

Дотации магния и витамина В₂ – ВАЖНЫЙ НУТРИЦИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕСУРС СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ

О.А. ГРОМОВА^{1, 2}, И.Ю. ТОРШИН^{1, 2}, М.А. СОРОКИНА³, А.Н. ГРОМОВ¹

¹ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Институт фармакоинформатики: 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2

² Центр хранения и анализа больших данных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Центр теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН»: 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 4

Информация об авторах:

Громова Ольга Алексеевна – д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник, научный руководитель Института фармакоинформатики, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН; тел.: +7(916) 108-09-03; e-mail: unesco.gromova@gmail.com
Торшин Иван Юрьевич – к.х.н., старший научный сотрудник, Институт фармакоинформатики, Федеральный исследователь-

ский центр «Информатика и управление» РАН; Центр хранения и анализа больших данных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; тел.: (499) 135-2489, Россия
Сорокина Мария Андреевна – аспирант Федерального государственного бюджет-

ного учреждения науки «Центр теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН» (ЦТП ФХФ РАН), Российская Федерация; тел.: +7 (495) 938-25-33
Громов Андрей Николаевич – научный сотрудник отдела интеллектуальных систем Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН; тел.: (499) 135-24-89

РЕЗЮМЕ

Обеспеченность организма магнием и витамином В₂ принципиально необходима для поддержания энергетического метаболизма клеток, гормонального баланса, выносливости, иммунитета, сердечно-сосудистого здоровья спортсменов. Как результат, полная обеспеченность этими микронутриентами позволяет повышать максимальную аэробную мощность, достигать лучших спортивных результатов и адекватного восстановления после соревнований и интенсивных тренировок. Перспективным способом повышения обеспеченности спортсменов магнием и витамином В₂ является использование водных растворов цитрата магния в сочетании с рибофлавином.

Ключевые слова: спортивная медицина, микронутриенты, Магнесол В₂, систематический анализ

Для цитирования: Громова О.А., Торшин И.Ю., Сорокина М.А., Громов А.Н. Дотации магния и витамина В₂ – важный нутрициологический ресурс спортивной медицины. *Медицинский совет*. 2018; 21: 216-230. DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2018-21-216-230>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Magnesium and vitamin B₂ supplementation IS AN IMPORTANT NUTRITIONAL RESOURCE OF SPORTS MEDICINE

Olga A. GROMOVA^{1,2}, Ivan Yu. TORSHIN^{1,2}, Maria A. SOROKINA³, Andrey N. GROMOV¹

¹ Federal Research Center «Informatics and Management» of the Russian Academy of Sciences, Institute of Pharmacoinformatics: 44, Bldg. 2 Vavilova, Moscow, 119333.

² Big Data Storage & Analysis Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lomonosov Moscow State University»: 1 Leninskie Gorky, Moscow, 119991, Russian Federation

³ Federal State Budgetary Institution of Science «Center for Theoretical Problems of Physico-Chemical Pharmacology RAS»: 4 Kosygina Str., Moscow, 119991

Author credentials:

Gromova Olga Alexeevna – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Leading Researcher, Scientific Director of the Institute of Pharmacoinformatics, Federal Research Center «Informatics and Management» of the Russian Academy of Sciences; tel.: +7(916) 108-09-03; e-mail: unesco.gromova@gmail.com
Torshin Ivan Yurievich – Cand. of Sci. (Chem.), Senior Researcher, Institute of

Pharmacoinformatics, Federal Research Center «Informatics and Management» of the Russian Academy of Sciences; Big Data Storage & Analysis Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lomonosov Moscow State University»; tel.: (499) 135-2489, Russia
Sorokina Maria Andreevna – Postgraduate Student of the Federal State Budgetary

Institution of Science «Center for Theoretical Problems of Physico-Chemical Pharmacology of the Russian Academy of Sciences», Russian Federation; tel.: +7 (495) 938-25-33
Gromov Andrey Nikolaevich – Researcher, Department of Intelligent Systems, Federal Research Center «Informatics and Management» of the Russian Academy of Sciences; tel.: (499) 135-24-89

ABSTRACT

The supply of the with magnesium and vitamin B₂ is essential to maintain the energy metabolism of cells, hormonal balance, endurance, immunity, cardiovascular health of athletes. As a result, by increasing the availability of these micronutrients, it is possible to increase maximum aerobic power, achieve better sports results and stimulate adequate recovery after competition or after

intensive training. A promising way to increase the supply of athletes with magnesium and vitamin B₂ is the use of aqueous solutions of magnesium citrate in combination with riboflavin.

Keywords: sports medicine, micronutrients, Magnesol-B₂, systematic analysis

For citing: Gromova O.A., Torshin I.Yu., Sorokina M.A., Gromov A.N. Magnesium and vitamin B₂ supplementation is an important nutritional resource of sports medicine. *Meditsinskiy Sovet* 2018; 21: 216-230. DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2018-21-216-230>.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Основополагающую роль для достижения хорошей физической формы и оптимальных спортивных результатов играют регулярные тренировки и адекватный рацион питания. Важным компонентом правильного питания профессиональных спортсменов, спортсменов-любителей и занимающихся фитнес-аэробикой являются макро- и микронутриенты (витамины и микроэлементы). Например, витамин А важен для поддержания зрения; тиамин, рибофлавин, ниацин, пантотеновая кислота, витамин D и магний – для поддержания энергетического метаболизма мышечных клеток и тонкой моторики; витамин D, ниацин и рибофлавин также важны для переработки жирных кислот. Это лишь некоторые из возможных метаболических функций витаминов, важных для поддержания физической формы [1]. У всех людей, и особенно у спортсменов, не уделяющих должного внимания сбалансированности диеты и приему ВМК, развивается сочетанный дефицит многих микронутриентов [2].

Одной из важнейших функций многих витаминов является поддержка клеточного дыхания и эффективного усвоения кислорода клетками организма. Например, пиридоксин участвует в синтезе гемоглобина и другого белка переноса кислорода; фолиевая кислота и витамин B₁₂ интегрированы в развитие эритроцитов; витамины С и Е являются антиоксидантами, предотвращая разрушение мембран эритроцитов во время физических нагрузок. Медь и железо поддерживают интенсивный энергетический метаболизм спортсмена, и прежде всего участвуют в усвоении кислорода. Селен в составе глутатионпероксидазы защищает сердечно-сосудистую систему и мышцы от оксидативного стресса, возрастающего при физических нагрузках. Магний и цинк способствуют поддержанию кардиореспираторной функции и накоплению мышечной массы. Участие ионов магния в энергетическом метаболизме клеток указывает на его эргогенные роли у спортсменов [3].

Важность обеспеченности спортсмена магнием огромна – ведь ионы магния необходимы для поддержания активности более чем 700 белков протеома человека. При физической нагрузке магний, наряду с калием, натрием и кальцием, обеспечивает циклы сокращения-расслабления сердца и осуществление окислительного фосфорилирования в ходе биосинтеза АТФ [4]. Магний необходим для регулирования нервно-мышечной проводимости, ритма сердца, тонуса сосудов, иммунитета, уровня глюкозы в крови, баланса распада-реконструкции соединительной ткани (связки, хрящи, кости) [5]. Во многих исследованиях установлено, что потребность в Mg увеличивается пропорционально возрастанию физиче-

ских нагрузок. Дотации магния повышают эффективность тренировок за счет увеличения доступности глюкозы в клетках мозга, мышц и в форменных элементах крови, а также за счет замедления накопления лактата в мышцах [6]. Установлены взаимосвязи между обеспеченностью магнием и силой мышечного сжатия, силой ног, крутящим моментом колена, силой лодыжек, максимальной изометрической нагрузкой и другими показателями функционирования мышечной системы [7]. Заметим, что дотации магния также способствуют профилактике и лечению саркопении, возрастной потере мышечной массы, мышечной силы и физической работоспособности [8].

Несмотря на очевидную важность обеспеченности спортсменов магнием, витамином B₂ и другими микронутриентами, микронутриентные дефициты у спортсменов весьма распространены. Например, исследование группы гимнастов-профессионалов (n = 67) показало, что большинство обследованных страдали от умеренной сонливости днем (67%) и жаловались на плохое качество сна (78%). Исследование дневников диеты указало на недостаточное потребление фолатов, витаминов D, E и K, кальция, железа, бора и магния (p<0,05) [9]. Оценка потребления микронутриентов паралимпийцами (n = 40) показало недостаточное потребление витамина D, витамина E, пантотеновой кислоты, магния и калия [10]. Оценка суточного потребления микронутриентов у элитных спортсменов (n = 553, Голландия) показала, что у спортсменов, не принимающих ВМК, гораздо чаще встречается недостаточное потребление витаминов A, C, B₁, B₂, PP и селена [11].

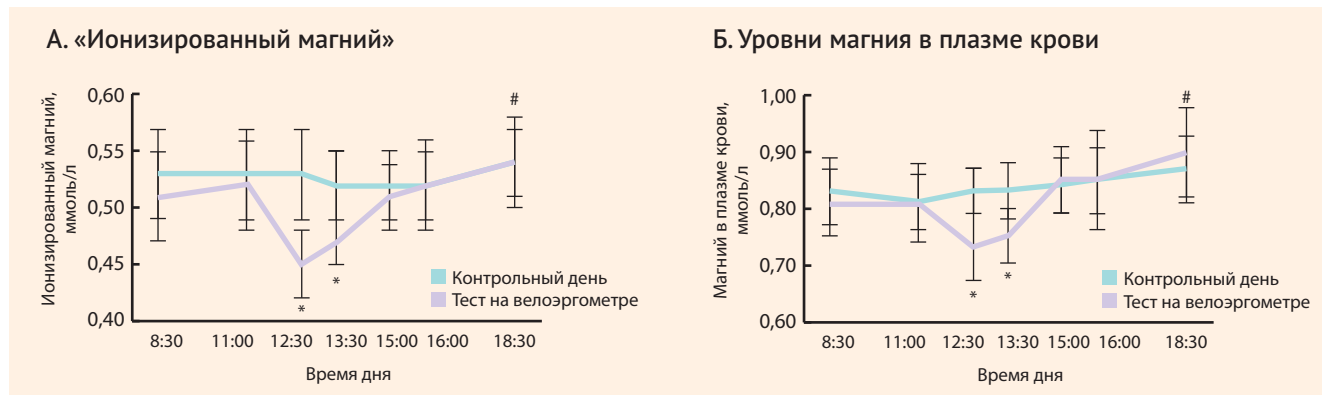
В настоящей статье представлены результаты систематического анализа имеющихся данных о взаимосвязи обеспеченности магнием и витамином B₂ с различными показателями состояния спортсменов. Рассмотрены результаты исследования динамики уровней магния в биосубстратах в ходе интенсивных физических нагрузок, взаимосвязь магния и максимальной аэробной мощности, гормонального баланса и сердечно-сосудистого здоровья спортсменов. Приведены результаты исследований взаимосвязи между обеспеченностью магнием, витамином B₂ и показателями метаболизма при физических нагрузках, выносливостью, восстановлением после нагрузок, в т. ч. показателями иммунитета. Рассмотрены результаты исследований применения органических солей магния и рибофлавина у спортсменов.

ДИНАМИКА УРОВНЕЙ МАГНИЯ В БИОСУБСТРАТАХ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Концентрации магния в плазме крови и в эритроцитах поддерживаются в определенных интервалах значений

● **Рисунок 1.** Снижение уровней магния после 90-минутного теста на велоэргометре (70% VO_{2max} , с 11:00 до 12:30) у спортсменов 31 ± 8 лет

● **Figure 1.** Decrease in magnesium concentrations in athletes of 31 ± 8 years old following a 90-minute bicycle ergometer test (70% VO_{2max} , between 11:00 and 12:30)



за счет регуляции адсорбции магния в тонком кишечнике и реабсорбции в почках [12]. Типичным результатом интенсивной физической нагрузки является снижение уровней крови в плазме/сыворотке крови; в некоторых исследованиях отмечено снижение уровней магния и в плазме, и в эритроцитах [13].

Достаточно наглядной иллюстрацией этого факта является кривая концентраций магния в крови после теста на велоэргометре. При проведении 90-минутного теста у спортсменов 31 ± 8 лет ($n = 18$) отмечено достоверное снижение концентрации «ионизированного магния» (от $0,52 \pm 0,04$ до $0,45 \pm 0,03$ ммоль/л) и концентрации магния в плазме крови (от $0,81 \pm 0,07$ до $0,73 \pm 0,06$ ммоль/л, $p < 0,001$, рис. 1) [14].

Измерения уровней электролитов в сыворотке крови были проведены у тренированных спортсменов – бегунов на длинные дистанции ($n = 18$) до и после стандартного марафонского забега (42 км), в течение которого они не употребляли никаких электролитных растворов. Установлено значительное падение концентрации магния в сыворотке крови на фоне увеличения уровней калия и натрия [15].

У марафонцев ($n = 24$) отмечено достоверное снижение уровней магния в крови и в моче к концу забега. Участники

завершили марафон за время от 2 ч 43 мин до 5 ч 28 мин. Концентрация железа в сыворотке значительно увеличилась (от 19 ± 9 ммоль/л до 24 ± 8 ммоль/л, $p = 0,006$), а уровни магния значительно уменьшились и в сыворотке крови (от $0,83 \pm 0,07$ до $0,69 \pm 0,06$ ммоль, $p = 0,00001$), и в моче (от $1,41 \pm 0,35$ до $0,91 \pm 0,51$ ммоль, $p = 0,003$) [16].

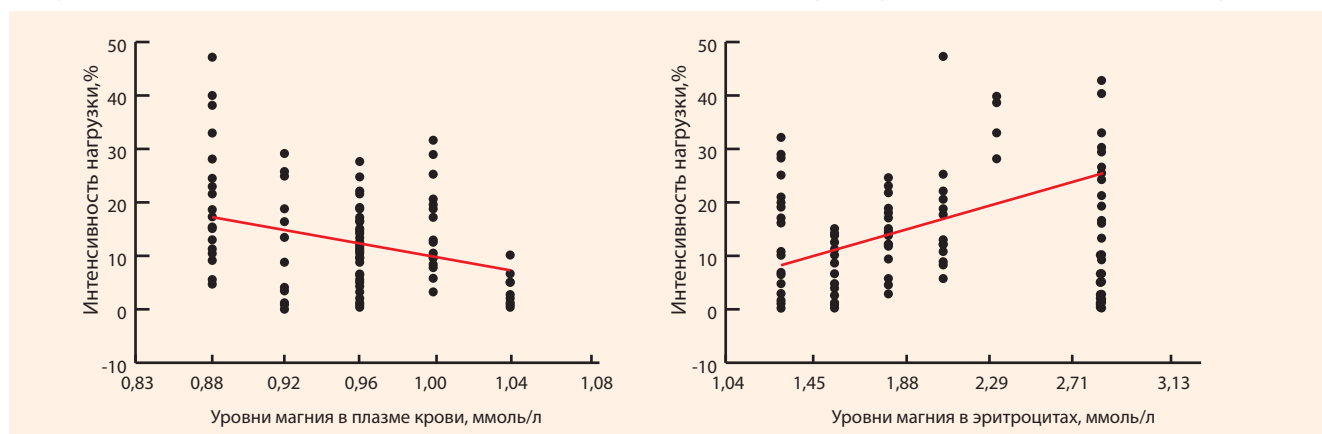
Измерения потери натрия, калия, кальция и магния с потом во время бега на 10 км (время забега 41 ± 10 мин) показали, что потеря массы тела составила в среднем 1,45 кг. На каждый килограмм снижения массы тела потери кальция через кожу составили 20 мг, калия – 200 мг, натрия – 800 мг, а магния – всего 5 мг [17].

При длительном плавании уровень магния в плазме крови снижается даже у хорошо подготовленных пловцов ($n = 8$): на 12% после 2 мин плавания и на 21% – через 30 мин. Уровни магния в эритроцитах и в моче достоверно не изменялись [18]. Напомним, что плавание – особый вид спорта, требующий поддержки температуры тела в воде, а магний участвует в терморегуляции организма [6].

Степень снижения уровней магния зависит от интенсивности физической нагрузки. У профессиональных гандболистов ($n = 14$) в период тренировок и в период соревнований уровни Mg были ассоциированы с объемом нагрузки (рис. 2)

● **Рисунок 2.** Корреляция между объемом тренировок и уровнями магния в плазме и в эритроцитах у гандболистов

● **Figure 2.** Correlation between training volume and magnesium plasma and erythrocyte concentrations in handball players



[19]. Объем нагрузок оценивался по «остаточной» ЧСС: для каждого спортсмена рассчитывался процент времени тренировки, в течение которого частота пульса у спортсмена повышалась более чем на 80% от пульса в состоянии покоя.

Таким образом, при интенсивных физических нагрузках происходит потеря магния организмом, что отражается в снижении концентраций магния в исследуемых биосубстратах. Однако транзиторная почечная недостаточность (возникающая, например, во время бега на длинные дистанции) может, наоборот, приводить к *увеличению* уровней магния в плазме. У спортсменов-любителей ($n = 7$) после бега на 100 км уровни Mg^{2+} в плазме крови значительно увеличивались (от $0,85 \pm 0,07$ ммоль/л до $0,93 \pm 0,19$ ммоль/л, $p < 0,05$). В то же время достоверных изменений концентрации магния в эритроцитах не наблюдалось ($2,11 \pm 0,20$ ммоль/л до $2,14 \pm 0,12$ ммоль/л после), а уровни креатинина в плазме крови значительно увеличивались (от $73,4 \pm 3,5$ до $117,6 \pm 19,4$ мкмоль/л, $p < 0,01$) – наблюдение, указывающее на достоверное ухудшение почечной функции. Была установлена положительная корреляция между уровнями магния и креатинина в плазме крови ($r = 0,65$, $p < 0,01$) [20]. Таким образом, в исследованной группе преобладали спортсмены, у которых бег на длинную дистанцию приводил к срыву работы противоточно-множительной системы почек (что вполне ожидаемо в случае спортсменов-любителей).

Снижение уровней Mg^{2+} в плазме крови во время физических нагрузок не могут быть отнесены только к всасыванию ионов Mg^{2+} эритроцитами и экскрецией с потом или мочой. Например, в исследовании бегунов-марафонцев ($N = 23$) уровни Mg^{2+} во время марафона достоверно снижались в эритроцитах (от $2,13 \pm 0,16$ до $2,02 \pm 0,18$ ммоль/л, $p < 0,05$) и в плазме крови (от $0,88 \pm 0,06$ до $0,81 \pm 0,07$ ммоль/л, $p < 0,05$) на фоне снижения экскреции Mg^{2+} с мочой ($p < 0,001$). Принимая во внимание достаточно низкие уровни секреции магния с потом (5 мг магния на 1 кг пота), можно предположить, что во время продолжительных физических нагрузок Mg^{2+} из сыворотки, эритроцитов и других клеток поступает во внеклеточную жидкость и всасывается, например, клетками жировой ткани (рис. 3) [21].

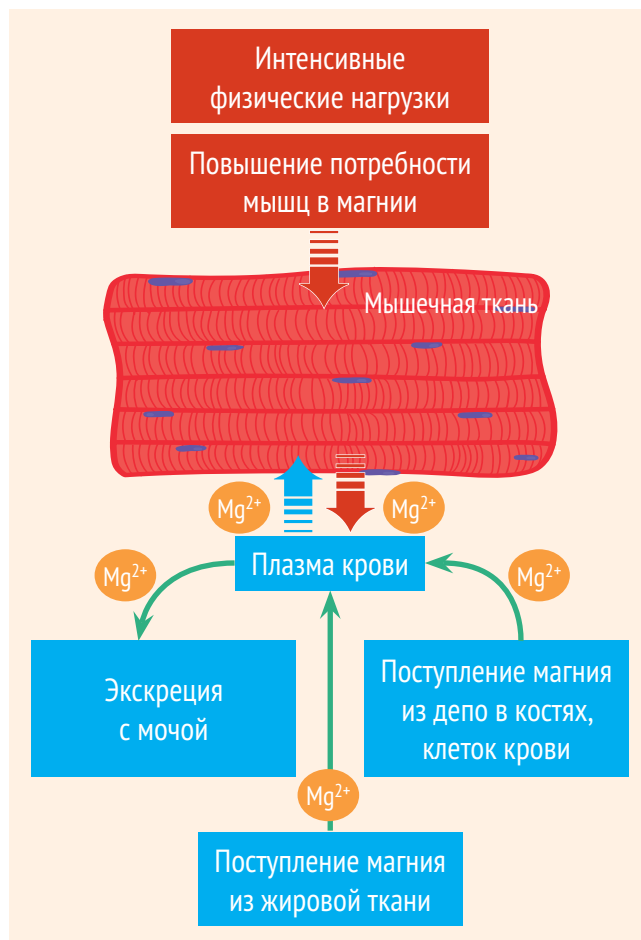
Среди элитных легкоатлетов ($N = 130$) концентрация магния в сыворотке крови была выше верхней границы нормы у 26% обследованных мужчин и у 17% обследованных женщин. Учитывая отсутствие каких-либо патологических проявлений, этот результат указывает на необходимость разработки специальных референсных интервалов значений магния сыворотки для спортсменов. При этом такие референсные интервалы могут быть различными для периодов тренировок и соревнований [22].

Крайне важно отметить, что данные клинических исследований спортсменов подтверждают реальные диапазоны физиологически приемлемых значений уровней магния в крови, установленные в ходе эпидемиологических исследований. Так, уровни магния в плазме крови профессиональных спортсменов в состоянии покоя (до тренировки) составили 0,83–0,85, 0,88–0,90 и даже $0,93 \pm 0,11$ ммоль/л [22–24].

Действительно, спортсмены в период активных занятий спортом отличаются исключительным физическим

● **Рисунок 3.** Физиологические потоки магния в ходе выполнения аэробных упражнений

● **Figure 3.** Physiological magnesium fluxes during aerobic exercises

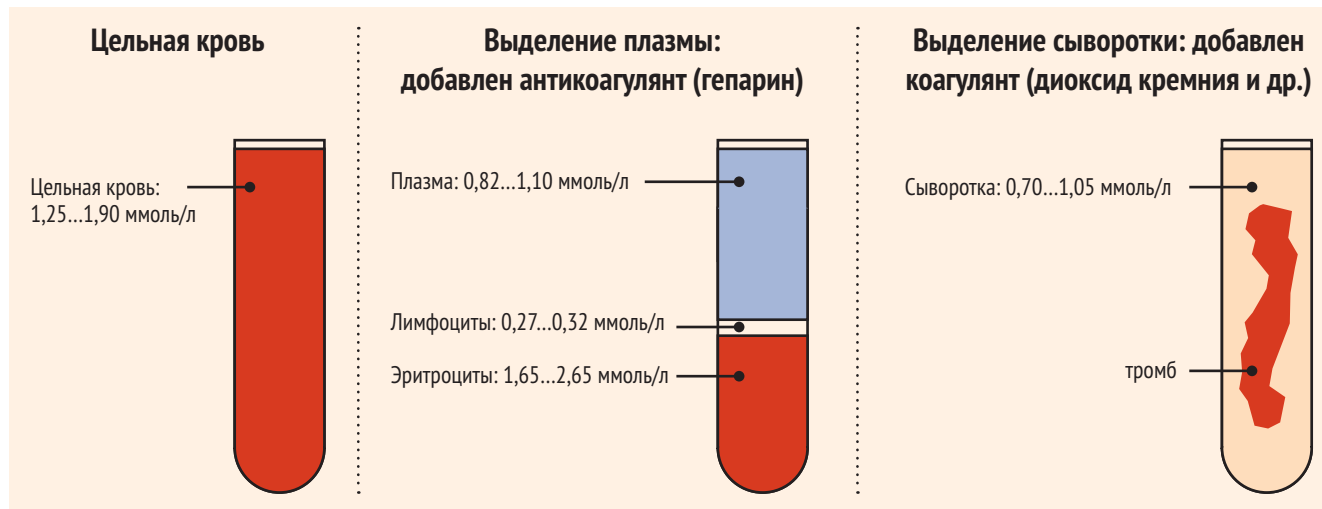


здоровьем. Поэтому приводимые значения еще раз подтверждают вывод, основанный на результатах крупномасштабных российских клинико-эпидемиологических исследований: нижняя граница нормы уровней магния в плазме крови не может быть ниже чем 0,82–0,85 ммоль/л (рис. 4) [25–27]. Эти скрининговые исследования показали, что сниженная обеспеченность магнием (уровни магния в плазме менее 0,80 ммоль/л) соответствует повышенному риску судорог, нарушений ритма сердца, гипертонии, пролапса митрального клапана, нарушений сна, дезадаптации и многих других патологий [25].

УРОВНИ МАГНИЯ И МАКСИМАЛЬНАЯ АЭРОБНАЯ МОЩНОСТЬ

Исследования здоровых добровольцев, занимающихся разными видами спорта, показали, что интенсивные физические нагрузки приводят к снижению уровней магния в плазме и в сыворотке крови, что, в свою очередь, способствует снижению максимальной силы сокращения мышц и максимальной аэробной мощности (VO_{2max}) [28]. В частности, у пловцов ($n = 9$) отмечена достоверная

● **Рисунок 4.** Диапазоны уровней магния в различных фракциях крови для здоровых мужчин и женщин старше 20 лет, не занимающихся профессиональным спортом
 ● **Figure 4.** The magnesium concentrations ranges in different blood fractions for healthy men and women over 20, who are not involved in professional sports



($p < 0,05$) положительная корреляция между уровнями магния в плазме крови и VO_{2max} ($R = 0,42+$) [29].

В эксперименте физические нагрузки в условиях гипоксии (всего 10% O_2) снижали уровни ионов магния в сердце, печени и икроножных мышцах. Наибольшее уменьшение концентрации Mg^{2+} наблюдалось в икроножных мышцах, а уровни магния в почках увеличивались, что указывает на усиление потерь магния с мочой [30].

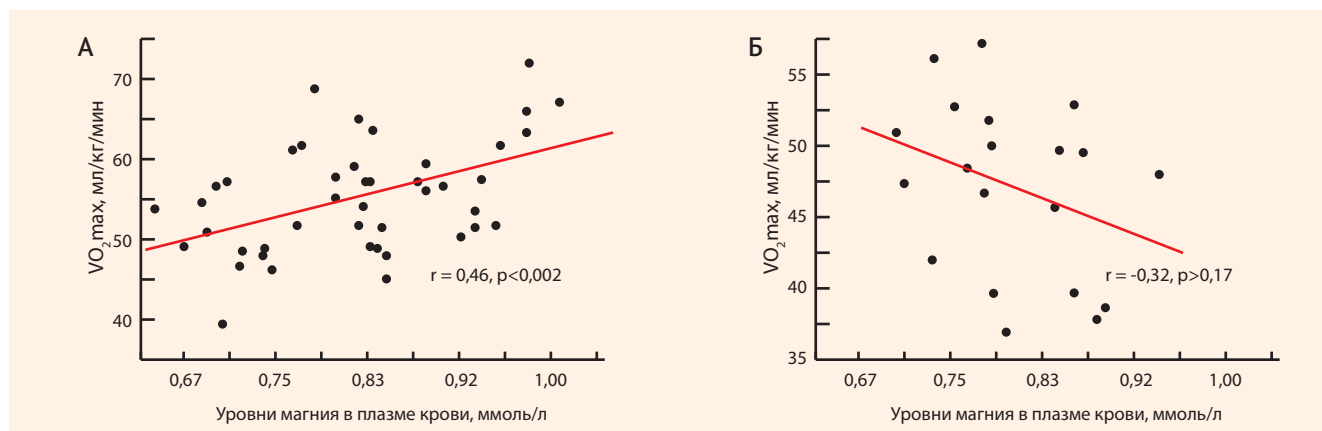
Максимальный расход кислорода зависит от обеспеченности организма магнием. Спортсмены-юноши ($n = 44$) и здоровые нетренированные добровольцы ($n = 20$) прошли тест максимальной нагрузки на беговой дорожке. Уровни магния в плазме достоверно коррелировали с максимальным потреблением кислорода только у спортсменов ($r = 0,46$, $p < 0,002$, рис. 5А); у нетренированных добровольцев такой корреляции не наблюдалось (рис. 5Б) [31].

МАГНИЙ И ГОРМОНАЛЬНЫЙ БАЛАНС СПОРТСМЕНОВ

Спортивные тренировки влияют на уровни электролитов и гормонов в крови. У бегунов на средние и длинные дистанции ($n = 8$) в ходе выполнения эргометрического теста установлено значительное увеличение Ca^{2+} и Mg^{2+} в сыворотке и значительное снижение Mg^{2+} в эритроцитах на фоне заметного прироста уровня кортизола и гормона щитовидной железы трийодтиронина в крови [32].

Дотации магния (10 мг/кг элементарного магния, сульфат магния) тхэквондистам вызвали достоверные повышения уровней адренокортикотропного гормона ($p < 0,05$), кортизола ($p < 0,05$) и ТТГ ($p < 0,05$) после физических упражнений, что улучшает тонус мускулатуры и повышает эффективность тренировок [33–35].

● **Рисунок 5.** Корреляции между максимальным потреблением кислорода (VO_{2max}) и концентрацией магния в плазме крови натощак у спортсменов-мужчин (А) и нетренированных мужчин той же возрастной группы (Б)
 ● **Figure 5.** Correlations between the maximum oxygen consumption (VO_{2max}) and the magnesium plasma concentration in the fasting state in male athletes (A) and untrained men of the same age group (B)



Ионы Mg^{2+} необходимы для осуществления биологических эффектов адреналина и инсулина. Уровни этих гормонов существенно изменяются во время физических нагрузок. Исследование с участием профессиональных спортсменов на выносливость ($n = 27$) показало, что в упражнении с постепенным увеличением нагрузки уровни адреналина, норадреналина, паратгормона, глюкагона и кортизола в плазме крови увеличиваются, а уровни инсулина – снижаются [36]. Поддержание нормальных уровней магния в организме будет способствовать профилактике нарушений гормонального баланса, т. к. магний необходим для поддержания нормальной чувствительности рецепторов к адреналину и инсулину.

Важность регуляции магнием ответа тканей на стимуляцию адреналином обусловлена и тем, что адреналин является общеизвестным «гормоном стресса». Поэтому нормализация ответа тканей на адреналин будет повышать адаптационный резерв спортсмена. Анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) методом кардиоинтервалографии показал, что дотации магния (400 мг/сут в виде органических солей, 3 нед.) здоровым добровольцам ($n = 100$) действительно способствуют снижению стресса и повышению уровня адаптации организма. Дотации магния улучшали значения различных показателей ВСР. Так, значения «рNN50» (показатель парасимпатической активности) увеличивались, а значения отношения НЧ/ВЧ и индекса стресса (показатели, характеризующие дисбаланс вегетативной нервной системы) снижались. В контрольной группе положительных изменений этих параметров ВСР отмечено не было. Таким образом, ежедневные дотации магния способствуют улучшению физиологической регуляции симпатических и парасимпатических эфферентов, вследствие чего снижаются беспокойство, раздражительность, затруднения при концентрации, расстройства сна и риск

формирования депрессивных состояний [37]. Это важно, например, в случае цитированного выше исследования гимнастов-профессионалов (см. «Введение») [9].

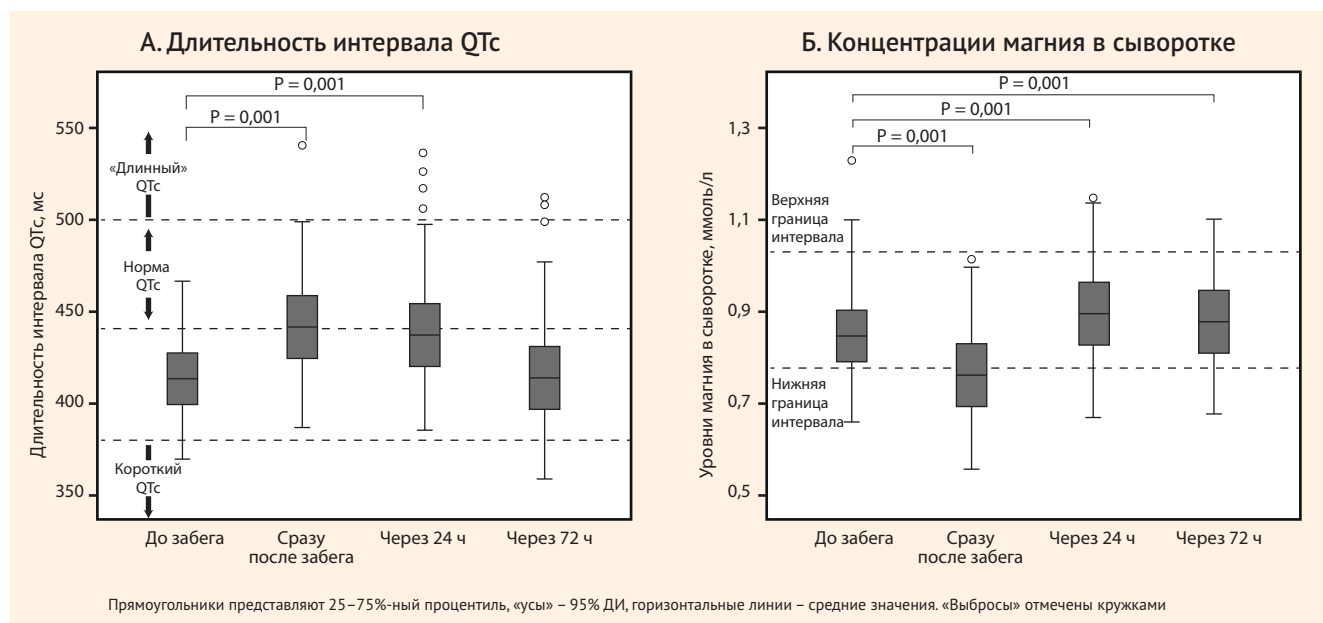
МАГНИЙ И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЕ ЗДОРОВЬЕ СПОРТСМЕНОВ

Внезапная смерть у профессиональных спортсменов и при неадекватных физических нагрузках у любителей является серьезной проблемой и спортивной медицины, и терапии. Спортивный врач или врач, курирующий фитнес-секцию, должен прогнозировать возможность такого исхода индивидуально, у каждого из наблюдаемых спортсменов, и осуществлять эффективную профилактику. Одной из причин внезапной смерти является дефицит магния.

Хронический дефицит магния способствует нарушениям липидного профиля, повышению уровней холестерина, триглицеридов и сахара в крови [38], избыточному повышению систолического и диастолического артериального давления после нагрузок ($p = 0,047$) [39]. *Транзиторный глубокий дефицит магния* (падение уровня магния в плазме до 0,50 ммоль/л или ниже) может стимулировать внезапную смерть от инфаркта миокарда [40]. Взаимосвязь дефицита Mg со встречаемостью сердечно-сосудистых заболеваний была детально изучена в рамках крупномасштабных исследований [25, 26].

Интенсивная физическая нагрузка (марафон) индуцирует значительное увеличение провоспалительных биомаркеров (ИЛ-6, $p < 0,001$), гипомагниемии и нарушений реполяризации сердца. Продолжительность интервала QTc значительно увеличилась сразу после бега ($442,4 \pm 23,0$ мс) по сравнению с начальным значением ($415,3 \pm 22,5$ мс, $p < 0,001$) и вернулась к начальным значениям в течение 72 ч ($415,8 \pm 24,7$ мс, рис. 6А). Сразу после бега отмечены значи-

- **Рисунок 6.** Нарушения ритма сердца и уровни магния в период марафонских соревнований
- **Figure 6.** Heart rhythm disorders and magnesium concentrations during marathon competitions



- **Таблица.** Концентрации биомаркеров до и сразу после марафона, через 24 и 72 ч после марафона
- **Table.** Biomarker concentrations before and immediately after the marathon, 24 and 72 hours after the marathon

Время	ИЛ-6 (нг/л)	Калий	Натрий	Магний	Кальций
До	2,08 (1,96–2,20)	140 (139–141)	4,3 (4,0–4,6)	0,85 (0,79–0,92)	2,56 (2,40–2,70)
0 ч	30,6 (19,8–43,6) *	143 (141–145) *	4,1 (3,8–4,6) **	0,77 (0,70–0,82) *	2,60 (2,47–2,74) **
24 ч	2,24 (2,11–2,37) *	140 (139–142) **	4,6 (4,4–4,9) *	0,90 (0,84–0,96) *	2,70 (2,58–2,84) *
72 ч	2,13 (2,05–2,25) *	141 (140–142) *	4,5 (4,2–4,8) *	0,88 (0,82–0,95) *	2,65 (2,54–2,78) *

* P = 0,001 по сравнению с уровнем до марафона. – ** P = 0,05. Уровни K, Na, Ca, Mg в ммоль/л.

тельные снижения концентрации сыворотки магния (до: 0,85 ммоль/л, 95% ДИ 0,79–0,92, после: 0,77 ммоль/л, 95% ДИ 0,70–0,82, $p < 0,001$) и калия (до: 4,27 ммоль/л, 95% ДИ 4,02–4,58, после: 4,14 ммоль/л, 95% ДИ 3,81–4,57, $p < 0,05$) (табл., рис. 6Б) [23].

С точки зрения сердечно-сосудистого здоровья спортсменов также важно, что *магний влияет на антиоксидантный ресурс сыворотки* (в частности, уровни каталазы и восстановленного глутатиона). В исследовании подростков, проходящих профессиональные спортивные тренировки ($n = 67$), значительные корреляции были отмечены между активностью каталазы и диетарным потреблением углеводов, белков, магния и марганца. У велосипедистов уровни восстановленного глутатиона и активность каталазы были выше по сравнению с показателями у бегунов [41]. В исследовании спортсменов-пловцов (мужчины 18–25 лет, $n = 15$) более высокое суточное потребление магния поддерживало антиоксидантные эффекты каротиноидов и сдерживало накопление лактата [42].

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МАГНИЕМ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ МЕТАБОЛИЗМА ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Регулярные тренировки систематически воздействуют на уровни многих биохимических показателей. Сравнение результатов анализов крови у несовершеннолетних и взрослых спортсменов ($n = 579$) и неспортсменов (здоровых добровольцев, $n = 241$) показало значительные различия в уровнях гемоглобина, объеме эритроцитов, количествах эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, уровнях железа, глюкозы, мочевины, триглицеридов, общего холестерина, липопротеидов высокой плотности, кальция, магния и других показателей. При физической активности большинство исследованных параметров изменялись, но не более чем на 50% от средних уровней. Наиболее существенно (на 50–80%) изменялись следующие параметры: объем эритроцитов, уровни глюкозы, мочевины, креатинкиназы, кальция и магния [43].

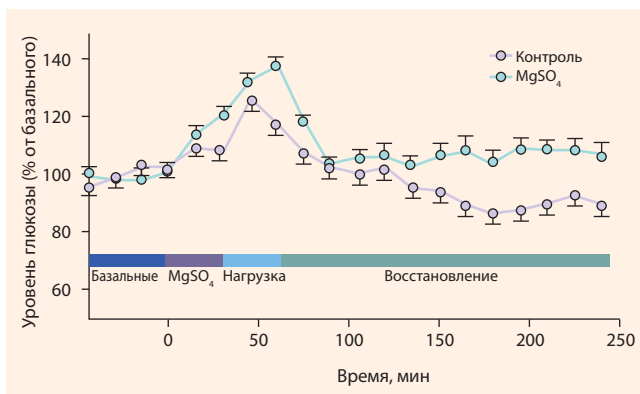
В эксперименте инъекции магния (90 мг/кг внутривенно в виде $MgSO_4$ за 15 мин до нагрузок) повышали уровни глюкозы мозга и способствовали более быстрому восстановлению энергетических субстратов в мозге во время и после тренировки (вынужденное плавание). При физической нагрузке в контрольной группе

животных, получавших инъекции физиологического раствора, уровни глюкозы и пирувата в мозге снизились до 50–60% от исходного уровня ($p = 0,01$). Введение раствора сульфата магния непосредственно перед нагрузкой повышало уровни глюкозы до 140% от исходного уровня, пирувата – до 150% от исходного уровня в течение всего теста ($p = 0,01$), причем уровни глюкозы и пирувата возвращались к исходным через 30 мин [44].

При внутривенном введении раствора $MgSO_4$ во время тренировки концентрация глюкозы значительно возрастала сразу после введения магния на 120–138% от базальной концентрации ($p < 0,05$), а через 60 мин после завершения тренировки снижалась. Очевидно, увеличение глюкозы в крови способствует повышенной физической работоспособности (рис. 7). В период восстановления концентрация лактата после тренировки снижалась быстрее, чем в контрольной группе.

Результаты исследований мышей-песчанок подтвердили, что инфузии сульфата магния улучшают соотношение уровней «лактат/глюкоза». После 15 мин принудительного плавания в группе животных, получивших $MgSO_4$, отношение «лактат/глюкоза» увеличилось до значения 0,25, а в контрольной группе – до большего значения (0,33, $p < 0,05$; рис. 8) [45].

- **Рисунок 7.** Временные профили эффектов $MgSO_4$ или физиологического раствора на уровни глюкозы в крови при физической нагрузке (беговая дорожка, скорость 20 м/мин).
- **Figure 7.** Time profiles of the effects of $MgSO_4$ or saline on blood glucose levels and lactate during exercise performance (treadmill, speed 20 m/min)



Дотации магния могут улучшать лактатный метаболизм спортсменов даже при отсутствии дефицита магния. Профессиональные игроки в мужской волейбол ($n = 25$) с нормальной экскрецией магния были рандомизированы на прием 350 мг/день Mg или плацебо (мальтодекстрин 500 мг в день) в течение 4 недель. Повышенное потребление магния приводило к снижению лактата и увеличению высоты прыжка (в среднем на +3 см) [46].

МАГНИЙ И МЕТАБОЛИЗМ КОСТИ У СПОРТСМЕНОВ

Травмы опорно-связочного аппарата, в т. ч. переломы, – одно из наиболее частых обращений к спортивному врачу. Повышенные физические нагрузки предъявляют особые требования одновременно и к гибкости, и к прочности связок и костей. Поэтому молодые спортсмены должны обратить особое внимание на потребление магния, т. к. магний необходим и для минерализации кости, и для поддержания механической гибкости костной ткани. Например, у элитных пловцов потребление магния было значительным независимым предиктором МПК даже после поправок на потребление калорий, витамина D, кальция и фосфора [47].

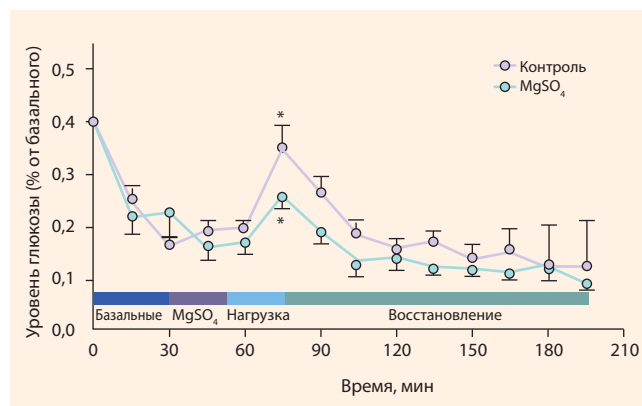
В группе спортсменок (15 лыжниц, 26 баскетболисток) отмечена более высокая минеральная плотность костей по сравнению с контрольной группой. В то же время у балерин ($n = 33$) были найдены такие же показатели состояния костной ткани, что и в контрольной группе. Повышенное потребление белка, витамина D, кальция, цинка и магния было связано с большей плотностью костной ткани и с большим содержанием минеральных веществ [48].

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ МАГНИЕМ И ПОКАЗАТЕЛИ МЫШЕЧНОЙ СИЛЫ

В группе элитных баскетболистов, гандболистов и волейболистов потребление магния с пищей было значительно ниже, чем рекомендуемые суточные нормы. Диетарное

● **Рисунок 8.** Эффект инфузии сульфата магния на соотношение «лактат/глюкоза» у мышей-песчанок в покое, во время вынужденного плавания и в период восстановления

● **Figure 8.** Effects of magnesium sulfate infusion on the lactate/glucose ratio in gerbil mice at rest, during forced swimming and the recovery period

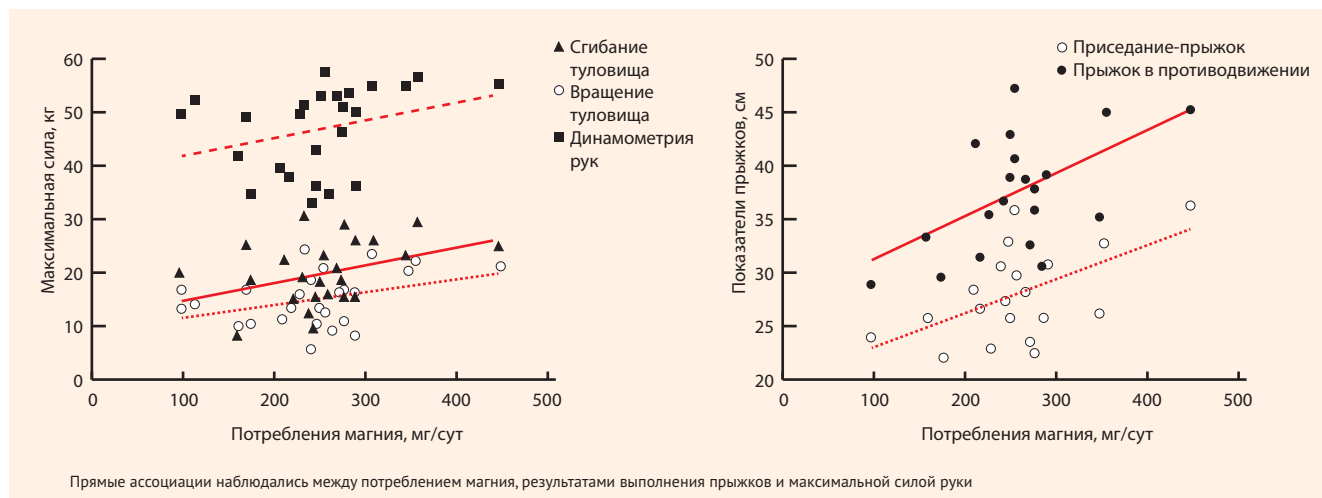


потребление магния ассоциировано с показателями мышечной силы: максимальным изометрическим сгибанием туловища, вращением, силой рук, показателями прыжков, причем независимо от общего потребления калорий (рис. 9) [49].

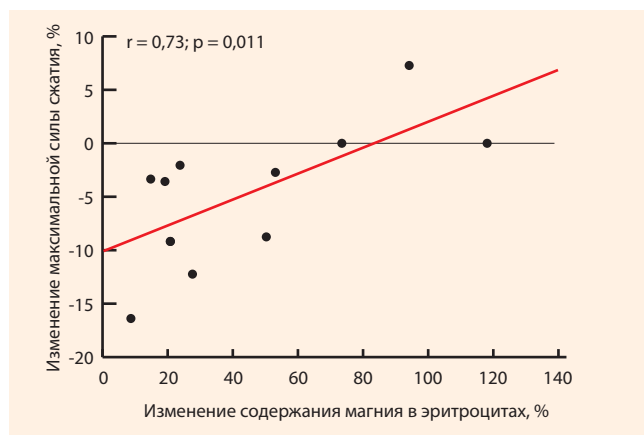
У элитных спортсменов-дзюдоистов ($n = 20$) уровни магния в крови ассоциированы с показателями мышечной силы, причем в зависимости от такого показателя биоимпеданса (электрическое сопротивление тканей организма), как «внутриклеточное содержание жидкости» (ВСЖ). Спортсмены были разделены в соответствии с изменениями ВСЖ после нагрузок на две группы: потери менее 2% и потери более 2%. ВСЖ рассчитывалась как разница между «общим содержанием воды» и «внеклеточным содержанием воды» на основе измерений биоимпеданса. Сила рук оценивалась как максимальная сила сжатия гидравлического динамометра. В группе спортсменов с ВСЖ > 2% изменения уровней Mg в эритроцитах

● **Рисунок 9.** Показатели мышечной силы в зависимости от диетарного потребления магния

● **Figure 9.** Muscle strength indicators depending on the dietary intake of magnesium



- **Рисунок 10.** Корреляция между изменением содержания магния в эритроцитах после нагрузок (в процентах) и изменением максимальной силы сжатия после нагрузок в группе спортсменов с ВСЖ > 2%
- **Figure 10.** The correlation between the change in magnesium content of erythrocytes after exercise (as a percentage) and the change in the maximum compressive force after exercise performance in the group of athletes with a VSV > 2%



были ассоциированы с силой рук (*рис. 10*) [50]. Очевидно, что утомление мышц было выше у спортсменов с более низкими концентрациями магния в эритроцитах и у спортсменов со значением ВСЖ более 2%.

Достаточная обеспеченность железом, медью, магнием и цинком оптимизирует пиковую физическую производительность спортсменов [51]. Например, потребление Fe, Cu, Mg, Zn с пищей у пловцов вольным стилем (N = 10) было обратно пропорционально времени заплыва на 100 ярдов (91 м) [52].

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ МАГНИЕМ И ВЫНОСЛИВОСТЬ СПОРТСМЕНА

Так как физические нагрузки увеличивают потери магния с мочой и потом, то даже пограничный дефицит магния ухудшает качество выполнения упражнений и усиливает негативные последствия физических нагрузок (например, окислительный стресс). Потребление магния меньше чем 260 мг/сут для мужчин и 220 мг/сут для женщин неизбежно приводит к развитию дефицита магния у спортсменов. Спортсмены, участвующие в видах спорта, требующих контроля веса (например, борьба, гимнастика, фигурное катание), особенно уязвимы к дефициту магния [53].

Снижение способности переносить продолжительные тренировки является одним из ранних проявлений дефицита магния у спортсменов. В эксперименте эффекты различного содержания магния в диете (50, 100, 200, 400 мг/кг) на переносимость физической нагрузки были изучены в течение 22 дней. В группах животных с более низким потреблением (50, 100 мг/кг) отмечены существенно более низкая выносливость и более высокая частота встречаемости макроцитарной анемии [54].

Недостаточная выносливость может приводить к коллапсу, при котором у спортсмена временно утрачивается

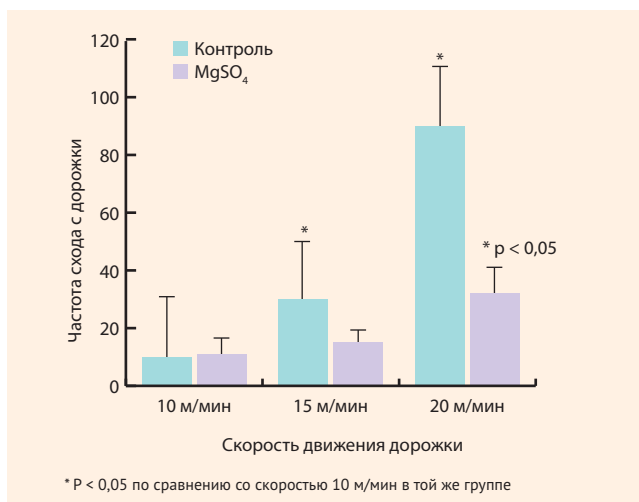
способность самостоятельно сохранять вертикальное положение на фоне резкой слабости, головокружения или обморочного состояния. Причины развития коллапса во время или после физической нагрузки включают мышечные судороги, перегревание, переохлаждение, гипогликемию, гипонатриемию, гипомагниемия, тяжелые нарушения ритма сердца и др. [55].

Метаболические нарушения, в т. ч. гипернатриемия, гипонатриемия, гипокальциемия, гипомагниемия и лактоацидоз, способствуют мышечной усталости и коллапсу марафонцев. Среди марафонцев, перенесших коллапс (n = 139), 18% имели аномальные значения натрия (18 случаев гипернатриемии, 7 случаев гипонатриемии), у 49% наблюдалась гипокальциемия, у 20% – гипомагниемия. Уровни лактата в крови были повышены у 95% обследованных. В то же время уровни сердечно-сосудистых биомаркеров, таких как тропонина, не отличались от уровней в контрольной группе марафонцев без симптомов коллапса [56].

В эксперименте введение сульфата магния в/б повышало физическую работоспособность и уровни глюкозы в плазме крови в тестах на беговой дорожке. Внутривенное введение магния (90 мг/кг) значительно усиливало работоспособность при высоких скоростях дорожки (20 м/мин). Более высокая работоспособность соответствует снижению частоты сходов с беговой дорожки, которая значительно снижалась на скорости 20 м/мин в группе с инфузией сульфата магния (P = 0,05, *рис. 11*) [57].

В эксперименте было установлено, что эффекты противодействия магния усталости после физических нагрузок осуществляются с участием моноаминергических нейротрансмиттеров. Дотации магния сокращали время восстановления после теста вынужденного плавания, причем эффект магния нейтрализовался под воздействием специфических ингибиторов 5-HT(1A)-рецепторов, альфа(1, 2)-адренорецепторов, D1- и D2-дофаминовых

- **Рисунок 11.** Частота схода с дорожки при различных скоростях при инфузии сульфата магния и в контроле
- **Figure 11.** Runway exit frequency at various speeds after magnesium sulphate infusion and in control



рецепторов, а также ингибиторов обратного захвата серотонина, норадреналина и дофамина [58, 59]. Кроме того, воздействие магния на восстановление после нагрузки опосредуется также и NMDA-глутаматными рецепторами [60].

МАГНИЙ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Успешные тренировки должны включать избыточные нагрузки и в то же время избегать сочетания чрезмерной перегрузки с неадекватным восстановлением после тренировок. Дисбаланс между нагрузкой и восстановлением приводит к синдрому перетренированности, сопровождающемуся усталостью, снижением производительности и нарушениями настроения. Например, у спортсменов-гребцов с низкой концентрацией магния в эритроцитах отмечена повышенная относительная мощность альфа-частоты электроэнцефалограммы в затылочной области ($P < 0,05$) [61]. Перспективные подходы к профилактике перетренированности включают баланс потребления углеводов и белка при исключении дефицита железа и магния [62].

Уровни магния в крови и показатели биоимпеданса могут служить прогностическими инструментами для мониторинга целостности тканей у спортсменов. Получаемый в результате измерений биоимпеданса показатель «фазовый угол» отражает мышечную функцию и распределение воды между внутри- и внеклеточным пространствами. У дзюдоистов ($n = 20$) значения фазового угла положительно коррелировали с уровнями магния в сыворотке ($r = 0,62$, $p = 0,004$) и в эритроцитах ($r = 0,45$, $p = 0,048$) [63].

Нарушения сна являются одним из показателей неадекватного восстановления спортсменов после интенсивных тренировок. Обследование профессиональных гимнастов (Бразилия, $n = 67$) указало на преобладание нутриентных дефицитов: витаминов B_9 , E, D, K и минералов магния, кальция, железа и бора ($p < 0,05$). У 78% участников отмечено низкое качество сна. Важно отметить, что качество выступлений гимнастов коррелировало с показателями качества сна: продолжительностью сна ($p = 0,005$), шкалой сонливости ESS ($p = 0,000$), индексом качества сна PSQI ($p = 0,042$) [64]. Крупномасштабное российское исследование показало, что дефицит магния в организме способствует формированию расстройств цикла «сон – бодрствование» [25].

МАГНИЙ И ИММУНИТЕТ У СПОРТСМЕНОВ

Состояние иммунитета является важным аспектом восстановления оптимального состояния спортсменов после нагрузок. Иммунологический дефицит у спортсменов связан с деформациями питания, приводящими к снижению потреблению полиненасыщенных жирных кислот, железа, селена, цинка, кальция и магния [65].

Физические упражнения, выполняемые «на истощение», способствуют существенным потерям магния организмом, что нарушает энергетический метаболизм, функ-

ции мышц, а также неспецифический и специфический иммунитет. Хотя эти изменения носят транзиторный характер, они могут быть достаточны для развития клинических эпизодов инфекций, прежде всего инфекций верхних дыхательных путей [66].

Обеспеченность магнием оказывает существенное воздействие на врожденный и приобретенный иммунный ответ. Истошающие упражнения вызывают увеличение числа гранулоцитов и лимфопении, а дотации магния нормализуют активацию гранулоцитов [67]. Сниженные уровни магния в крови, обусловленные недостаточным потреблением магния, стимулируют развитие избыточного, нерегулируемого воспаления, апоптоз клеток и нарушают баланс различных популяций клеток иммунной системы [68].

Важным аспектом иммуномодуляторного действия магния является его противовоспалительное действие. Дотации магния (500 мг/сут, 4 нед.) влияют на параметры активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси и уменьшают провоспалительный иммунный ответ после напряженных тренировок у регбистов ($n = 23$). Отмечено статистически значимое увеличение концентрации АКТГ и снижение концентрации кортизола. Дотации магния устраняли повышение уровней провоспалительного ИЛ-6 после соревнований по регби (что наблюдалось в группе плацебо, $p < 0,01$, рис. 12) и предотвращали рост отношения «нейтрофилы/лимфоциты» ($p < 0,01$) [69].

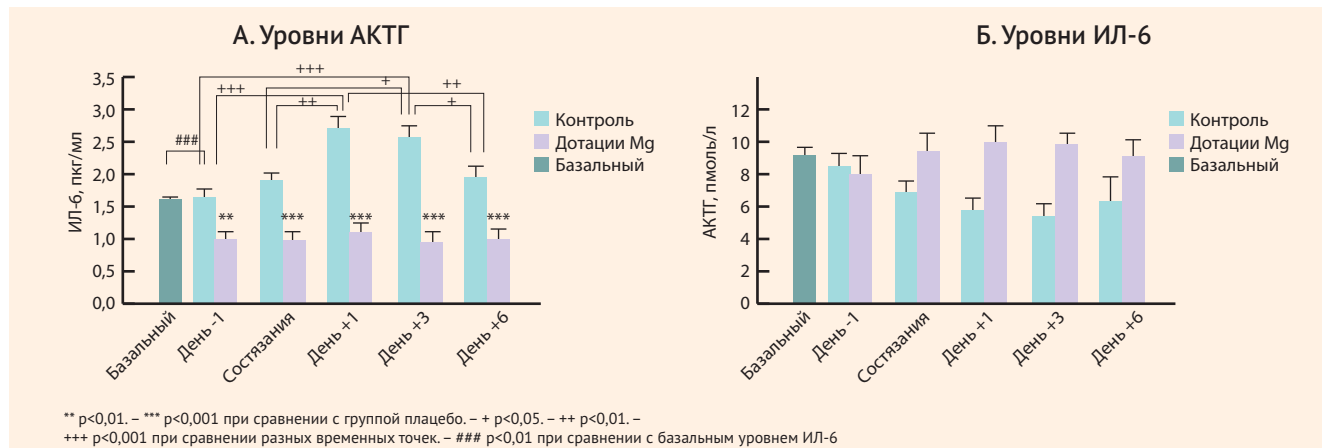
Противовоспалительные свойства магния также важны для профилактики повреждения тканей при избыточных физических нагрузках. Возникающее при таких нагрузках воспаление способствует повреждениям клеток крови, стенок сосудов, мягких тканей, соединительной ткани хряща и др. Дотации магния во время соревнований (400 мг/сут Mg в виде магния лактата) способствуют снижению повреждения мышечной ткани у баскетболистов [70]. Дотации магния (400 мг/сут, 4 нед.) снижали окислительное повреждение лимфоцитов периферической крови у регбистов [71]: спортсмены характеризовались значительно меньшими общими количествами клеток с повреждениями ДНК в присутствии H_2O_2 по сравнению с контрольной группой ($p = 0,002$, рис. 13).

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЛИ МАГНИЯ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ У СПОРТСМЕНОВ

Дотации магния влияют на восстановление после аэробных упражнений и статических нагрузок. Однако чрезвычайно важно учитывать, в какой фармакологической форме осуществляются дотации магния. Обычные «добавки» содержат чаще всего магний в форме оксида магния (MgO), который является весьма дешевой субстанцией с высоким относительным содержанием элементарного магния (60%).

MgO плохо растворяется даже при нормальной кислотности желудка. Спортсмены часто отличаются высоким индексом здоровья, имеют здоровый желудок с достаточной секрецией соляной кислоты, что позволяет растворять и усваивать магний даже из оксида магния. Дотации

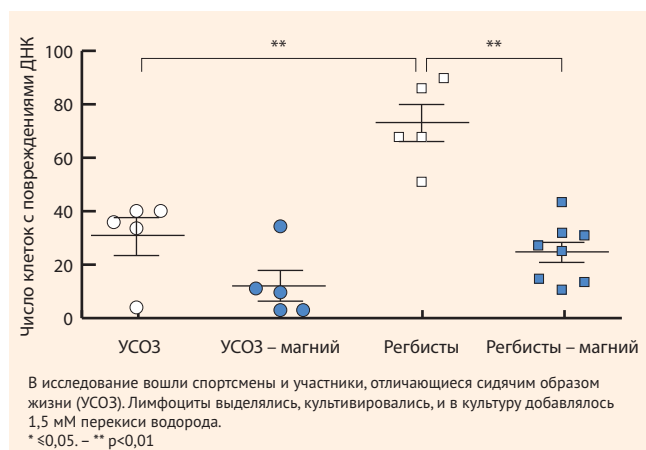
- **Рисунок 12.** Дотации магния регбистам в период соревнований влияют на воспалительный маркер ИЛ-6 и на уровни АКТГ в сыворотке крови
- **Figure 12.** Magnesium supplementation affect the inflammatory marker serum IL-6 and ACTH levels in rugby players during competition



оксида магния (212 мг/день, 4 нед.) могут несколько повышать уровни Mg^{2+} в плазме, но, как правило, редко оказывают позитивное воздействие на эффективность тренировок или на восстановление после физической активности [72]. Исследование эффектов таких «добавок» с MgO у 86 спортсменов до и после 8-месячного приема показало, что уровни витаминов (B_1 , B_2 , B_6 , C , E , A , B_{12} , фолиевой кислоты) повышались, в то время как не было найдено достоверных изменений в уровнях магния или других минералов (Cu , Zn , Ca) [73].

Поэтому перспективным является использование органических солей магния. Органические анионы способствуют усилению транспорта магния через клеточные мембраны и, соответственно, повышают биодоступность магния в десятки раз по сравнению с оксидом магния [6].

- **Рисунок 13.** Дотации магния спортсменам-регбистам снижают количество лимфоцитов периферической крови с повреждениями ДНК
- **Figure 13.** Magnesium supplementation reduce the peripheral blood lymphocytes with DNA damage in rugby athletes



Например, тренированные здоровые школьники ($n = 24$, 16 лет) были рандомизированы на прием 20 ммоль аспартата гидрохлорида магния или плацебо в течение 3 месяцев. Дотация магния способствовала увеличению уровня магния в плазме от $0,85 \pm 0,03$ до $0,89 \pm 0,06$ ммоль/л ($P = 0,05$) [74]. Дотации магния (300 мг/сут элементарного магния в форме органических солей, 4 нед.) улучшают физическую работоспособность, способствуют более быстрому восстановлению после физических упражнений и нормализации АД у спортсменов. Добавление магния улучшало показатели после интенсивной физической нагрузки (марафон 40 км, затем отжим пресса лежа до изнеможения): число отжиманий увеличилось в среднем на 18% ($p = 0,031$).

Одной из наиболее перспективных органических солей магния является цитрат магния. Высокая эффективность усвоения магния из раствора цитрата магния обусловлена (1) высокой растворимостью и низкой токсичностью цитрата магния, (2) поступлением в виде раствора, с достаточным количеством воды, (3) цитрат-анионом, стимулирующим внутриклеточное всасывание Mg^{2+} . С фармакологической точки зрения поступление магния в организм в водном растворе имеет ряд существенных преимуществ.

Во-первых, ионы Mg^{2+} уже присутствуют в водном растворе (в отличие, скажем, от таблеток нерастворимых карбонатов, оксидов и др.).

Во-вторых, в водном растворе отсутствуют лиганды, мешающие усвоению ионов Mg^{2+} (например, в пищевых продуктах присутствует значительное количество фитиновой кислоты, переводящей ионы Mg^{2+} в нерастворимую и низкоусвояемую форму).

В-третьих, поступление воды с ионами Mg^{2+} в растворе препарата способствует решению проблемы недостаточного потребления жидкости. Здоровый взрослый человек должен выпивать не менее 2–2,5 л/сут чистой питьевой воды. При спортивных нагрузках количество воды, как правило, еще больше и рассчитывается индивидуально для каждого спортсмена.

В-четвертых, водный раствор ионов Mg^{2+} может быть обогащен специальными синергидными компонентами, улучшающими фармакокинетику и фармакодинамику всасывания Mg^{2+} .

В-пятых, обширный массив клинических исследований указывает на высокую эффективность цитрата магния для терапии и профилактики мочекаменной болезни, компенсации гипокалиемии и гипомagneзиемии [75]. Все эти особенности цитрата магния делают важным применение этой соли для восполнения недостаточности магния спортсменов.

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФАРМАКОЛОГИИ РИБОФЛАВИНА И СПОРТИВНЫЕ НАГРУЗКИ

Витамин B_2 (рибофлавин) – водорастворимый витамин, биологические роли которого определены вхождением рибофлавина в коферменты флавинмоноклеотид (ФМН) и флавинадениндинуклеотид (ФАД), образующие активные и регуляторные сайты флавиновых ферментов. Флавиновые ферменты принимают участие в энергетическом метаболизме (окисление углеводов, жирных кислот, пирувата, разветвленных аминокислот, поддержка «цепи переноса электронов» в митохондриях), инактивируют и окисляют токсичные альдегиды, участвуют в синтезе глутатиона, в формировании желчных кислот из холестерина в печени и др. [76].

Перечисленные выше биологические особенности витамина B_2 обуславливают важность дотаций рибофлавина для спортсменов. Еще в исследовании, опубликованном в 1947 г. (Q Bull. Northwest Univ Med Sch. 1947, 21 (2): 135-51), были описаны эффекты недостаточного потребления тиамин и рибофлавин на физическую выносливость и работоспособность в разреженном воздухе (барокамера, моделирование 5 км над уровнем моря) [77].

Распространенность сочетанной недостаточности и магния и рибофлавина показана в ряде клинико-эпидемиологических исследований, проведенных в различных

регионах мира. Например, крупномасштабное исследование взрослых женщин в 9 провинциях Китая, проведенное в 2000–2011 гг., показало, что рибофлавином были обеспечены только 7% участниц, а магнием – 23% [78]. Не менее проблемная ситуация наблюдается и в странах Евросоюза: например, во французской выборке населения ($n = 2\,373$, 10–92 года) недостаточность потребления магния высока среди мужчин (72%) и женщин (83%) [79].

Принимая во внимание низкую популяционную обеспеченность витамином B_2 и усиление потерь витамина B_2 в период интенсивных тренировок, можно предположить, что встречаемость недостаточности витамина B_2 у спортсменов может быть достаточно высока [80]. Действительно, исследование витаминной обеспеченности российских спортсменов по зимним видам спорта (стрельба пулями, биатлон, бобслей, скелетон, фристайл, сноубординг, $n = 169$) в апреле – сентябре 2013 г. указало на достаточно высокие частоты встречаемости недостаточности витаминов E, C, B_2 и каротиноидов [81].

Исследование микронутриентной обеспеченности молодых российских спортсменов в возрасте $16,8 \pm 0,2$ года, обучающихся гребле в течение $5,0 \pm 0,3$ года ($n = 30$), показало значительное снижение обеспеченности витамином A у 30,8% спортсменов осенью и у 100% обследованных зимой. Аналогичная ситуация наблюдалась для тиамин и рибофлавин, причем дефицит витамина B_2 увеличивался в период тренировок. Осенью особенно был выражен дефицит магния (56% спортсменов). Независимо от времени года, отмечены сниженные уровни кальция (53%), калия (57%) и железа (56%) [82].

Обеспеченность рибофлавином и другими витаминами группы B влияет на степень повреждения, антиоксидантный статус и уровни кортизола, которые изменяются при физических нагрузках. Изучение группы горнолыжников во время соревнований ($n = 21$) показало, что более высокое суточное потребление витаминов A, B_1 , B_2 , PP, B_6 соответствовало более низким уровням лактатдегидрогеназы и щелочной фосфатазы. Уровни кортизола были тем

БУДЬ НЕУДЕРЖИМ

МАГНЕСОЛ B_2 гранулы

Магний способствует:



выведению токсичных веществ



нормализации сна



повышению мышечной выносливости



www.krka.ru

KRKA

ниже, чем выше была обеспеченность витаминами С, В₁, В₂ и РР. Таким образом, более высокое потребление витаминов В₁, В₂, В₆, А и С снижает негативное воздействие физических нагрузок на организм спортсмена [83].

Показана эффективность дотаций витаминов С, А, Е, В₁, В₂, В₆, В₉, В₁₂ школьникам в Арктическом регионе: регулярное потребление ВМК оказало положительное влияние на параметры их физической активности [84]. Дотации пиридоксина и рибофлавина у детей в возрасте 12–14 лет (n = 113) сопровождались статистически значимым улучшением показателей теста на велоэргометре среди участников с недостаточностью витаминов [85].

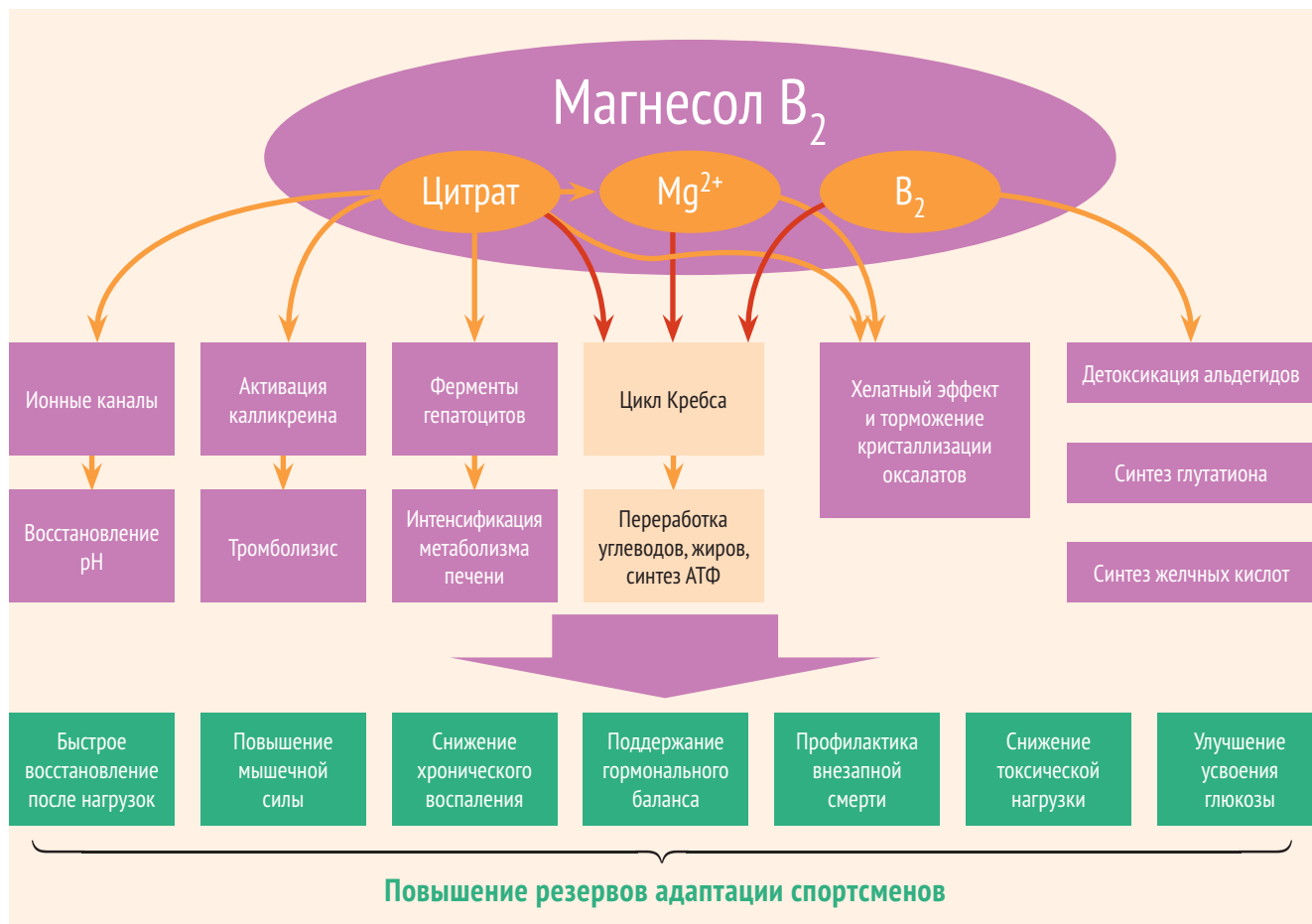
Плацебо-контролируемое исследование показало важность дотаций рибофлавина для улучшения восстановления спортсменов после ультрамарафона на 161 км. Спортсмены получали капсулу с 100 мг рибофлавина незадолго до начала гонки и еще одну капсулу после достижения 90 км (n = 18), в группе плацебо (n = 14) участники получали капсулы с мальтодекстрином. На фоне дотаций рибофлавина болезненность мышц во время и сразу после марафона была значительно ниже (p = 0,043). Тестовая пробежка (400 м) в дни 3 и 5 после марафона также показала значительно более короткое

время восстановления у принимавших рибофлавин по сравнению с группой плацебо (p<0,05). Таким образом, дотации рибофлавина улучшают функциональное восстановление после тяжелых физических нагрузок [86].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обеспеченность организма магнием и витамином В₂ принципиально необходима для поддержания энергетического метаболизма клеток, гормонального баланса, выносливости, иммунитета, сердечно-сосудистого здоровья спортсменов. Особо следует отметить такие функции магния, как 1) осуществление биологических функций адреналина, инсулина и ряда других гормонов, 2) нейронная передача сигнала (NMDA-рецепторы, рецепторы катехоламинов), 3) энергетический метаболизм (ферменты гликолиза и цикла Кребса). Клинические исследования подтверждают фундаментальную важность обеспеченности магнием для наиболее эффективной «настройки» организма спортсмена. Перспективным способом повышения обеспеченности спортсменов магнием и витамином В₂ является использование водных растворов цитрата магния в сочетании с рибофлавином.

- **Рисунок 14.** Синергидные эффекты иона магния, цитрат-аниона и витамина В₂ для повышения резервов адаптации и восстановления после интенсивных физических нагрузок
- **Figure 14.** Synergistic effects of magnesium ion, citrate anion and vitamin B2 on the increase of adaptation reserves and recovery after intense exercise performance



Коррекция недостаточного потребления магния и витамина В₂ обеспечивает более хорошие параметры восстановления после физических нагрузок. Наилучшей технологией восполнения магния и витамина В₂ для людей, занимающихся физической культурой и спортом, является прием этих микронутриентов в виде раствора для питья, приготовленного непосредственно перед употреблением (т. е. целевое употребление обогащенной магнием и рибофлавином воды.) Для приготовления раствора для питья подходит препарат Магнесол В₂ гранулы, содержащий синергидную композицию: цитрат магния (300 мг элементного магния в одном саше или шипучей таблетке) и рибофлавин (2,0 мг в одном саше). Препарат содержит натуральный

ароматизатор «апельсин», порошок концентрированно-ароматизированного сока лайма, порошок натурального концентрированного сока апельсина, натуральный ароматизатор «лайм». *Цитрат магния* – одна из наиболее растворимых в воде солей магния с высокой биодоступностью магния. Цитрат магния не только является эффективным транспортером магния внутрь клеток, но и проявляет самостоятельное воздействие на синтез АТФ, снижение воспаления, избыточного тромбообразования, растворение оксалатных/уратных камней в почках и оказывает другие эффекты, важные для поддержания адаптационных ресурсов при спортивных нагрузках (рис. 14). Препарат Магнесол В₂ гранулы разрешен к применению с 11 лет.



ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Williams M.H. Vitamin supplementation and athletic performance. *Int J Vitam Nutr Res Suppl.* 1989; 30: 163-191.
- Eskici G. The Importance of Vitamins for Soccer Players. *Int J Vitam Nutr Res.* 2015; 85(5-6): 225-244 doi.
- Lukaski H.C. Magnesium, zinc, and chromium nutrition and athletic performance. *Can J Appl Physiol.* 2001; 26 Suppl: S13-S22.
- Speich M., Pineau A., Ballereau F. Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. *Clin Chim Acta.* 2001; 312(1-2): 1-11.
- Volpe S.L. Magnesium and the Athlete. *Curr Sports Med Rep.* 2015; 14(4):279-83 doi.
- Громова О.А., Торшин И.Ю. Магний и «болезни цивилизации». М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 800 с.: ил.; 25 см. Библиогр. в конце кн. 3000 экз. ISBN 978-5-9704-4527-3. [Gromova O.A., Torshin I.Yu. Magnesium and "diseases of civilization". M.: GEOTAR-Media, 2018. 800 p.: or; 25 cm. Reference is at the end of the book. 3000 copies ISBN 978-5-9704-4527-3.] (In Russ).
- Zhang Y., Xun P., Wang R., Mao L., He K. Can Magnesium Enhance Exercise Performance? *Nutrients.* 2017;9(9): pii: nu9090946 doi.
- van Drongelaar C., van Velzen A., Abdelrazek M., van der Steen A., Weijs P.J.M., Tieland M. Minerals and Sarcopenia; The Role of Calcium, Iron, Magnesium, Phosphorus, Potassium, Selenium, Sodium, and Zinc on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Older Adults: A Systematic Review. *J Am Med Dir Assoc.* 2018;19(1):6-11e3 doi.
- Silva M.R., Paiva T. Poor precompetitive sleep habits, nutrients' deficiencies, inappropriate body composition and athletic performance in elite gymnasts. *Eur J Sport Sci.* 2016;16(6):726-35 doi.
- Madden R.F., Shearer J., Parnell J.A. Evaluation of Dietary Intakes and Supplement Use in Paralympic Athletes. *Nutrients.* 2017;9(11): pii: nu9111266 doi.
- Wardenaar F., Brinkmans N., Ceelen I., Van Rooij B., Mensink M., Witkamp R., De Vries J. Micro-nutrient Intakes in 553 Dutch Elite and Sub-Elite Athletes: Prevalence of Low and High Intakes in Users and Non-Users of Nutritional Supplements. *Nutrients.* 2017;9(2): pii: nu9020142 doi.
- Laires M.J., Monteiro C.P., Bicho M. Role of cellular magnesium in health and human disease. *Front Biosci.* 2004;9:262-276.
- Raysiguier Y., Guezennec C.Y., Durlach J. New experimental and clinical data on the relationship between magnesium and sport. *Magnes Res.* 1990;3(2):93-102.
- Terink R., Balvers M.G.J., Hopman M.T., Witkamp R.F., Mensink M., Gunnewiek J.M.T.K. Decrease in Ionized and Total Magnesium Blood Concentrations in Endurance Athletes Following an Exercise Bout Restores within Hours-Potential Consequences for Monitoring and Supplementation. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2017;27(3):264-270 doi.
- Cohen I., Zimmerman A.L. Changes in serum electrolyte levels during marathon running. *S Afr Med J.* 1978;53(12):449-453.
- Buchman A.L., Keen C., Comisso J., Killip D., Ou C.N., Rognerud C.L., Dennis K., Dunn J.K. The effect of a marathon run on plasma and urine mineral and metal concentrations. *J Am Coll Nutr.* 1998;17(2):124-127.
- Wenk C., Kuhnt M., Kunz P., Steiner G. Methodological studies of the estimation of loss of sodium, potassium, calcium and magnesium through the skin during a 10 km run. *Z Ernahrungswiss.* 1993;32(4):301-307.
- Laires M.J., Alves F. Changes in plasma, erythrocyte, and urinary magnesium with prolonged swimming exercise. *Magnes Res.* 1991;4(2):119-122.
- Molina-Lopez J., Molina J.M., Chiroso L.J., Florea D., Saez L., Millan E., Planells E. Association between erythrocyte concentrations of magnesium and zinc in high-performance handball players after dietary magnesium supplementation. *Magnes Res.* 2012;25(2):79-88 doi.
- Rama R., Ibanez J., Pages T., Callis A., Palacios L. Plasma and red blood cell magnesium levels and plasma creatinine after a 100 km race. *Rev Esp Fisiol.* 1993;49(1):43-47.
- Lijnen P., Hespel P., Fagard R., Lysens R., Vanden Eynde E., Amery A. Erythrocyte, plasma and urinary magnesium in men before and after a marathon. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1988;58(3):252-256.
- Malliaropoulos N., Tsitis K., Porfiriadou A., Papalada A., R Ames P., Del Buono A., Lippi G., Maffulli N. Blood phosphorus and magnesium levels in 130 elite track and field athletes. *Asian J Sports Med.* 2013;4(1):49-53 Epub 2012 Nov.
- Scherr J., Schuster T., Pressler A., Roeh A., Christie J., Wolfarth B., Halle M. Repolarization perturbation and hypomagnesemia after extreme exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(9):1637-43 doi.
- Zhao J., Fan B., Wu Z., Xu M., Luo Y. Serum zinc is associated with plasma leptin and Cu-Zn SOD in elite male basketball athletes. *J Trace Elem Med Biol.* 2015;30:49-53 doi.
- Громова О.А., Калачева А.Г., Торшин И.Ю. и др. Недостаточность магния – достоверный фактор риска коморбидных состояний: результаты крупномасштабного скрининга магниевого статуса в регионах России. *Фарматека.* 2013;6:116-129. (In Russ). [Gromova O.A., Kalacheva A.G., Torshin I.Yu, et al. Magnesium deficiency: a significant risk factor for comorbid conditions: results of large-scale screening of magnesium status in the Russian regions. *Pharmateca.* 2013; 6: 116-129.]
- Громова О.А., Лиманова О.А., Гоголева И.В. и др. Анализ взаимосвязи между обеспеченностью магнием и соматической патологией у россиян 18–45 лет методами интеллектуального анализа данных. Эффективная фармакотерапия. *Акушерство и гинекология.* 2014;2:10–25. [Gromova O.A., Limanova O.A., Gogoleva I.V., et al. Analysis of the relationship between magnesium sufficiency and somatic pathology in Russian women aged 18–45 using data mining methods. *Effective pharmacotherapy. Akusherstvo i Ginekologiya.* 2014; 2: 10–23.] (In Russ).
- Громова О.А., Калачева А.Г., Торшин И.Ю., Гришина Т.Р., Семенов В.А. Диагностика дефицита магния. Концентрации магния в биосубстратах в норме и при различной патологии. *Кардиология.* 2014; 10: 63-71. [] (In Russ). [Gromova O.A., Kalacheva A.G., Torshin I.Yu., Grishina, T.R., Semenov V.A. Diagnosis of magnesium deficiency. Magnesium concentrations in biosubstrates: norm and various pathologies. *Kardiologia.* 2014; 10: 63-71.] (In Russ).
- Stendig-Lindberg G. Is physical working capacity determined by optimal magnesium concentration? *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* 1992;3(2):139-151.
- Conn C.A., Schemmel R.A., Smith B.W., Ryder E., Heusner W.W., Ku P.K. Plasma and erythrocyte magnesium concentrations and correlations with maximum oxygen consumption in nine- to twelve-year-old competitive swimmers. *Magnesium.* 1988;7(1):27-36.
- Cordova A., Escanero J.F., Gimenez M. Magnesium distribution in rats after maximal exercise in air and under hypoxic conditions. *Magnes Res.* 1992;5(1):23-27.
- Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Klevay L.M., Milne D.B., Sandstead H.H. Maximal oxygen consumption as related to magnesium, copper, and zinc nutrition. *Am J Clin Nutr.* 1983;37(3):407-415.
- Duma E., Orbai P., Derevenco P. Blood levels of some electrolytes and hormones during exercise in athletes. *Rom J Physiol.* 1998;35(1-2):55-60.
- Cinar V., Mogulkoc R., Baltaci A.K., Polat Y. Adrenocorticotrophic hormone and cortisol levels in athletes and sedentary subjects at rest and exhaustion: effects of magnesium supplementation. *Biol Trace Elem Res.* 2008;121(3):215-20 Epub 2007 No.
- Cinar V. The effects of magnesium supplementation on thyroid hormones of sedentary and Tae-Kwon-Do sportsmen at resting and exhaustion. *Neuro Endocrinol Lett.* 2007;28(5):708-712.

35. Cinar V, Polat Y, Baltaci A.K., Mogulkoc R. Effects of magnesium supplementation on testosterone levels of athletes and sedentary subjects at rest and after exhaustion. *Biol Trace Elem Res*. 2011;140(1):18-23 doi.
36. Soria M, Gonzalez-Haro C, Anson M.A., Inigo C., Calvo M.L., Escanero J.F. Variations in serum magnesium and hormonal levels during incremental exercise. *Magnes Res*. 2014;27(4):155-64 doi.
37. Wienecke E., Nolden C. Long-term HRV analysis shows stress reduction by magnesium intake. *MMW Fortschr Med*. 2016;158(Suppl):12-16.
38. Mooren F.C. Magnesium and disturbances in carbohydrate metabolism. *Diabetes Obes Metab*. 2015;17(9):813-23.
39. Kass L.S., Poeira F. The effect of acute vs chronic magnesium supplementation on exercise and recovery on resistance exercise, blood pressure and total peripheral resistance on normotensive adults. *J Int Soc Sports Nutr*. 2015;12:19.
40. Stendig-Lindberg G. Sudden death of athletes: is it due to long-term changes in serum magnesium, lipids and blood sugar? *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 1992;3(2):153-164.
41. Tong T.K., Lin H., Lippi G., Nie J., Tian Y. Serum oxidant and antioxidant status in adolescents undergoing professional endurance sports training. *Oxid Med Cell Longev*. 2012;2012:741239.
42. Monteiro C.P., Matias C.N., Bicho M., Santa-Clara H., Laires M.J. Coordination between antioxidant defences might be partially modulated by magnesium status. *Magnes Res*. 2016;29(4):161-168.
43. Nikolaidis M.G., Protosygelou M.D., Petridou A., Tsalis G., Tsigilis N., Mougios V. Hematologic and biochemical profile of juvenile and adult athletes of both sexes: implications for clinical evaluation. *Int J Sports Med*. 2003;24(7):506-511.
44. Cheng S.M., Yang D.Y., Lee C.P., Pan H.C., Lin M.T., Chen S.H., Cheng F.C. Effects of magnesium sulfate on dynamic changes of brain glucose and its metabolites during a short-term forced swimming in gerbils. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99(6):695-9 Epub 2007 Feb.
45. Cheng S.M., Yang L.L., Chen S.H., Hsu M.H., Chen I.J., Cheng F.C. Magnesium sulfate enhances exercise performance and manipulates dynamic changes in peripheral glucose utilization. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(2):363-9 doi.
46. Setaro L., Santos-Silva P.R., Nakano E.Y., Sales C.H., Nunes N., Greve J.M., Colli C. Magnesium status and the physical performance of volleyball players: effects of magnesium supplementation. *J Sports Sci*. 2014;32(5):438-45 doi.
47. Matias C.N., Santos D.A., Monteiro C.P., Vasco A.M., Baptista F., Sardinha L.B., Laires M.J., Silva A.M. Magnesium intake mediates the association between bone mineral density and lean soft tissue in elite swimmers. *Magnes Res*. 2012;25(3):120-5 doi.
48. Quintas M.E., Ortega R.M., Lopez-Sobaler A.M., Garrido G., Requejo A.M. Influence of dietetic and anthropometric factors and of the type of sport practised on bone density in different groups of women. *Eur J Clin Nutr*. 2003;57(Suppl 1):S58-S62.
49. Santos D.A., Matias C.N., Monteiro C.P., Silva A.M., Rocha P.M., Minderico C.S., Bettencourt Sardinha L., Laires M.J. Magnesium intake is associated with strength performance in elite basketball, handball and volleyball players. *Magnes Res*. 2011;24(4):215-9 doi.
50. Matias C.N., Santos D.A., Monteiro C.P., Silva A.M., Raposo M. de F., Martins F., Sardinha L.B., Bicho M., Laires M.J. Magnesium and strength in elite judo athletes according to intracellular water changes. *Magnes Res*. 2010;23(3):138-41 doi.
51. McDonald R., Keen C.L. Iron, zinc and magnesium nutrition and athletic performance. *Sports Med*. 1988;5(3):171-184.
52. Lukaski H.C., Siders W.A., Hoverson B.S., Gallagher S.K. Iron, copper, magnesium and zinc status as predictors of swimming performance. *Int J Sports Med*. 1996;17(7):535-540.
53. Nielsen F.H., Lukaski H.C. Update on the relationship between magnesium and exercise. *Magnes Res*. 2006;19(3):180-189.
54. Keen C.L., Lowney P., Gershwin M.E., Hurley L.S., Stern J.S. Dietary magnesium intake influences exercise capacity and hematologic parameters in rats. *Metabolism*. 1987;36(8):788-793.
55. Макарова Г.А., Граевская Н.Д. Спортивная медицина: Учебник. М.: Советский спорт, 2003. 480 с. [Makarova G.A., Graevskaya N.D. Sports medicine: Textbook. M.: Sovetsky Sport, 2003. 480 p.]
56. Siegel A.J., Januzzi J., Sluss P., Lee-Lewandrowski E., Wood M., Shirey T., Lewandrowski K.B. Cardiac biomarkers, electrolytes, and other analytes in collapsed marathon runners: implications for the evaluation of runners following competition. *Am J Clin Pathol*. 2008;129(6):948-51 doi.
57. Chen Y.J., Chen H.Y., Wang M.F., Hsu M.H., Liang W.M., Cheng F.C. Effects of magnesium on exercise performance and plasma glucose and lactate concentrations in rats using a novel blood-sampling technique. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2009;34(6):1040-7 doi.
58. Poleszak E. Modulation of antidepressant-like activity of magnesium by serotonergic system. *J Neural Transm (Vienna)*. 2007;114(9):1129-34 Epub 2007 A.
59. Cardoso C.C., Lobato K.R., Binfare R.W., Ferreira P.K., Rosa A.O., Santos A.R., Rodrigues A.L. Evidence for the involvement of the monoaminergic system in the antidepressant-like effect of magnesium. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2009;33(2):235-42 doi.
60. Poleszak E., Wlaz P., Kedzierska E., Nieoczym D., Wrobel A., Fidecka S., Pilc A., Nowak G. NMDA/ glutamate mechanism of antidepressant-like action of magnesium in forced swim test in mice. *Pharmacol Biochem Behav*. 2007;88(2):158-64 Epub 2007 Au.
61. Delorme O., Bourdin H., Viel J.F., Rigaud M.L., Kantelip J.P. Spectral analysis of electroencephalography data in athletes with low erythrocyte magnesium. *Magnes Res*. 1992;5(4):261-264.
62. Meeusen R., Duclos M., Foster C., Fry A., Gleeson M., Nieman D., Raglin J., Rietjens G., Steinacker J., Urhausen A. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(1):186-205 doi.
63. Matias C.N., Monteiro C.P., Santos D.A., Martins F., Silva A.M., Laires M.J., Sardinha L.B. Magnesium and phase angle: a prognostic tool for monitoring cellular integrity in judo athletes. *Magnes Res*. 2015;28(3):92-8 doi.
64. Silva M.G., Paiva T. Poor precompetitive sleep habits, nutrients' deficiencies, inappropriate body composition and athletic performance in elite gymnasts. *Eur J Sport Sci*. 2015;Eur J Spor:1-10.
65. Shephard R.J., Shek P.N. Immunological hazards from nutritional imbalance in athletes. *Exerc Immunol Rev*. 1998;4:22-48.
66. Laires M.J., Monteiro C. Exercise, magnesium and immune function. *Magnes Res*. 2008;21(2):92-96.
67. Mooren F.C., Golf S.W., Volker K. Effect of magnesium on granulocyte function and on the exercise induced inflammatory response. *Magnes Res*. 2003;16(1):49-58.
68. Tam M., Gomez S., Gonzalez-Gross M., Marcos A. Possible roles of magnesium on the immune system. *Eur J Clin Nutr*. 2003;57(10):1193-1197.
69. Dmitrasinovic G., Pesic V., Stanic D., Plecas-Solarovic B., Dajak M., Ignjatovic S. ACTH, Cortisol and IL-6 Levels in Athletes following Magnesium Supplementation. *J Med Biochem*. 2016;35(4):375-384.
70. Cordova Martinez A., Fernandez-Lazaro D., Mielgo-Ayuso J., Seco Calvo J., Caballero Garcia A. Effect of magnesium supplementation on muscular damage markers in basketball players during a full season. *Magnes Res*. 2017;30(2):61-70.
71. Petrovic J., Stanic D., Dmitrasinovic G., Plecas-Solarovic B., Ignjatovic S., Batinic B., Popovic D., Pesic V. Magnesium Supplementation Diminishes Peripheral Blood Lymphocyte DNA Oxidative Damage in Athletes and Sedentary Young Men. *Oxid Med Cell Longev*. 2016;2016:2019643.
72. Finstad E.W., Newhouse I.J., Lukaski H.C., McAuliffe J.E., Stewart C.R. The effects of magnesium supplementation on exercise performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(3):493-498.
73. Telford R.D., Catchpole E.A., Deakin V., McLeay A.C., Plank A.W. The effect of 7 to 8 months of vitamin/mineral supplementation on the vitamin and mineral status of athletes. *Int J Sport Nutr*. 1992;2(2):123-134.
74. Ruddel H., Werner C., Ising H. Impact of magnesium supplementation on performance data in young swimmers. *Magnes Res*. 1990;3(2):103-107.
75. Громова О.А., Торшин И.Ю., Кобалава Ж.Д., Сорокина М.А. О фундаментальных и клинических аспектах синергического действия магния и рибофлавина в терапевтической практике. *Терапия*. 2018; 19(1): 119–131. [Gromova O.A., Torshin I.Yu., Kobalava J.D., Sorokina M.A. On the fundamental and clinical aspects of the synergistic action of magnesium and riboflavin in therapeutic practice. *Terapia*. 2018; 19 (1): 119–131.]
76. Masui T., Staple E. The formation of bile acids from cholesterol. The conversion of 5-beta-cholestane-3-alpha,7-alpha-triol-26-oic acid to cholic acid via 5-beta-cholestane-3-alpha,7-alpha,12-alpha,24-xi-tetraol-26-oic acid I by rat liver. *J Biol Chem*. 1966;241(17):3889-3893.
77. Harris S.C., Ivy A.C., Friedemann T.E. Work at high altitude: the effect of training and dietary restriction of thiamin and riboflavin on altitude tolerance and physical efficiency for work at a simulated altitude of 15,000 feet. *Q Bull Northwest Univ Med Sch*. 1947;21(2):135-151.
78. Du W., Wang H., Chen S., Su C., Zhang H., Zhang B. Trend of dietary nutrient intake among adult females in 9 provinces in China, 2000-2011. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi*. 2015;36(7):715-719.
79. Touvier M., Lioret S., Vanrullen I., Bocle J.C., Boutron-Ruault M.C., Berta J.L., Volatier J.L. Vitamin and mineral inadequacy in the French population: estimation and application for the optimization of food fortification. *Int J Vitam Nutr Res*. 2006;76(6):343-351.
80. Manore M.M. Effect of physical activity on thiamine, riboflavin, and vitamin B-6 requirements. *Am J Clin Nutr*. 2000;72(2 Suppl):598S-606S.
81. Beketova N.A., Kosheleva O.V., Pereverzeva O.G., Vrzhesinskaia O.A., Kodentsova V.M., Solntseva T.N., Khanfer'ian R.A. Vitamin-antioxidant sufficiency of winter sports athletes. *Vopr Pitan*. 2013;82(6):49-57.
82. Rakhmanov R.S., Kuznetsova L.V., Blinova T.V., Strakhova L.A., Tsariapkin V.E. Vitamin and mineral status of oarsmen during the training-competition cycles. *Vopr Pitan*. 2013;82(4):76-81.
83. Diaz E., Ruiz F., Hoyos I., Zubero J., Gravina L., Gil J., Irazusta J., Gil S.M. Cell damage, antioxidant status, and cortisol levels related to nutrition in ski mountaineering during a two-day race. *J Sports Sci Med*. 2010;9(2):338-46 eCollection.
84. Prakhin E.I., Evert L.S., Iakushina L.M. Effects of prophylactic vitamin administration of physical fitness of schoolchildren in the Arctic Regions. *Vopr Pitan*. 1992;(3):53-58.
85. Suboticanec K., Stavljencic A., Schalch W., Buzina R.. Effects of pyridoxine and riboflavin supplementation on physical fitness in young adolescents. *Int J Vitam Nutr Res*. 1990;60(1):81-88.
86. Hoffman M.D., Valentino T.R., Stuempfle K.J., Hassid B.V. A Placebo-Controlled Trial of Riboflavin for Enhancement of Ultramarathon Recovery. *Sports Med Open*. 2017;3(1):14.