбинации с другими веществами. Вероятно, исследуемый глюкозо-электролитный состав с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиокси-

дантными свойствами, влияет на различные звенья регуляторных механизмов, контролирующих гемодинамику исследуемых сосудов.

Так, при выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности закономерной является перегрузка электрон-транспортной цепи в мембранах митохондрий, в результате чего вырабатывается избыточное количество свободных радикалов, повреждающих мембраны митохондрий, что ведёт к снижению энергетики клетки. В этой связи однократный приём глюкозо-электролитного напитка с добавлением экстрактов, обладающих антиоксидантными свойствами, включая сок лимона, а также экстракт крапивы и шиповника, благодаря которым достигается высокое содержание аскорбиновой кислоты, оказывает воздействие на изменение энергетических процессов в клетках. Кроме того, состав шиповника и традиционных адаптогенов, таких как родиола и лимонник китайский, объединяют органические кислоты, представленные преимущественно лимонной, янтарной и яблочной. Содержание органических кислот, особенно лимонной и янтарной в сочетании с аскорбиновой кислотой, в значительной степени интенсифицирует активность цикла Кребса. Кроме того, аскорбиновая кислота, вовлекаясь в биохимические процессы ингибирования свободнорадикальных реакций, вероятно, способствует снижению активности процессов перекисного окисления липидов [23].

Гидролат розмарина, содержащий розмариновую кислоту, способствует лучшей утилизации глюкозы тканями [24]. В исследовании М. Prasannarong и соавт. [25] было показано, что даже однократный приём розмариновой кислоты в дозе от 10 мг/кг способствовал снижению эффектов ангиотензина II и улучшал транспорт глюкозы к скелетным мышцам.

Раствор фруктозы, входящий в глюкозо-электролитный состав, является донором питательного субстрата.

Кроме того, экстракт крапивы, как было показано в недавних исследованиях, в комбинации с физическими упражнениями на выносливость улучшает функционирование митохондрий, а также экспрессию ядерного респираторного фактора 2 сердечной мышцы и гамма-коактиватора 1-альфа [26].

Соответственно, приём исследуемого напитка, содержащего раствор фруктозы в комплексе с розмариновой кислотой, соком лимона, экстрактами крапивы и шиповника, формирует цепь реакций, с одной стороны, поставляя субстрат, обеспечивая его высокую утилизацию и эффективное окисление, а с другой – приём глюкозо-электролитного состава смещает уровень pH в щелочную сторону. Вероятно, умеренное возрастание pH после приёма глюкозо-электролитного состава, а также активизация энергетических процессов способствовали восстановлению ауторегуляции, что, вероятно, стабилизировало скоростные показатели $V_{\max}$ и V_{aver} в период проведения пробы с задержкой дыхания после субмаксимальной нагрузки (см. рис. 1).

Однократное употребление спортсменами исследуемого глюкозо-электролитного напитка и последующее выполнение ступенчато-возрастающей нагруз-

ки субмаксимальной мощности также способствовало предотвращению роста показателя $V_{\min}$, наблюдаемого после изолированной нагрузки в ходе проведения пробы с гипервентиляцией. Стабилизация этого показателя после приёма исследуемого напитка и выполнения нагрузки свидетельствует о восстановлении тонуса артерий, вероятно, обусловленное воздействием таких флавоноидов, как рутин, кверцетин, геспердин, тонизирующих сосудистую стенку, входящих в состав шиповника в исследуемом напитке. Эти же вещества входят в состав традиционных адаптогенов, таких как родиола розовая и левзея.

Приём глюкозо-электролитного напитка не повлиял на динамику показателя $V_{\max}$ в пробе с гипервентиляцией после первого и второго циклов. Отсутствие других выраженных изменений у профессиональных спортсменов в периоде проведения пробы с гипервентиляцией в течение первого и второго циклов исследования, вероятно, свидетельствует о том, что оксигенация, по-видимому, является достаточно сильным регуляторным фактором [16], в сравнении с другими метаболическими и гуморальными факторами.

Кроме того, приём глюкозо-электролитного состава способствовал стабилизации индекса Гослинга (индекса пульсаций) после субмаксимальной нагрузки, в то время как изолированное выполнение нагрузки способствовало существенному его падению. Учитывая зависимость этого показателя от эластичности сосудистой стенки, которая в свою очередь определяется в значительной степени функциональной активностью сосудистого эндотелия, можно предположить, что эффект от приёма глюкозо-электролитного напитка был индуцирован веществами, входящими в его состав, в частности, полифенольными соединениями, содержащимися в составе лимонного сока, гидролата розмарина, а также экстракта шиповника.

Известно, что флавоноиды, входящие в состав шиповника, такие как геспердин, кверцетин, рутин, обладают высокой антиоксидантной, противовоспалительной активностью, а также имеют высокую тропность к сосудистой системе [27], в частности к сосудистому эндотелию, изменяя пути его апоптоза [28], способствуя росту окиси азота, улучшают его реактивность в ответ на воздействующие факторы посредством модулирования эндотелий-зависимой вазодилатации [29]. Приём продуктов, содержащих полифенольные соединения, в частности биофлавоноиды, воздействует на следующие механизмы эндотелий-зависимой вазодилатации: в эндотелиоцитах отмечаются возрастание уровня Ca^{2+} и окислительно-восстановительная активация пути фосфоинозитид-3 (PI3)-киназы/Akt, что приводит к быстрой и устойчивой активации синтазы оксида азота (NOS) [30], а также образование эндотелий-зависимого фактора гиперполяризации. Кроме описанных долгосрочных эффектов флавоноидов, известны и краткосрочные эффекты, включающие NO-опосредованную вазорелаксацию за счёт прироста притока внеклеточного Ca^{2+} и мобилизацию внутриклеточного Ca^{2+} в эндотелиальных клетках. В пользу этого свидетельствуют дан-

ные о том, что возрастание эндотелий-зависимой вазодилатации отмечается даже после однократного приёма аскорбиновой кислоты [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изолированное выполнение ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности способствует изменению скоростных показателей и расчётных индексов артерий вертебробазиллярного бассейна в ходе выполнения функциональных проб с задержкой дыхания, с гипервентиляцией, а также торсионной пробы, что свидетельствует о развитии напряжённости регуляции церебрального кровотока в условиях исследуемого режима нагрузки. Однократный приём глюкозо-электролитного состава с добавлением растительных экстрактов, обладающих антиоксидантными свойствами, способствует стабилизации гемодинамических показателей артерий вертебробазиллярного бассейна в условиях ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности, предотвращая изменения показателей, отмечающиеся после изолированного выполнения нагрузки. Так, приём исследуемого напитка с антиоксидантными свойствами в условиях ступенчато-возрастающей нагрузки субмаксимальной мощности способствовал стабилизации показателей максимальной и средней скоростей в пробе с задержкой дыхания, приближению к фоновым донагрузочным значениям показателя минимальной скорости в пробе с гипервентиляцией, а также к «возвращению» к уровню донагрузочных значений индекса пульсаций в торсионной пробе с двух сторон.

Исследуемый глюкозо-электролитный состав оказывает гомеостатический эффект, вероятно, за счёт воздействия на механизмы гомеостатического регулирования сосудистого тонуса, затрагивающие эндотелиальную реактивность, стабилизацию уровня pH, окислительное фосфорилирование.

Источники финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, программа «Приоритет-2030» № 075-15-2021-1323.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи декларируют отсутствие конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jarvis SS, Levine BD, Prisk GK, Shykoff BE, Elliott AR, Rosow E, et al. Simultaneous determination of the accuracy and precision of closed-circuit output rebreathing techniques. *J Appl Physiol*. 2007; 103: 867-874. doi: 10.1152/jappphysiol.01106.2006
2. Smith KJ, Wildfong KW, Hoiland RL, Harper M, Lewis NC, Pool A, et al. Role of CO₂ in the cerebral hyperemic response to in-

cremental normoxic and hyperoxic exercise. *J Appl Physiol*. 2016; 120: 843-854. doi: 10.1152/jappphysiol.00490.2015

3. Ito H, Yokoyama I, Iida H, Kinoshita T, Hatazawa J, Shimosegawa E, et al. Regional differences in cerebral vascular response to PaCO₂ changes in humans measured by positron emission tomography. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2000; 20: 1264-1270. doi: 10.1097/00004647-200008000-00011

4. Hew-Butler T. Exercise-associated hyponatremia. *Front Horm Res*. 2019; 52: 178-189. doi: 10.1159/000493247

5. James LJ, Moss JH. Hypohydration impairs endurance performance: A blinded study. *Physiol Rep*. 2017; 5(12): e13315. doi: 10.14814/phy2.13315

6. Watso JC, Farquhar WB. Hydration status and cardiovascular function. *Nutrients*. 2019; 11(8): 1866. doi: 10.3390/nu11081866

7. Мартинчик А.Н., Баева В.С., Пескова Е.В., Кудрявцева К.В., Денисова Н.Н., Лавриненко С.В., и др. Фактическое потребление жидкости спортсменами высокой квалификации в режиме тренировочного процесса. *Вопросы питания*. 2018; 87(3): 36-44. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10029

8. Выходец И.Т., Курашвили В.А., Мирошникова Ю.В. *Клинические рекомендации по методикам регидратации организма спортсмена в различных олимпийских видах спорта во время тренировочных мероприятий и спортивных соревнований*. М.; 2018.

9. *Report of Science Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen*. 2001.

10. Maughan RJ, Murray R. *Sports drinks: Basic science and practical aspects*. Boca Raton: CRC Press; 2019.

11. Thein-Nissenbaum J, Hammer E. Treatment strategies for the female athlete triad in the adolescent athlete: Current perspectives. *Open Access J Sports Med*. 2017; 8: 85-95. doi: 10.2147/OAJSM.S100026

12. Sawka MN, Greenleaf JE. Current concepts concerning thirst, dehydration, and fluid replacement: Overview. *Med Sci Sports Exerc*. 1992; 24(6): 643-644.

13. Mason SA, Trewin AJ, Parker L, Wadley GD. Antioxidant supplements and endurance exercise: Current evidence and mechanistic insights. *Redox Biol*. 2020; 35: 101471. doi: 10.1016/j.redox.2020.101471

14. Sellami M, Slimeni O, Pokrywka A, Kuvačić G, Hayes LD, Milic M. Herbal medicine for sports: A review. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018; 15(15): 14. doi: 10.1186/s12970-018-0218-y

15. Smith KJ, MacLeod D, Willie CK, Lewis NCS, Hoiland RL, Ikeda K, et al. Influence of high altitude on cerebral blood flow and fuel utilization during exercise and recovery. *J Physiol*. 2014; 592: 5507-5527. doi: 10.1113/jphysiol.2014.281212

16. Ogoh S, Dalsgaard MK, Yoshiga CC, Dawson EA, Keller DM, Raven PB, et al. Dynamic cerebral autoregulation during exhaustive exercise in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2005; 288: 1461-1467. doi: 10.1152/ajpheart.00948.2004

17. Ким В.Н., Кривулина Г.А., Просекин Г.Б. Влияние обезвоживания на развитие дисфункции эндотелия у юных спортсменов: сравнительный анализ эффективности нового медового изотонического напитка и общепринятых средств восстановления водно-электролитного баланса. *Acta biomedica scientifica*. 2020; 5(5): 86-98. doi: 10.29413/abs.2020-5.5.12

18. Bachi AL, Sierra AP, Rios FJ, Gonçalves DA, Ghorayeb N, Abud RL. Athletes with higher VO₂max present reduced oxLDL

after a marathon race. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2015; 1(1): bmjsem-2015-000014. doi: 10.1136/bmjsem-2015-000014

19. Green DJ, Hopman MT, Padilla J, Laughlin MH. Vascular adaptation to exercise in humans: Role of hemodynamic stimuli. *Physiol Rev*. 2017; 97(2): 495-528. doi: 10.1152/physrev.00014.2016

20. Лопатин З.В., Василенко В.С. Маркеры эндотелиальной дисфункции у спортсменов при тренировочных нагрузках. *Современные проблемы науки и образования*. 2019; 1: 414-416.

21. Smith AD, Refsum H. Homocysteine, B vitamins, and cognitive impairment. *Annu Rev Nutr*. 2016; 36: 211-239. doi: 10.1146/annurev-nutr-071715-050947

22. Laughlin MH, Newcomer SC, Bender SB. Importance of hemodynamic forces as signals for exercise-induced changes in endothelial cell phenotype. *J Appl Physiol*. 2008; 104(3): 588-600. doi: 10.1152/japplphysiol.01096.2007

23. Rezk-Hanna M, Seals DR, Rossman MJ, Gupta R, Nettle ChO, Means A. Ascorbic acid prevents vascular endothelial dysfunction induced by electronic hookah (waterpipe) vaping. *J Am Heart Assoc*. 2021; 10(5): e019271. doi: 10.1161/JAHA.120.019271

24. Naimi M, Vlavcheski F, Shamshoum H. Rosemary extract as a potential anti-hyperglycemic agent: Current evidence and future perspectives. *Nutrients*. 2017; 1(9): 968. doi: 10.3390/nu9090968

25. Prasannarong M, Saengsirisuwan V, Surapongchai J, Chukijrungrat BJ, Rattanavichit Y, et al. Rosmarinic acid improves hypertension and skeletal muscle glucose transport in angiotensin II-treated rats. *BMC Complement Altern Med*. 2019; 19(1): 165. doi: 10.1186/s12906-019-2579-4

26. Seyyidi SM, Tofighi A, Rahmati M. Exercise and Urtica Dioica extract ameliorate mitochondrial function and the expression of cardiac muscle nuclear respiratory factor 2 and peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha in STZ-induced diabetic rats. *Gene*. 2022; 15(822): 146351. doi: 10.1016/j.gene.2022.146351

27. Liang Y, Qiu J, Gao HQ. Protective effect of grape seed proanthocyanidins extracts on reperfusion arrhythmia in rabbits. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 2009; 55(3): 223-230. doi: 10.3177/jnsv.55.223

28. Quinones M. The polyphenols, naturally occurring compounds with beneficial effects on cardiovascular disease. *Nutr Hosp*. 2012; 27(1): 76-89. doi: 10.1590/S0212-16112012000100009

29. Kang P, Ryu K-H, Jeong-Min Lee, Kim HK, Seol GH, et al. Endothelium- and smooth muscle-dependent vasodilator effects of *Citrus aurantium* L. var. amara: Focus on Ca(2+) modulation. *Biomed Pharmacother*. 2016; 82: 467-71. doi: 10.1016/j.biopha.2016.05.030

30. Khoo NK. Dietary flavonoid quercetin stimulates vasorelaxation in aortic vessels. *Free Radic Biol Med*. 2010; 49(3): 339-347. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2010.04.022

REFERENCES

1. Jarvis SS, Levine BD, Prisk GK, Shykoff BE, Elliott AR, Rosow E, et al. Simultaneous determination of the accuracy and precision of closed-circuit output rebreathing techniques. *J Appl Physiol*. 2007; 103: 867-874. doi: 10.1152/japplphysiol.01106.2006

2. Smith KJ, Wildfong KW, Hoiland RL, Harper M, Lewis NC, Pool A, et al. Role of CO₂ in the cerebral hyperemic response to incremental normoxic and hyperoxic exercise. *J Appl Physiol*. 2016; 120: 843-854. doi: 10.1152/japplphysiol.00490.2015

3. Ito H, Yokoyama I, Iida H, Kinoshita T, Hatazawa J, Shimosegawa E, et al. Regional differences in cerebral vascular response to PaCO₂ changes in humans measured by positron emission tomography. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2000; 20: 1264-1270. doi: 10.1097/00004647-200008000-00011

4. Hew-Butler T. Exercise-associated hyponatremia. *Front Horm Res*. 2019; 52: 178-189. doi: 10.1159/000493247

5. James LJ, Moss JH. Hypohydration impairs endurance performance: A blinded study. *Physiol Rep*. 2017; 5(12): e13315. doi: 10.14814/phy2.13315

6. Watso JC, Farquhar WB. Hydration status and cardiovascular function. *Nutrients*. 2019; 11(8): 1866. doi: 10.3390/nu11081866

7. Martinchik AN, Baeva VS, Peskova EV, Kudryavtseva KV, Denisova NN, Lavrinenko SV, et al. Actual liquid consumption by highly qualified athletes in the mode of the training process. *Problems of Nutrition*. 2018; 87(3): 36-44. (In Russ.). doi: 10.24411/0042-8833-2018-10029

8. Vykhodets IT, Kurashvili VA, Miroshnikova YuV. *Clinical recommendations on the methods of rehydration of the athlete's body in various Olympic sports during training events and sports competitions*. Moscow; 2018. (In Russ.).

9. *Report of Science Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen*. 2001.

10. Maughan RJ, Murray R. *Sports drinks: Basic science and practical aspects*. Boca Raton: CRC Press; 2019.

11. Thein-Nissenbaum J, Hammer E. Treatment strategies for the female athlete triad in the adolescent athlete: Current perspectives. *Open Access J Sports Med*. 2017; 8: 85-95. doi: 10.2147/OAJSM.S100026

12. Sawka MN, Greenleaf JE. Current concepts concerning thirst, dehydration, and fluid replacement: Overview. *Med Sci Sports Exerc*. 1992; 24(6): 643-644.

13. Mason SA, Trewin AJ, Parker L, Wadley GD. Antioxidant supplements and endurance exercise: Current evidence and mechanistic insights. *Redox Biol*. 2020; 35: 101471. doi: 10.1016/j.redox.2020.101471

14. Sellami M, Slimeni O, Pokrywka A, Kuvačić G, Hayes LD, Milic M. Herbal medicine for sports: A review. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018; 15(15): 14. doi: 10.1186/s12970-018-0218-y

15. Smith KJ, MacLeod D, Willie CK, Lewis NCS, Hoiland RL, Ikeda K, et al. Influence of high altitude on cerebral blood flow and fuel utilization during exercise and recovery. *J Physiol*. 2014; 592: 5507-5527. doi: 10.1113/jphysiol.2014.281212

16. Ogoh S, Dalsgaard MK, Yoshiga CC, Dawson EA, Keller DM, Raven PB, et al. Dynamic cerebral autoregulation during exhaustive exercise in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2005; 288: 1461-1467. doi: 10.1152/ajpheart.00948.2004

17. Kim VN, Krivulina GB, Prosekin GA. The effect of dehydration on the development of endothelial dysfunction in young athletes: A comparative analysis of the effectiveness of a new honey isotonic drink and standard means of restoring hydro-electrolytic balance. *Acta biomedica scientifica*. 2020; 5(5): 86-98. (In Russ.). doi: 10.29413/abs.2020-5.5.12

18. Bachi AL, Sierra AP, Rios FJ, Gonçalves DA, Ghorayeb N, Abud RL. Athletes with higher VO₂max present reduced oxLDL after a marathon race. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2015; 1(1): bmjsem-2015-000014. doi: 10.1136/bmjsem-2015-000014

19. Green DJ, Hopman MT, Padilla J, Laughlin MH. Vascular adaptation to exercise in humans: Role of hemodynamic stimuli. *Physiol Rev.* 2017; 97(2): 495-528. doi: 10.1152/physrev.00014.2016
20. Lopatin ZV, Vasilenko VS. Endothelial dysfunction markers in an athlete in training load. *Modern Problems of Science and Education.* 2019; 1: 414-416. (In Russ.).
21. Smith AD, Refsum H. Homocysteine, B vitamins, and cognitive impairment. *Annu Rev Nutr.* 2016; 36: 211-239. doi: 10.1146/annurev-nutr-071715-050947
22. Laughlin MH, Newcomer SC, Bender SB. Importance of hemodynamic forces as signals for exercise-induced changes in endothelial cell phenotype. *J Appl Physiol.* 2008; 104(3): 588-600. doi: 10.1152/jappphysiol.01096.2007
23. Rezk-Hanna M, Seals DR, Rossman MJ, Gupta R, Nettle ChO, Means A. Ascorbic acid prevents vascular endothelial dysfunction induced by electronic hookah (waterpipe) vaping. *J Am Heart Assoc.* 2021; 10(5): e019271. doi: 10.1161/JAHA.120.019271
24. Naimi M, Vlavcheski F, Shamshoum H. Rosemary extract as a potential anti-hyperglycemic agent: Current evidence and future perspectives. *Nutrients.* 2017; 1(9): 968. doi: 10.3390/nu9090968
25. Prasannarong M, Saengsirisuwan V, Surapongchai J, Chukijrungrat BJ, Rattanavichit Y, et al. Rosmarinic acid improves hypertension and skeletal muscle glucose transport in angiotensin II-treated rats. *BMC. Complement Altern Med.* 2019; 19(1): 165. doi: 10.1186/s12906-019-2579-4
26. Seyyidi SM, Tofghi A, Rahmati M. Exercise and Urtica Dioica extract ameliorate mitochondrial function and the expression of cardiac muscle nuclear respiratory factor 2 and peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha in STZ-induced diabetic rats. *Gene.* 2022; 15(822): 146351. doi: 10.1016/j.gene.2022.146351
27. Liang Y, Qiu J, Gao HQ. Protective effect of grape seed proanthocyanidins extracts on reperfusion arrhythmia in rabbits. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* 2009; 55(3): 223-230. doi: 10.3177/jnsv.55.223
28. Quinones M. The polyphenols, naturally occurring compounds with beneficial effects on cardiovascular disease. *Nutr Hosp.* 2012; 27(1): 76-89. doi: 10.1590/S0212-16112012000100009
29. Kang P, Ryu K-H, Jeong-Min Lee, Kim HK, Seol GH, et al. Endothelium- and smooth muscle-dependent vasodilator effects of *Citrus aurantium* L. var. amara: Focus on Ca(2+) modulation. *Biomed Pharmacother.* 2016; 82: 467-71. doi: 10.1016/j.biopha.2016.05.030
30. Khoo NK. Dietary flavonoid quercetin stimulates vasorelaxation in aortic vessels. *Free Radic Biol Med.* 2010; 49(3): 339-347. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2010.04.022

Сведения об авторах

Трибрат Наталья Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных, ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», e-mail: miu-miu07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6800-1419>

Бирюкова Елена Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных, ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», e-mail: biotema@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2628-0923>

Хусаинов Денис Рашидович – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных, ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», e-mail: gangliu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0974-6792>

Мишин Николай Петрович – старший преподаватель кафедры теории и методики физической культуры, ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», e-mail: mishinnick@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4033-1157>

Нагаева Елена Ивановна – кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры, ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», e-mail: enagaeva75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0192-1752>

Бурцева Елена Владимировна – доцент кафедры фармакологии, ФГАУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», e-mail: burtsevaev2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5418-7849>

Кушнир Семен Кириллович – студент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: pulpit@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3978-6093>

Information about the authors

Natalia S. Tribat – Cand. Sc. (Biol.), Associate Professor at the Department of the Human and Animal Physiology and Biophysics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, e-mail: miu-miu07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6800-1419>

Elena A. Birukova – Cand. Sc. (Biol.), Associate Professor at the Department of the Human and Animal Physiology and Biophysics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, e-mail: biotema@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2628-0923>

Denis R. Khusainov – Cand. Sc. (Biol.), Associate Professor at the Department of the Human and Animal Physiology and Biophysics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, e-mail: gangliu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0974-6792>

Nikolay P. Mishin – Senior Lecturer at the Department of Theory and Methods of Physical Culture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, e-mail: mishinnick@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4033-1157>

Elena I. Nagaeva – Cand. Sc. (Biol.), Associate Professor at the Department of Theory and Methods of Physical Culture, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, e-mail: enagaeva75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0192-1752>

Elena V. Burtseva – Associate Professor at the Department of Pharmacology, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, e-mail: burtsevaev2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5418-7849>

Semen K. Kushnir – Student, Kazan State Medical University, e-mail: pulpit@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3978-6093>