

О роли магния в спортивной медицине

Профессор **О.А. Громова¹**, к.м.н. **Е.Ю. Егорова²**, к.ф.-м.н. **И.Ю. Торшин³**,
А.Н. Громов³, к.м.н. **И.В. Гоголева¹**

¹ ГБОУ ВПО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России

² ГБОУ ВПО «Ивановский государственный университет» Минобра России

³ ГБОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Долгопрудный Московской области

Для цитирования. Громова О.А., Егорова Е.Ю., Торшин И.Ю., Громов А.Н., Гоголева И.В. О роли магния в спортивной медицине // ПМЖ. 2016. № 1. С. 1–1.

Введение

Основополагающую роль в достижении оптимальных спортивных результатов играют регулярные тренировки и адекватный рацион питания. Важным компонентом правильного питания спортсмена являются макро- и микронутриенты. Например, 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 накоплению мышечной массы и поддержанию кардиореспираторной функции [1].

Магний необходим для деятельности более чем 700 белков протеома человека. При физической нагрузке калий, натрий, кальций и магний обеспечивают циклы сокращения-расслабления сердца и мышц, осуществление окислительного фосфорилирования в ходе биосинтеза АТФ [2]. Магний необходим для регулирования нервно-мышечной проводимости, ритма сердца, тонуса сосудов, иммунитета, уровня глюкозы в крови, баланса распада-реконструкции соединительной ткани (связки, хрящи, кости) [3].

Исследования, проведенные в разных странах, показали широкую распространенность дефицита магния в популяционных выборках [4]. Сниженная обеспеченность магнием (уровни магния в плазме < 0,80 ммоль/л) способствует повышенному риску судорог, нарушений ритма сердца, гипертонии, пролапса митрального клапана, нарушений сна, дезадаптации и др. [5]. Повсе-

местная распространенность низкой обеспеченности магнием среди россиян делает необходимым принятие специальных мер для компенсации дефицита магния: изменений в диете, приема специальных препаратов магния и др. Профилактика дефицита магния у спортсменов особенно актуальна.

Далее последовательно рассматриваются динамика 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 и показателями метаболизма при физических нагрузках, выносливостью, восстановлением после нагрузок, в т. ч. показателями иммунитета. Рассмотрены результаты исследований применения органических солей магния у спортсменов.

Динамика уровней магния в биосубстратах в ходе интенсивных физических нагрузок

Концентрации магния в плазме крови и эритроцитах поддерживаются в определенных интервалах значений за счет регуляции адсорбции магния в тонком кишечнике и реабсорбции в почках [6]. Результаты цитируемых ниже исследований показывают, что типичным результатом интенсивной физической нагрузки является снижение уровней крови в плазме/сыворотке крови; в некоторых исследованиях отмечено снижение уровня магния и в плазме, и в эритроцитах [7].

Измерения уровней электролитов в сыворотке крови были проведены у тренированных, опытных бегунов

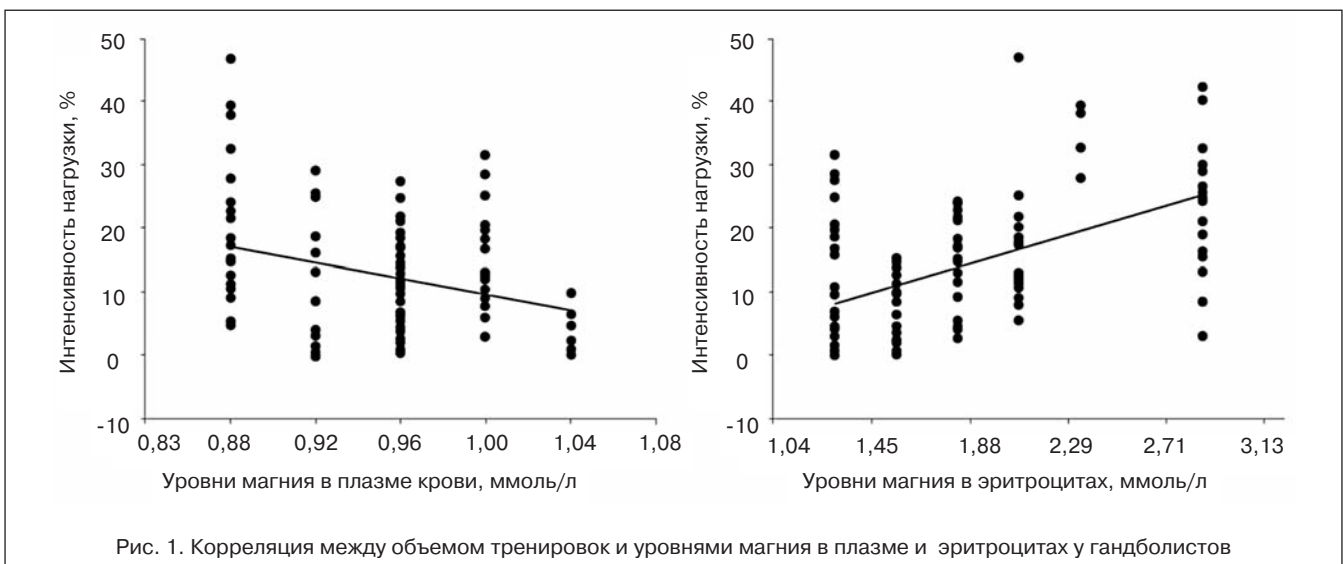


Рис. 1. Корреляция между объемом тренировок и уровнями магния в плазме и эритроцитах у гандболистов

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 [8].

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 до 24±8 ммоль/л, p=0,006), а уровни магния значительно уменьшились и в сыворотке крови (от 0,83±0,07 до 0,69±0,06 ммоль, p=0,00001), и в моче (от 1,41±0,35 до 0,91±0,51 ммоль, p=0,003) [9].

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 [10].

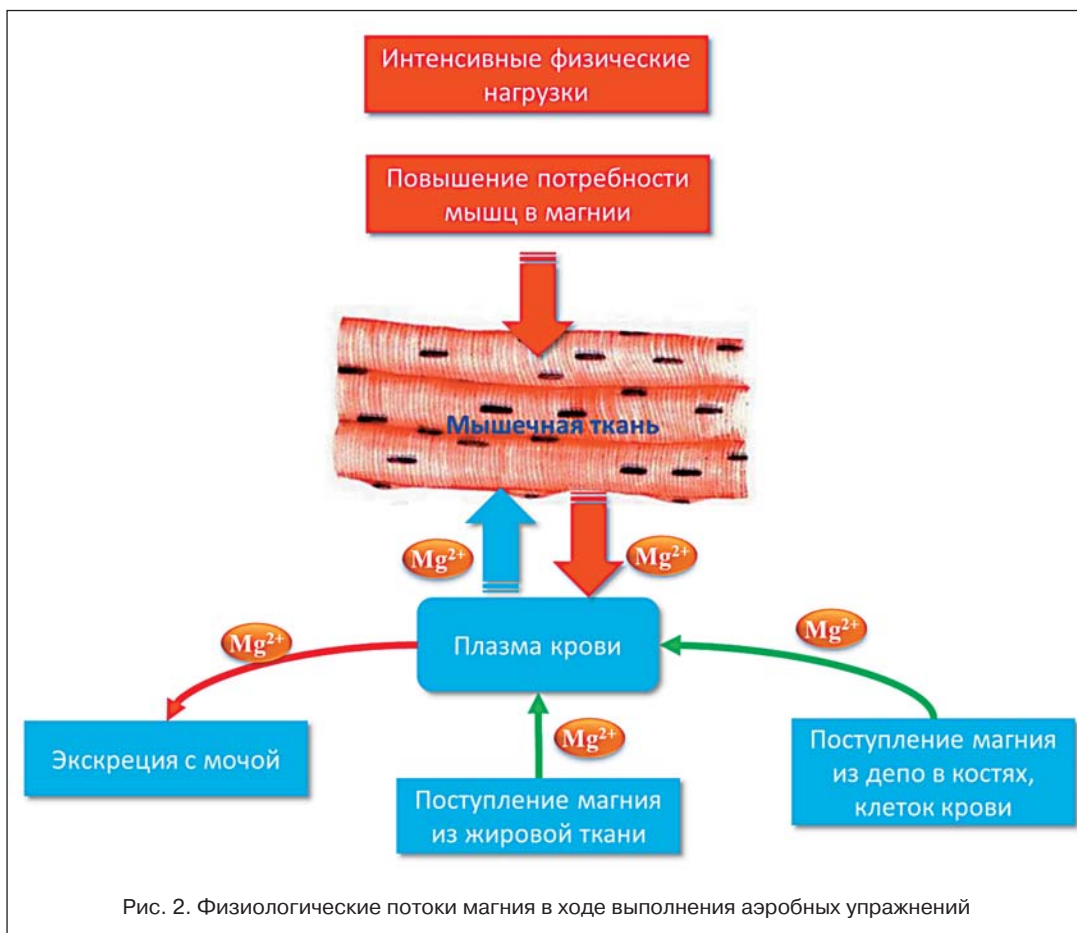
При длительном плавании уровень магния в плазме крови снижается даже у хорошо подготовленных пловцов (n=8): на 12% после 2 мин упражнений и на 21% – через 30 мин. Уровни магния в эритроцитах и моче достоверно не изменялись [11]. Напомним, что плавание – особый вид спорта, требующий поддержки температуры тела в воде; магний участвует в терморегуляции организма.

Степень снижения уровней магния зависит от интенсивности физической нагрузки. У профессиональных гандболистов (n=14) в период тренировок и период соревнований уровни Mg были ассоциированы с объемом нагрузки [12] (рис. 1). 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 приводить к увеличению уровней магния в плазме. У спортсменов-любителей (n=7) после бега на 100 км уровни Mg²⁺ в плазме крови значительно увеличивались (от 0,85±0,07 до 0,93±0,19 ммоль/л, p<0,05). В то же время достоверных изменений концентрации магния в эритроцитах не наблюдалось (2,11±0,20 с 2,14±0,12 ммоль/л). При этом уровни креатинина в плазме крови значительно увеличивались (от 73,4±3,5 до 117,6±19,4 мкмоль/л, p<0,01), что свидетельствует об ухудшении почечной функции. Была установлена положительная корреляция между уровнями магния и креатинина в плазме крови (r=0,65, p<0,01) [13]. По всей видимости, в исследованной группе были спортсмены, у которых бег на длинную дистанцию приводил к срыву противоточно-множительной системы почек.

Снижение уровней Mg²⁺ в плазме крови во время физических нагрузок не может быть отнесено только к всасыванию ионов Mg²⁺ эритроцитами и экскрецией с потом или мочой. Например, в исследовании бегунов-марафонцев (n=23) уровни Mg²⁺ во время марафона достоверно снижались в эритроцитах (от 2,13±0,16 до 2,02±0,18 ммоль/л, p<0,05) и в плазме крови (от 0,88±0,06 до 0,81±0,07 ммоль/л, p<0,05) на фоне снижения экскреции Mg²⁺ 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 Mg²⁺ из сыворотки, эритроцитов и других клеток поступает во внеклеточную жидкость и всасывается, например, клетками жировой ткани [14] (рис. 2).

Среди элитных легкоатлетов (n=130) концентрация магния в сыворотке крови была выше верхней границы нормы у 26% обследованных мужчин и у 17% обследованных женщин. С учетом отсутствия каких-либо патологических проявлений этот результат указывает на необходимость разработки специальных референсных интервалов значений магния сыворотки для

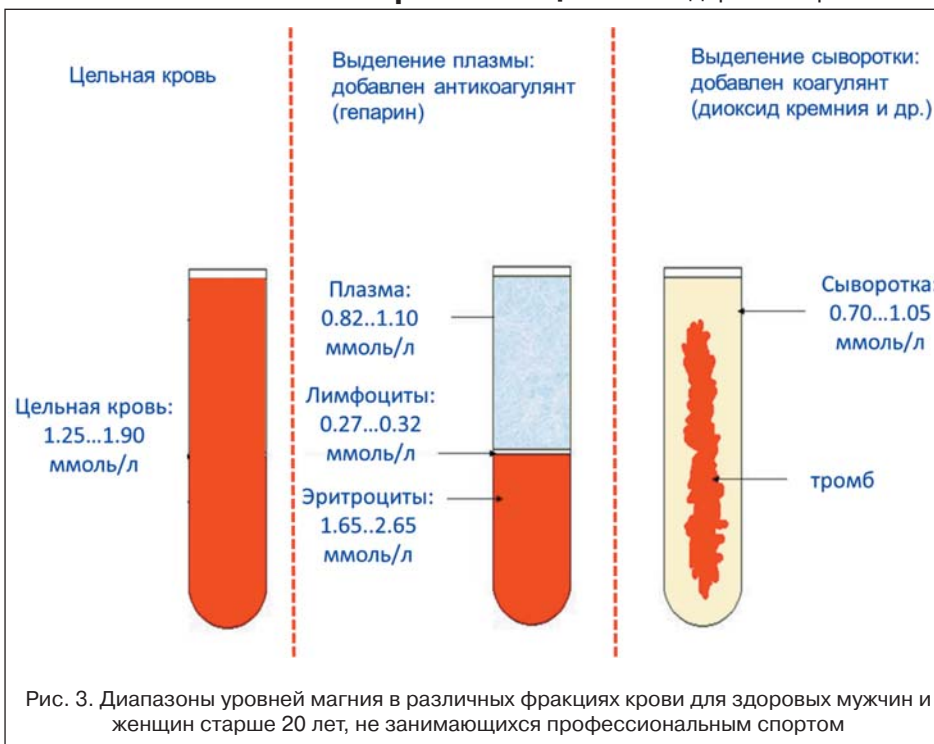


Среди элитных легкоатлетов (n=130) концентрация магния в сыворотке крови была выше верхней границы нормы у 26% обследованных мужчин и у 17% обследованных женщин. С учетом отсутствия каких-либо патологических проявлений этот результат указывает на необходимость разработки специальных референсных интервалов значений магния сыворотки для

спортсменов. При этом такие референсные интервалы могут быть различными для периодов тренировок и соревнований [15].

Интересно 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 ммоль/л [16], 0,88...0,90 ммоль/л [15] и даже $0,93 \pm 0,11$ ммоль/л [17]. Спортсмены в активном возрасте отличаются исключительным физическим 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. 3) [5, 18, 19].

Магний и максимальная аэробная мощность



Исследования здоровых добровольцев, занимающихся разными видами спорта, показали, что интенсивные физические нагрузки приводят к снижению уровней магния в плазме и сыворотке крови, что, в свою очередь, способствует снижению максимальной силы сокращения мышц и максимальной аэробной мощности (VO_{2max}) [20, 21]. В частности, у пловцов ($n=9$) отмечена достоверная ($p<0,05$) положительная корреляция между уровнями магния в плазме крови и VO_{2max} ($R=0,42+$) [22].

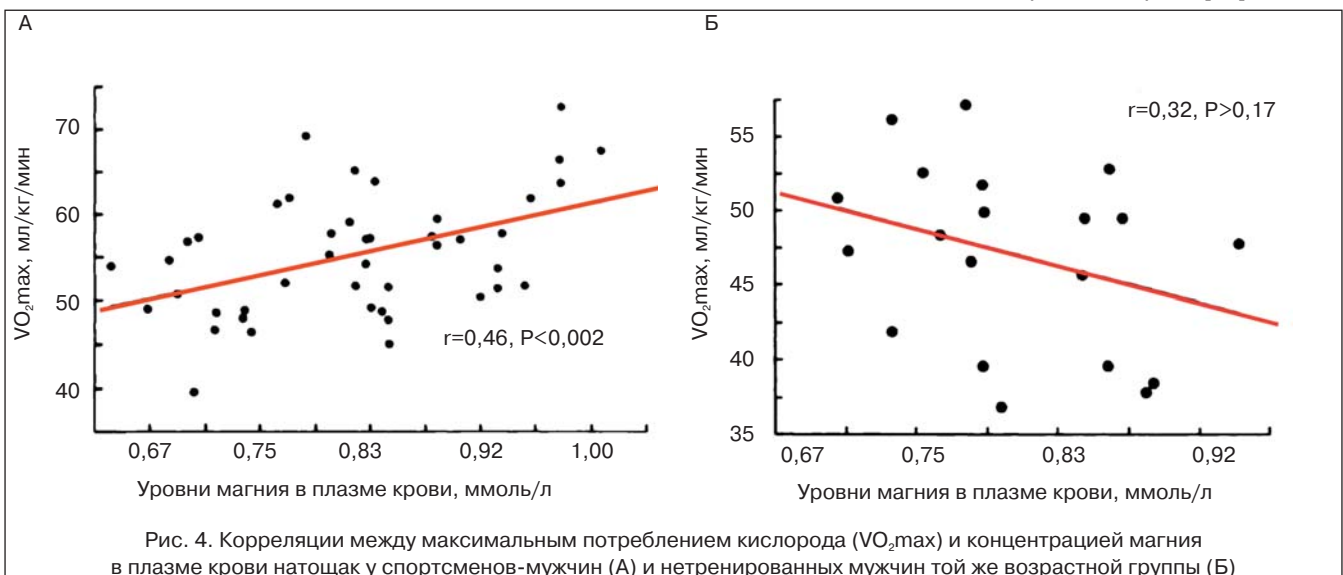
В эксперименте физические нагрузки в условиях гипоксии (всего 10% O_2) снижали уровни Mg в сердце, печени и икроножных мышцах; наибольшее уменьшение наблюдалось в икроножных мышцах, в то время как уровни в почках даже несколько увеличивались [23].

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 коррели-

ровали с максимальным потреблением кислорода только у спортсменов ($r=0,46$, $p<0,002$, рис. 4А); у нетренированных добровольцев такой корреляции не наблюдалось (рис. 4Б). У спортсменов также была отмечена более высокая средняя концентрация меди в плазме (90 ± 14 мкг/дл, контроль – 81 ± 8 мкг/дл, $p=0,01$) [24].

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 уровня Ca^{2+} и Mg^{2+} в сыворотке и значительное снижение уровня Mg^{2+} в эритроцитах на фоне заметного прироста уровня кортизола и гормона щитовидной железы трийодтиронина в крови [25].



Дотации магния (10 мг/кг элементного магния, сульфат магния) таэквондистам вызывали достоверные повышения уровней адренокортикотропного гормона ($p < 0,05$), кортизола ($p < 0,05$) и ТТГ ($p < 0,05$) после физических упражнений [26–28], что может оказывать воздействие на улучшение тонуса мускулатуры и результаты тренировок.

Ионы магния 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 [29]. 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.

Магний и сердечно-сосудистое здоровье спортсменов

Внезапная смерть у спортсменов является серьезной проблемой спортивной медицины. Спортивный врач 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 [30], избыточному повышению систолического и диастолического артериального давления после нагрузок ($p=0,047$) [31].

Транзиторный глубокий дефицит магния (падение уровней магния в плазме до 0,50 ммоль/л или ниже) может стимулировать внезапную смерть от инфаркта миокарда [32]. Взаимосвязь дефицита Mg со встречаемостью сердечно-сосудистых заболеваний была детально изучена в рамках крупномасштабных исследований [5, 18].

Гипокальциемия и гипомагниемия, индуцированные в/в инъекциями ЭДТА у здоровых лошадей ($n=7$), существенно изменяют электромиографическую активность. Исходная концентрация несвязанного кальция в крови составляла $1,39 \pm 0,06$ ммоль/л, после введения ЭДТА – $0,48 \pm 0,05$ ммоль/л; исходная концентрация магния – $0,84 \pm 0,09$ ммоль/л, после ЭДТА – $0,44 \pm 0,20$ ммоль/л. Гипокальциемия и гипомагниемия были ассоциированы с повышенным риском нарушений ритма сердца (дублетов, триплетов), сложных повторяющихся разрядов моторных нервов и нейромиотонии. У всех лошадей была повышена спонтанная нервно-мышечная реактивность, что негативно сказывается на физическом состоянии во время скачек [33].

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. 5). Сразу после бега отмечены значительные 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, $p < 0,05$) [16] (табл. 1, рис. 6).

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 [34].

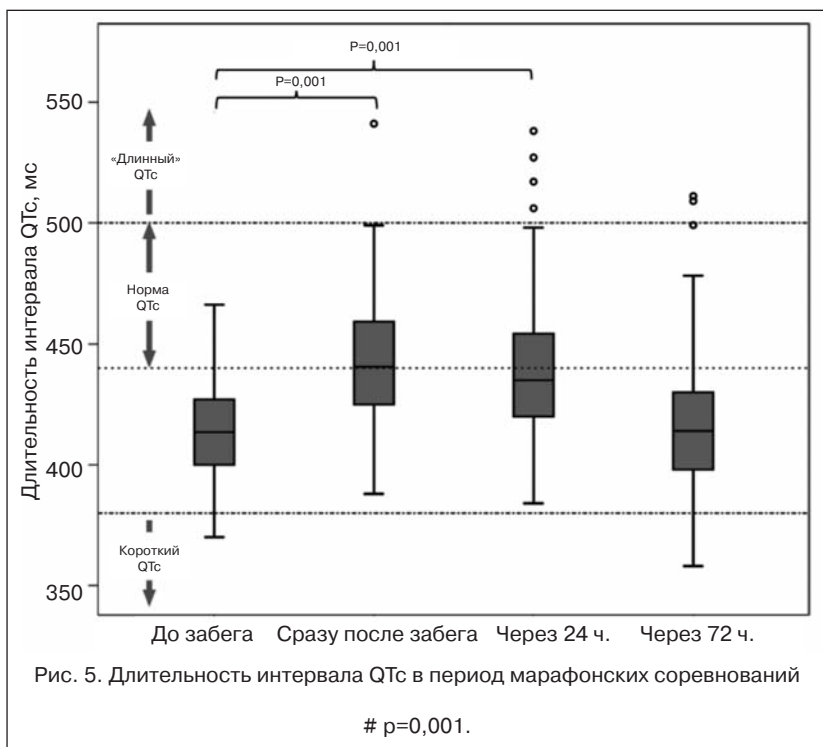


Рис. 5. Длительность интервала QTc в период марафонских соревнований

$p=0,001$.

Таблица 1. Концентрации биомаркеров до и сразу после марафона, через 24 и 72 ч после марафона

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 К, Na, Ca, Mg в ммоль/л.

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 не спортсменов (здоровых добровольцев, $n=241$) показал 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 [35].

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 мозга снижались 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 [20].

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 содержания глюкозы в крови способствует повышенной физической работоспособности (рис. 7А).

В период восстановления концентрация лактата после тренировки снижалась быстрее, чем в контрольной группе (рис. 7Б).

Результаты исследований у 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 ($p<0,05$) [36] (рис. 8).

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 (500 мг/день мальтодекстрина) в течение 4 нед. Повышенное потребление магния приводило к снижению лактата и увеличению высоты прыжка в контрдвижении (в среднем на +3 см) [37].

Магний и метаболизм кости у спортсменов

Травмы опорно-связочного аппарата, в т. ч. переломы, – одна из наиболее частых причин обращения 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. он необходим и для минерализации кости, и для поддержания механической гибкости костной ткани. Например, у элитных пловцов потребление магния было значительным независимым предиктором минеральной плотности костей (МПК) даже после поправок на потребление калорий, витамина D, кальция и фосфора [38].

В группе спортсменов (15 лыжниц, 26 баскетболисток) отмечена более высокая МПК по сравнению с таковой в контрольной группе. 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 [39].

Обеспеченность магнием и показатели мышечной силы

В группе элитных баскетболистов, гандболистов и волейболистов потребление магния с пищей было значительно ниже рекомендуемых суточных норм. Диетарное потребление магния ассоциировано с показателями мышечной силы: максимальным изометрическим сгибанием туловища, вращением, силой рук, показателями прыжков, причем независимо от общего потребления калорий [40] (рис. 9).

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 2 группы: потери менее 2% и

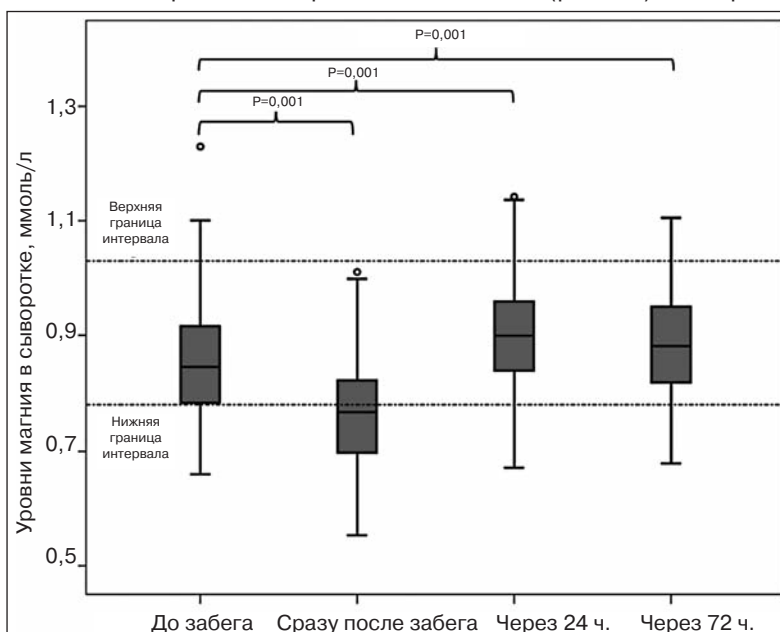


Рис. 6. Концентрации магния в сыворотке в период марафона # $p=0,001$. Прямоугольники представляют 25–75% процентиль, «усы» – 95% ДИ, горизонтальные линии – средние значения. «Выбросы» отмечены кружками

потери более 2%. ВСЖ рассчитывалась как разница между «общим содержанием воды» и «внутриклеточным 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 были ассоциированы с силой рук (рис. 10) [41]. Очевидно, что утомление мышц было выше у спортсменов с более низкими концентрациями магния в эритроцитах и с ВСЖ > 2%.

Достаточная обеспеченность железом, медью, магнием и цинком оптимизирует пиковую физическую производительность спортсменов [42]. Например, потребление Fe, Cu, Mg, Zn с пищей у пловцов вольного стиля (N=10) было обратно пропорционально времени заплыва на 100 ярдов (91 м) [43].

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), особенно уязвимы к дефициту магния [44].

Снижение способности переносить продолжительные тренировки является одним из ранних проявлений дефицита магния у спортсменов. В эксперименте эф-

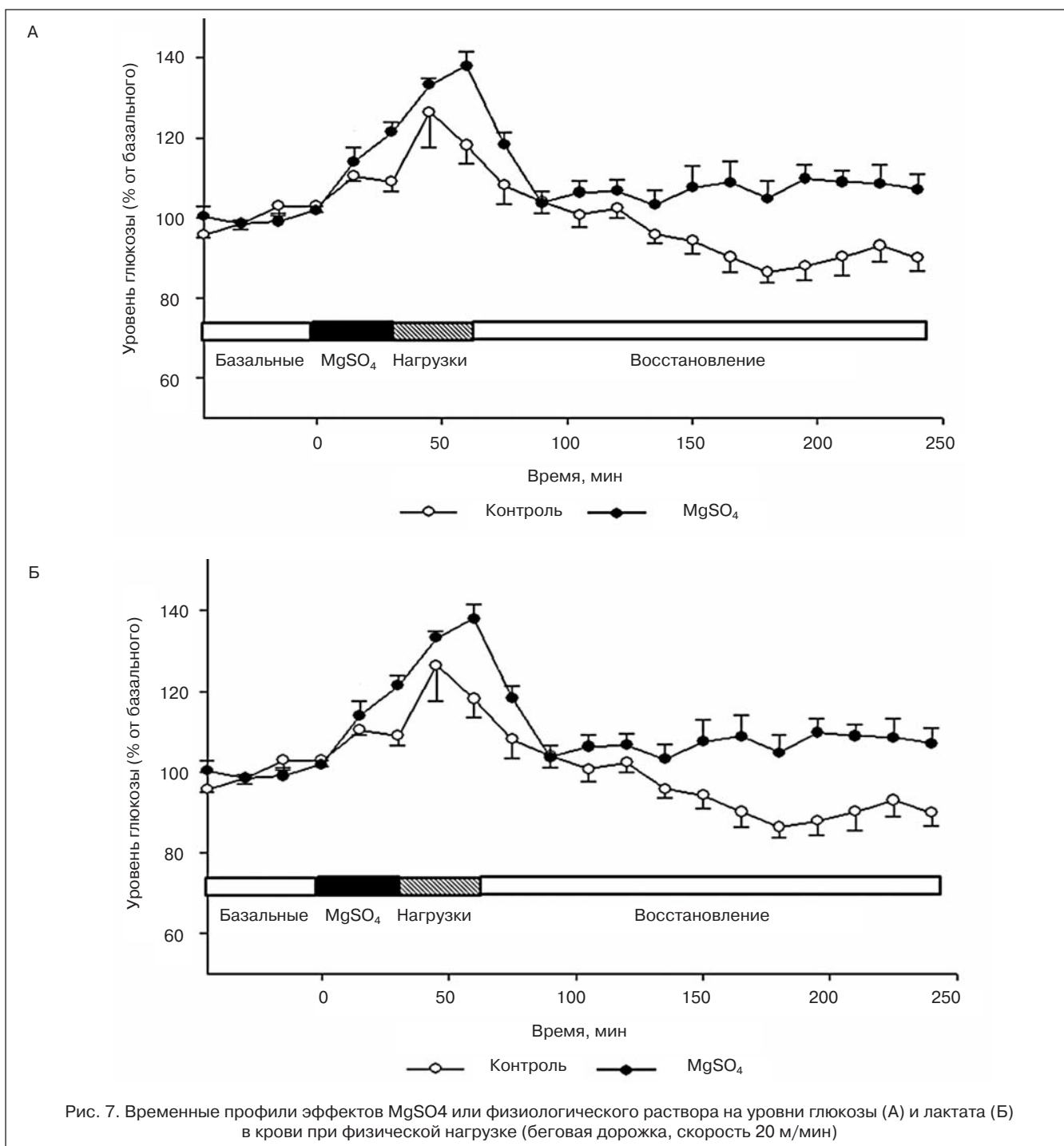


Рис. 7. Временные профили эффектов MgSO₄ или физиологического раствора на уровни глюкозы (А) и лактата (Б) в крови при физической нагрузке (беговая дорожка, скорость 20 м/мин)

фекты 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 [45].

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 разви-

тия коллапса во время или после физической нагрузки включают мышечные судороги, перегревание, переохлаждение, гипогликемию, гипонатриемию, гипомагниемию, тяжелые нарушения ритма сердца и др. [46].

Метаболические нарушения, в т. ч. гипернатриемия, гипонатриемия, гипокальциемия, гипомагниемия и лактоацидоз, способствуют мышечной усталости и коллапсированию марафонцев. Среди марафонцев, перенесших коллапс (n=139), 18% имели аномальные значения натрия (18 случаев гипернатриемии, 7 случаев гипонатриемии), у 49% наблюдалась гипокальциемия, у 20% –

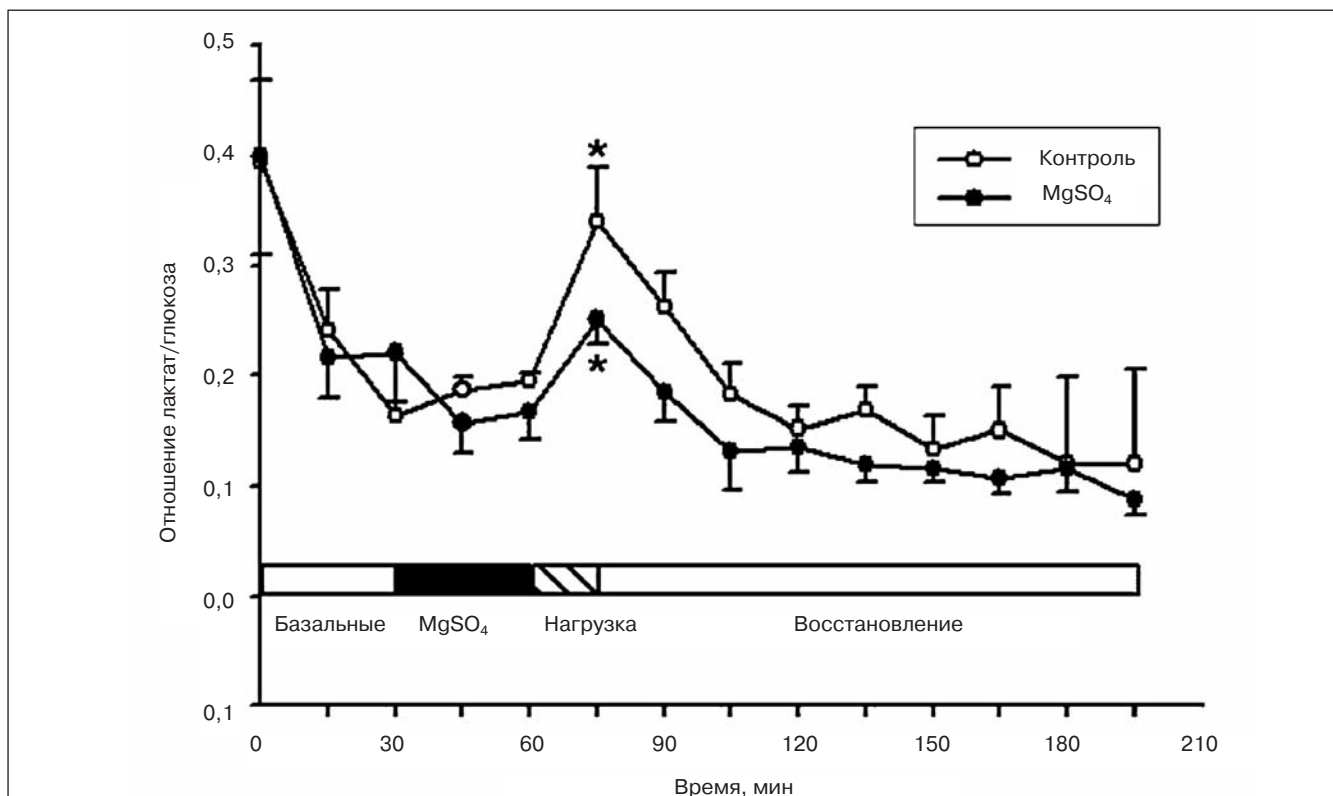


Рис. 8. Эффект инфузии сульфата магния на соотношение лактат/глюкоза у мышей-песчанок в покое, во время вынужденного плавания и в период восстановления

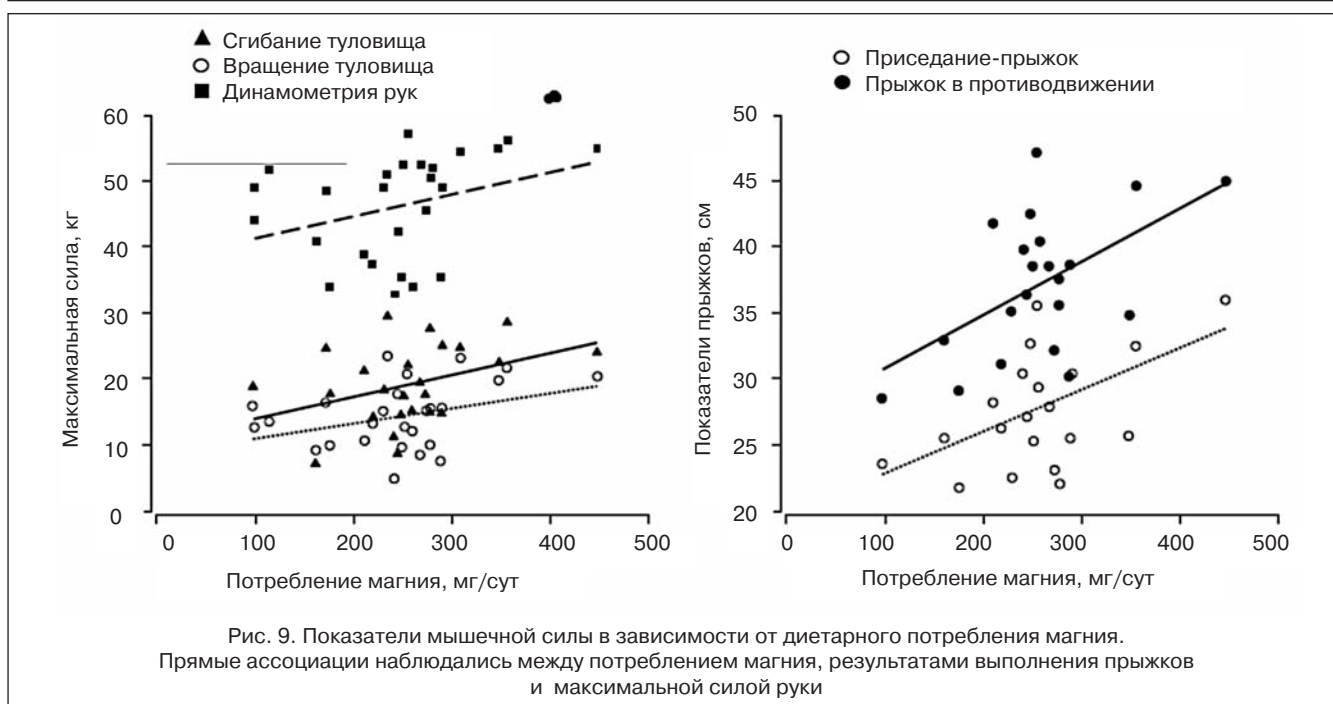


Рис. 9. Показатели мышечной силы в зависимости от диетарного потребления магния. Прямые ассоциации наблюдались между потреблением магния, результатами выполнения прыжков и максимальной силой руки

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 [47].

В эксперименте введение сульфата магния внутривенно 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) [48].

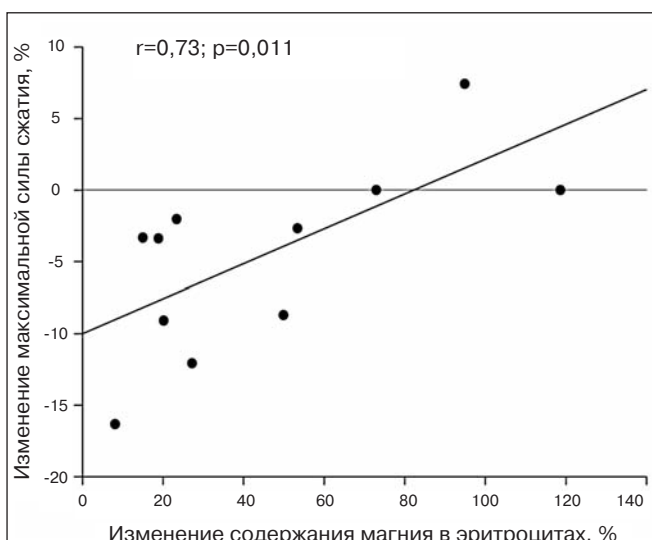


Рис. 10. Корреляция между изменением содержания магния в эритроцитах после нагрузок (в процентах) и изменением максимальной силы сжатия после нагрузок в группе спортсменов с ВСЖ > 2%

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 рецепторов, а также ингибиторов обратного захвата серотонина [49], норадреналина и дофамина [50]. Кроме того, воздействию магния на восстановление после нагрузок опосредуется также и NMDA-глутаматными рецепторами [51].

Магний и восстановление после интенсивных физических нагрузок

Успешные тренировки должны включать избыточные нагрузки и, в то же время, не должно быть 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-каякеров с низкой концентрацией магния в эритроцитах отмечена повышенная относительная мощность альфа-частоты электроэнцефалограммы в затылочной области ($p<0,05$) [52]. Перспективные подходы к профилактике перетренированности включают баланс потребления углеводов и белка при исключении дефицитов железа и магния [53].

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 ($r=0,45$, $p=0,048$) [54].

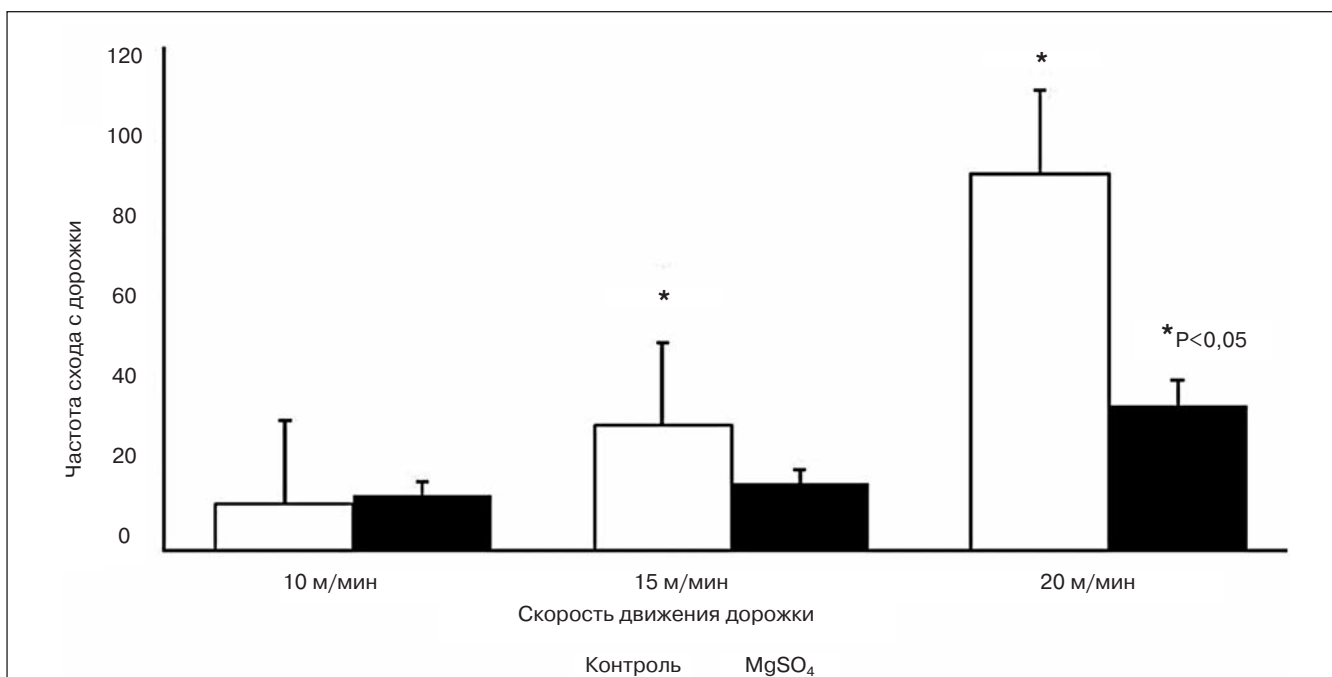


Рис. 11. Частоты схода с дорожки при различных скоростях при инфузии сульфата магния и в контроле * $P<0,05$ по сравнению со скоростью 10 м/мин в той же группе

Нарушения сна являются одним из показателей неадекватного восстановления спортсменов после интенсивных тренировок. Обследование профессиональных гимнастов (Бразилия, n=67) указало на преобладание нутриентного дефицита – витаминов: B9, 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 ($p=0,042$) [55]. Известно, что дефицит магния в организме способствует формированию расстройств цикла «сон – бодрствование» [5].

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 [56].

Физические упражнения, выполняемые «на истощение», способствуют существенным потерям магния организмом, что нарушает энергетический метаболизм, функции 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 [57].

Обеспеченность магнием оказывает существенное воздействие на врожденный и приобретенный иммунный ответ. Истощающие упражнения вызывают увеличе-

ние числа гранулоцитов и лимфопении, а дотации магния нормализуют активацию гранулоцитов [58]. Сниженные уровни магния в крови, обусловленные недостаточным потреблением магния, стимулируют развитие избыточного, нерегулируемого воспаления, апоптоз клеток и нарушают баланс различных популяций клеток иммунной системы [59].

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 элементного 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 таких низкокачественных фармацевтических форм, как оксид магния. Дотации 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 [60]. Исследование эффектов таких «добавок» с MgO у 86 спортсменов до и после 8-месячного приема показало, что уровни витаминов (B₁, B₂, B₆, C, E, A, B₁₂, фолиевой кислоты) повышались, в то время как не

МАГНЕРОТ®



- Обеспечивает направленный транспорт магния в кардиомиоциты¹
- Компенсирует потери магния при приеме диуретиков²
- Нормализует внутриклеточное содержание калия и кальция³
- Может применяться в течение длительного времени⁴



рег. №: П N012966/01
Сделано в Германии

1. Т. Е. Морозова, О. С. Дурнецова «Препараты магния в кардиологической практике», Лечащий врач, № 4, 2014.
2. И. А. Мочкин, М. Л. Максимов «Магния оротат в практике терапевта и кардиолога», РМЖ, № 6, 2014.
3. Н. Ю. Семиголовский «Дефицит магния как общемедицинская проблема», Трудный пациент, № 7, 2007.
4. Инструкция по медицинскому применению.

Представительство фирмы «Вёрваг Фарма ГмБХ и Ко. КГ»
117587, Москва, Варшавское ш., 125Ж, корп. 6
Тел: (495)382-85-56, Факс: (495) 382-28-01
www.woerwagpharma.ru



было найдено достоверных изменений уровня магния или других минералов (Cu, Zn, Ca) [61].

Поэтому перспективным является использование органических солей магния. Органические анионы способствуют усилению транспорта магния через клеточные мембраны [4] и, соответственно, повышают биодоступность магния в десятки раз по сравнению с оксидом магния.

Тренированные здоровые школьники (n=24, 16 лет) были рандомизированы на прием 20 ммоль аспартата гидрохлорида магния или плацебо в течение 3 мес. Дотация магния способствовала увеличению уровня магния в плазме от 0,85±0,03 до 0,89±0,06 ммоль/л (p=0,05) [62].

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. Дотации улучшали показатели после интенсивной физической нагрузки (марафон 40 км, затем отжим пресса лежа до изнеможения) – число отжимов увеличилось в среднем на 18% (p=0,031) [31].

Особое место среди органических солей магния, которые могут применяться в спортивной медицине, занимает оротат магния. Оротовая кислота помимо того, что обеспечивает эффективный транспорт магния внутрь клеток, также является негормональным анаболиком (группа А14В по системе АТХ). Оротат магния оказывает благоприятное воздействие на миокард в условиях стресса, при тяжелой физической нагрузке и даже в случае инфаркта миокарда. Оротат магния улучшает энергетический метаболизм миокарда за счет повышения уровней сигнальных пуринов и пиримидинов, поддержки ферментативных реакций гликолиза и цикла Кребса [63].

В частности, оротат магния (3000 мг/день, 4 нед.) оказывал благоприятное воздействие на функцию левого желудочка и повышал переносимость физической нагрузки у пациентов с ИБС (n=14), что значительно увеличивало продолжительность тренировки в ходе реабилитации этих пациентов (p=0,011) [64].

Дотации оротата магния действительно улучшают энергетический метаболизм у спортсменов. Триатлонисты (n=23) принимали участие в мероприятии, состоящего из 500-метрового заплыва, 20 км велогонки и 5 км бега. За 4 нед. до соревнования участники принимали плацебо или оротат магния (400 мг/сут элементарного магния). Концентрация глюкозы в сыворотке увеличилась на 87% в контрольной группе и на 118% в группе, принимавшей Mg-оротат. Уровень инсулина в сыворотке увеличились на 39% в контрольной группе и снизились на 65% в группе принимавших Mg-оротат. Во время теста венозное парциальное давление O₂ увеличилось на 126% в контрольной группе и на 208% в группе принимавших оротат магния. Кроме того, в контрольной группе концентрация лейкоцитов крови возрастала на +5,1 нмоль/л, а при приеме оротата магния – только на +3,3 нмоль/л [65].

В России зарегистрирован лекарственный препарат Магнерот, каждая таблетка которого содержит 500 мг оротата магния. Профилактический прием Магнерота предполагает прием 1 таблетки 3 р./сут, а при интенсивных тренировках – по 2–3 таблетки 3 р./сут. Длительность приема Магнерота – не менее 1–2 мес., прием может быть продолжен по усмотрению спортивного

врача.

Заключение

Магний является далеко не единственным микроэлементом, обеспеченность которым важна для спортсменов. Например, цинк участвует в регулировании уровней лептина и является липид-мобилизующим фактором [17]. Однако магний характеризуется определенным кругом биологических функций, принципиально важных для поддержания спортсмена в хорошей физиологической форме. Особо следует отметить такие функции магния, как (1) осуществление биологических функций адреналина, инсулина и ряда других гормонов, (2) нейрональная 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.

Литература

1. Lukaski H.C. Magnesium, zinc, and chromium nutrition and athletic performance // *Can J Appl Physiol*. 2001. Vol. 26 (Suppl). P. 13–22.
2. Speich M., Pineau A., Ballereau F. Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity // *Clin Chim Acta*. 2001. Vol. 312 (1-2). P. 1–11.
3. Volpe S.L. Magnesium and the Athlete // *Curr Sports Med Rep*. 2015. Vol. 14 (4). P. 279–283.
4. Torshin I., Gromova O. Magnesium: fundamental studies and clinical practice // *Nova Biomedical Publishers*. NY, 2011. P. 210.
5. Громова О.А., Калачева А.Г., Торшин И.Ю. Недостаточность магния – достоверный фактор риска коморбидных состояний: результаты крупномасштабного скрининга магниевого статуса в регионах России // *Фарматека*. 2013. № 6. С. 116–129.
6. Laires M.J., Monteiro C.P., Bicho M. Role of cellular magnesium in health and human disease // *Front Biosci*. 2004. Vol. 9. P. 262–276.
7. Rayssiguier Y., Guezennec C.Y., Durlach J. New experimental and clinical data on the relationship between magnesium and sport // *Magnes Res*. 1990. Vol. 3 (2). P. 93–102.
8. Cohen I., Zimmerman A.L. Changes in serum electrolyte levels during marathon running // *S Afr Med J*. 1978. Vol. 53(12). P. 449–453.
9. Buchman A.L., Keen C., Comisso J. et al. The effect of a marathon run on plasma and urine mineral and metal concentrations // *J Am Coll Nutr*. 1998. Vol. 17(2). P. 124–127.
10. 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. Vol. 32 (4). P. 301–307.
11. Laires M.J., Alves F. Changes in plasma, erythrocyte, and urinary magnesium with prolonged swimming exercise // *Magnes Res*. 1991. Vol. 4 (2). P. 119–122.
12. Molina-Lopez J., Molina J.M., Chiroso L.J. et al. Association between erythrocyte concentrations of magnesium and zinc in high-performance handball players after dietary magnesium supplementation // *Magnes Res*. 2012. Vol. 25 (2). P. 79–88.
13. Rama R., Ibanez J., Pages T. et al. Plasma and red blood cell magnesium levels and plasma creatinine after a 100 km race // *Rev Esp Fisiol*. 1993. Vol. 49 (1). P. 43–47.
14. Lijnen P., Hespel P., Fagard R. et al. Erythrocyte, plasma and urinary magnesium in men before and after a marathon // *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988. Vol. 58 (3). P. 252–256.
15. Malliaropoulos N., Tsitas K., Porfiriadou A. et al. Blood phosphorus and magnesium levels in 130 elite track and field athletes // *Asian J Sports Med*. 2013. Vol. 4 (1). P. 49–53.
16. Scherr J., Schuster T., Pressler A. et al. Repolarization perturbation and hypomagnesemia after extreme exercise // *Med Sci Sports Exerc*. 2012. Vol. 44 (9). P. 1637–1643.
17. Zhao J., Fan B., Wu Z. et al. Serum zinc is associated with plasma leptin and Cu-Zn SOD in elite male basketball athletes // *J Trace Elem Med Biol*. 2015. Vol. 30. P. 49–53.
18. Громова О.А., Лиманова О.А., Гоголева И.В. Анализ взаимосвязи между обеспеченностью магнием и соматической патологией у россиян 18–45 лет методами интеллектуального анализа данных // *Эффективная фармакотерапия. Акушерство и гинекология*. 2014. № 2. С. 10–23.
19. 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. С. 63–71.
20. Cheng S.M., Yang D.Y., Lee C.P. et al. 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*.

- siol. 2007. Vol. 99 (6). P. 695–699.
21. Stendig-Lindberg G. Is physical working capacity determined by optimal magnesium concentration? // *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 1992. Vol. 3 (2). P. 139–151.
22. Conn C.A., Schemmel R.A., Smith B.W. et al. Plasma and erythrocyte magnesium concentrations and correlations with maximum oxygen consumption in nine- to twelve-year-old competitive swimmers // *Magnesium*. 1988. Vol. 7 (1). P. 27–36.
23. Cordova A., Escanero J.F., Gimenez M. Magnesium distribution in rats after maximal exercise in air and under hypoxic conditions // *Magnes Res*. 1992. Vol. 5 (1). P. 23–27.
24. Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Klevay L.M. et al. Maximal oxygen consumption as related to magnesium, copper, and zinc nutrition // *Am J Clin Nutr*. 1983. Vol. 37 (3). P. 407–415.
25. Duma E., Orbai P., Derevenco P. Blood levels of some electrolytes and hormones during exercise in athletes // *Rom J Physiol*. 1998. Vol. 35 (1-2). P. 55–60.
26. Cinar V., Mogulkoc R., Baltaci A.K., Polat Y. Adrenocorticotropic hormone and cortisol levels in athletes and sedentary subjects at rest and exhaustion: effects of magnesium supplementation // *Biol Trace Elem Res*. 2008. Vol. 121 (3). P. 215–220.
27. Cinar V. The effects of magnesium supplementation on thyroid hormones of sedentary and Tae-Kwon-Do sportsperson at resting and exhaustion // *Neuro Endocrinol Lett*. 2007. Vol. 28 (5). P. 708–712.
28. 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. Vol. 140 (1). P. 18–23.
29. Soria M., Gonzalez-Haro C., Anson M.A. et al. Variations in serum magnesium and hormonal levels during incremental exercise // *Magnes Res*. 2014. Vol. 27 (4). P. 155–164.
30. Mooren F.C. Magnesium and disturbances in carbohydrate metabolism // *Diabetes Obes Metab*. 2015. Vol. 17 (9). P. 813–823.
31. Kass L.S., Poehira 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. Vol. 12. P. 19.
32. 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. Vol. 3 (2). P. 153–164.
33. Wijnberg I.D., van der Kolk J.H., Franssen H., Breukink H.J. Electromyographic changes of motor unit activity in horses with induced hypocalcemia and hypomagnesemia // *Am J Vet Res*. 2002. Vol. 63 (6). P. 849–856.
34. Tong T.K., Lin H., Lippi G. et al. Serum oxidant and antioxidant status in adolescents undergoing professional endurance sports training // *Oxid Med Cell Longev*. 2012. Vol. 2012. P. 741239.
35. Nikolaidis M.G., Protosygelou M.D., Petridou A. et al. Hematologic and biochemical profile of juvenile and adult athletes of both sexes: implications for clinical evaluation // *Int J Sports Med*. 2003. Vol. 24 (7). P. 506–511.
36. Cheng S.M., Yang L.L., Chen S.H. et al. Magnesium sulfate enhances exercise performance and manipulates dynamic changes in peripheral glucose utilization // *Eur J Appl Physiol*. 2010. Vol. 108 (2). P. 363–369.
37. Setaro L., Santos-Silva P.R., Nakano E.Y. et al. Magnesium status and the physical performance of volleyball players: effects of magnesium supplementation // *J Sports Sci*. 2014. Vol. 32 (5). P. 438–445.
38. Matias C.N., Santos D.A., Monteiro C.P. et al. Magnesium intake mediates the association between bone mineral density and lean soft tissue in elite swimmers // *Magnes Res*. 2012. Vol. 25 (3). P. 120–125.
39. Quintas M.E., Ortega R.M., Lopez-Sobaler A.M. et al. 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. Vol. 57. Suppl 1. P. 58–62.
40. Santos D.A., Matias C.N., Monteiro C.P. et al. Magnesium intake is associated with strength performance in elite basketball, handball and volleyball players // *Magnes Res*. 2011. Vol. 24 (4). P. 215–219.
41. Matias C.N., Santos D.A., Monteiro C.P. et al. Magnesium and strength in elite judo athletes according to intracellular water changes // *Magnes Res*. 2010. Vol. 23 (3). P. 138–141.
42. McDonald R., Keen C.L. Iron, zinc and magnesium nutrition and athletic performance // *Sports Med*. 1988. Vol. 5 (3). P. 171–184.
43. Lukaski H.C., Sidors W.A., Hoverson B.S., Gallagher S.K. Iron, copper, magnesium and zinc status as predictors of swimming performance // *Int J Sports Med*. 1996. Vol. 17 (7). P. 535–540.
44. Nielsen F.H., Lukaski H.C. Update on the relationship between magnesium and exercise // *Magnes Res*. 2006. Vol. 19 (3). P. 180–189.
45. Keen C.L., Lowney P., Gershwin M.E. et al. Dietary magnesium intake influences exercise capacity and hematologic parameters in rats // *Metabolism*. 1987. Vol. 36 (8). P. 788–793.
46. Макарова Г.А., Граевская Н.Д. Спортивная медицина: Учебник. М.: Советский спорт, 2003. 480 с.
47. Siegel A.J., Januzzi J., Sluss P. et al. Cardiac biomarkers, electrolytes, and other analytes in collapsed marathon runners: implications for the evaluation of runners following competition // *Am J Clin Pathol*. 2008. Vol. 129 (6). P. 948–951.
48. Chen Y.J., Chen H.Y., Wang M.F. et al. 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. Vol. 34 (6). P. 1040–1047.
49. Poleszak E. Modulation of antidepressant-like activity of magnesium by serotonergic system // *J Neural Transm (Vienna)*. 2007. Vol. 114 (9). P. 1129–1134.
50. Cardoso C.C., Lobato K.R., Binfare R.W. et al. Evidence for the involvement of the monoaminergic system in the antidepressant-like effect of magnesium // *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2009. Vol. 33 (2). P. 235–242.
51. Poleszak E., Wlaz P., Kedzierska E. et al. NMDA/glutamate mechanism of antidepressant-like action of magnesium in forced swim test in mice // *Pharmacol Biochem Behav*. 2007. Vol. 88 (2). P. 158–164.
52. Delorme O., Bourdin H., Viel J.F. et al. Spectral analysis of electroencephalography data in athletes with low erythrocyte magnesium // *Magnes Res*. 1992. Vol. 5 (4). P. 261–264.
53. Meeusen R., Duclos M., Foster C. et al. 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. Vol. 45 (1). P. 186–205.
54. Matias C.N., Monteiro C.P., Santos D.A. et al. Magnesium and phase angle: a prognostic tool for monitoring cellular integrity in judo athletes // *Magnes Res*. 2015. Vol. 28 (3). P. 92–98.
55. 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. P. 1–10.
56. Shephard R.J., Shek P.N. Immunological hazards from nutritional imbalance in athletes // *Exerc Immunol Rev*. 1998. Vol. 4. P. 22–48.
57. Lares M.J., Monteiro C. Exercise, magnesium and immune function // *Magnes Res*. 2008. Vol. 21 (2). P. 92–96.
58. Mooren F.C., Golf S.W., Volker K. Effect of magnesium on granulocyte function and on the exercise induced inflammatory response // *Magnes Res*. 2003. Vol. 16 (1). P. 49–58.
59. Tam M., Gomez S., Gonzalez-Gross M., Marcos A. Possible roles of magnesium on the immune system // *Eur J Clin Nutr*. 2003. Vol. 57 (10). P. 1193–1197.
60. Finstad E.W., Newhouse I.J., Lukaski H.C. et al. The effects of magnesium supplementation on exercise performance // *Med Sci Sports Exerc*. 2001. Vol. 33 (3). P. 493–498.
61. Telford R.D., Catchpole E.A., Deakin V. et al. The effect of 7 to 8 months of vitamin/mineral supplementation on the vitamin and mineral status of athletes // *Int J Sport Nutr*. 1992. Vol. 2 (2). P. 123–134.
62. Ruddel H., Werner C., Ising H. Impact of magnesium supplementation on performance data in young swimmers // *Magnes Res*. 1990. Vol. 3 (2). P. 103–107.
63. Rosenfeldt F.L. Metabolic supplementation with orotic acid and magnesium orotate // *Cardiovasc Drugs Ther*. 1998. Vol. 12. Suppl 2. P. 147–152.
64. Geiss K.R., Stergiou N., Neuenfeld H.U., Jester H.G. Effects of magnesium orotate on exercise tolerance in patients with coronary heart disease // *Cardiovasc Drugs Ther*. 1998. Vol. 12. Suppl 2. P. 153–156.
65. Golf S.W., Bender S., Gruttner J. On the significance of magnesium in extreme physical stress // *Cardiovasc Drugs Ther*. 1998. Vol. 12. Suppl 2. P. 197–202.