

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

ФИЗИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ОБМЕН МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

А.А. Скальный

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. В настоящее время не вызывает сомнений положение о превалирующем влиянии уровня физической активности индивидуума на функциональное состояние организма. Однако имеющиеся литературные данные о влиянии физической нагрузки на обеспеченность организма микроэлементами и их распределение в тканях во многом противоречивы.

Данный обзор имеющихся литературных данных дает представление о взаимосвязи между физической активностью и гомеостазом микроэлементов.

Рассмотрено влияние на физическую активность человека токсичных (свинец, кадмий, никель и др.) и эссенциальных микроэлементов, таких как железо, селен, медь, кобальт, хром, цинк.

На основании проанализированных работ сделан вывод о том, что с целью коррекции метаболического и микроэлементного статуса человека при физической нагрузке наиболее обоснованной и необходимой является модуляция гомеостаза цинка и селена.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: физическая активность, гомеостаз, микроэлементы, железо, селен, медь, кобальт, хром, цинк, токсичные элементы.

ВВЕДЕНИЕ

Ряд металлов, относящихся к микроэлементам, играют существенную роль в обеспечении функционирования организма, входя в структуру различных металлопротеидов, в том числе и металлоферментов (Авцын и др., 1991; Nitschke et al., 2013). Поскольку именно активность ферментов определяет реализацию специфических функций клетки в частности и организма в целом, содержание микроэлементов в организме напрямую связано с уровнем физической активности (Скальный и др., 2018). Показано, что повышенная физическая активность во время занятий спортом может приводить к перераспределению и развитию дисбаланса ряда металлов. При этом наблюдаемые при физической нагрузке изменения касаются гомеостаза как эссенциальных, так и токсичных микроэлементов (Вировец, 2009).

Цель работы – проанализировать взаимосвязи между физической активностью и гомеостазом микроэлементов.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ ТОКСИЧНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ПОВЫШЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Важно отметить, что повышение физической активности, как правило, сопровождается снижением уровня токсичных микроэлементов в организме. В частности, продемонстрировано, что содержание свинца в плазме спортсменов практически вдвое меньше такового у физически малоактивных лиц. Более того, в плазме обследуемых, профессионально занимающихся спортом, отмечалось более чем четырёхкратное снижение уровня кадмия относительно контрольных значений. Подобная зависимость сохранялась при распределении показателей обследуемых в зависимости от аэробного и анаэробного типов физической нагрузки (Rodríguez Tuyet al., 1996). Подобное снижение, вероятно, является следствием спорт-индуцированной элиминации тяжёлых металлов из организма, что приводит к снижению риска развития заболеваний, вызываемых

* Адрес для переписки:

Скальный Андрей Анатольевич

E-mail: skalny.pfur@yandex.ru

в той или иной степени токсическим действием тяжёлых металлов (Speich et al., 2001). В пользу данного предположения свидетельствует факт статистически значимого увеличения содержания тяжёлых металлов, таких как кадмий, вольфрам, теллур, а также бериллий, в моче активно тренирующихся спортсменов по сравнению с физически малоактивными индивидуумами (Llerena et al., 2012). В то же время результаты проведённого нами ранее исследования показали, что повышение уровня физической активности у студентов мужского пола приводит к статистически значимому увеличению содержания кадмия, лития и свинца в волосах. Девушки с более высокой физической активностью характеризовались статистически значимо наибольшими значениями концентрации алюминия, кадмия, никеля и олова в волосах по сравнению с контрольной группой лиц с низкой физической активностью (Zaitseva et al., 2015). Учитывая тот факт, что необратимая инкорпорация металлов и металлоидов в структуру волоса может являться одним из экскреторных механизмов (Chojnacka et al., 2010), обнаруженное ранее повышение уровня тяжёлых металлов в волосах физически активных людей также подтверждает гипотезу о спорт-индуцированной элиминации тяжёлых металлов из организма.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ОБМЕНОМ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ПОВЫШЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Железо. Среди эссенциальных микроэлементов наиболее выраженному изменению при физической нагрузке подвержен гомеостаз железа, меди, селена, кобальта, марганца и цинка (Некрасов и др., 2006).

В частности, продемонстрировано, что высокая физическая активность у спортсменов характеризуется развитием железодефицита, частота которого достигает 17% у молодых людей мужского пола и 45% – у лиц женского пола (Rowland et al., 1987). Дальнейшие исследования подтвердили полученные данные (Nickerson et al., 1989). При этом предположительными механизмами развития гипоферремии могут являться повышенная потребность в железе, увеличение его экскреции, а также снижение его абсорбции (Ehn et al., 1980). Более того, при обследовании детей, занимающихся спортом, наряду со сниже-

нием уровня железа в организме, у 15% была выявлена скрытая анемия, в то время как 9% обследуемых имели клинически выраженную анемию (Spodaryk et al., 2002). В то же время в ряде исследований показано, что, несмотря на высокую частоту встречаемости железодефицита (52%) у тренирующихся школьников, данные значения не превышали величину соответствующего показателя у контрольной группы лиц, не вовлечённых в спортивные мероприятия (48%) (Sandström et al., 2012). При этом следует обратить внимание на то, что повышенные энергетические потребности у спортсменов мужского пола могут повышать риск истощения депо железа в организме (Koehler et al., 2012), тем более что был продемонстрирован факт выраженной взаимосвязи между снижением двигательной активности и развитием железодефицита у взрослых женщин (Crouter et al., 2012).

Экспериментальные исследования также подтвердили данное наблюдение. Так, установлено, что животные с железодефицитом имели меньшую частоту и длительность горизонтальных, вертикальных и стереотипных движений, меньшие показатели пройденной дистанции, а также более редкие вращательные движения (Hunt et al., 1994). При этом было показано, что употребление женщинами сульфата железа в течение 6 недель приводило к статистически значимому увеличению выносливости (Hinton et al., 2000). Один из последних мета-анализов данных, полученных в 22 исследованиях, показал, что ежедневное употребление железосодержащих добавок статистически значимо повышает максимальную и субмаксимальную отдачу при выполнении упражнений у женщин репродуктивного возраста (Pasricha et al., 2014). Вместе с тем употребление железосодержащих биологически активных добавок спортсменами и лицами с высокой физической активностью должно чётко регулироваться в связи с высокой токсичностью железа в условиях его избыточного поступления в организм (Zoller, Vogel, 2004). Так, являясь металлом с переменной валентностью, железо способно участвовать в окислительно-восстановительных реакциях, сопровождающихся неполным восстановлением молекулы кислорода, приводя к избыточной продукции активных форм кислорода (Jomova, Valko, 2011) с последующей интенсификацией окислительного повреждения макромолекул (Меньщикова и др., 2006), сопро-

вождающейся потерей их функциональной активности с соответствующим снижением работоспособности.

Селен. В течение длительного времени считалось, что физическая нагрузка не приводит к статистически значимому повышению потребности организма в селене (Sieja et al., 2016). Однако подробное обследование 118 тренированных спортсменов показало, что потребность организма в селене статистически значимо изменяется в зависимости от уровня физической активности (Margaritis et al., 2005). При этом интенсивная тренировка в течение одной недели приводила к статистически значимому снижению уровня селена в плазме крови баскетболистов по сравнению с исходными значениями (Wang et al., 2012). Были получены данные, указывающие на статистически значимое снижение сывороточной концентрации селена у мужчин после максимальной физической нагрузки (Emre et al., 2004). В то же время некоторые исследования не подтверждают подобные наблюдения. Например, продемонстрировано, что участие в марафоне не приводит к статистически значимому изменению концентрации селена в плазме крови бегунов (Logemann et al., 1989; Rokitzki et al., 1993).

Медь. Противоречивы литературные данные и по гомеостазу меди при физических нагрузках различной интенсивности. Так, обследование студентов выявило статистически значимо наибольшее содержание меди в плазме крови лиц с высокой физической активностью по сравнению с показателями студентов, ведущих малоподвижный образ жизни (Malara et al., 2012). При этом содержание меди в плазме крови спортсменов после интенсивного бега на беговой дорожке превышало соответствующие значения, полученные после аналогичной физической нагрузки у нетренированных мужчин (Lukaski et al., 1983). Вместе с тем данные наблюдения противоречат работам, показавшим отсутствие статистически значимых изменений в концентрации меди в плазме крови женщин, занимающихся плаванием (Lukaski et al., 1989). Не было выявлено статистически значимого изменения уровня меди в плазме крови и у баскетболистов после недельной тренировки высокой интенсивности (Wang et al., 2012). Также не обнаружено статистически значимых различий в содержании меди в плазме спортсменов, занимающихся различными видами спорта (Koury et al., 2004). Несмот-

ря на существенные различия в количестве потребляемой меди в сутки, занятие разными видами спорта не приводило к статистически значимому изменению уровня меди и церулоплазмину у девушек (Groppe et al., 2003).

Напротив, некоторые исследования продемонстрировали выраженное снижение концентрации меди в плазме крови в результате выполнения физической работы (Bordin et al., 1993). Возможным механизмом подобного явления является выраженная спорт-индуцированная экскреция данного металла (Campbell, Anderson, 1987). Экспериментальные данные свидетельствуют о статистически значимом влиянии физической активности на содержание меди в органах и тканях крыс. Было показано, что в группе животных с высокой физической активностью наблюдалось повышение сывороточного уровня церулоплазмину, а также увеличение содержания меди в селезёнке, печени и сердце. При этом стоит отметить, что подобные изменения отмечались лишь у животных мужского пола (Ruckman, Sherman, 1981).

Кобальт. Кобальт является эссенциальным металлом, в последнее время представляющим особый интерес для спортивной медицины. Экспериментальные исследования показали, что введение хлорида кобальта крысам, подверженным физическим нагрузкам, повышает выносливость, а также предотвращает свободнорадикальное повреждение мышечной ткани путём повышения уровня восстановленного глутатиона, металлотионеина, а также активации гемоксигеназы-1 (Saxena et al., 2010). Демонстрирована роль кобальт-индуцированного митохондриального биогенеза, потребления глюкозы и её аэробного окисления в более чем двукратном повышении физической выносливости (Saxena et al., 2012).

Следует отметить, что клинические данные, подтверждающие выраженный эффект кобальта в эксперименте, отсутствуют. Тем не менее, при исследовании уровня кобальта в моче установлено, что данный параметр находился в пределах референтных значений как в контрольной группе, так и среди элитных спортсменов. В то же время имеются литературные данные, показывающие статистически значимо наибольшее содержание кобальта в моче у элитных спортсменов по сравнению с малоактивными лицами (Krug et al., 2014).

Ранее полученные данные также продемонстрировали статистически значимое увеличение уровня кобальта в волосах студентов с высоким уровнем физической активности по сравнению со студентами с низким уровнем физической активности (Zaitseva et al., 2015). При этом отдельные исследования показали, что марафонский бег не приводит к существенному изменению уровня кобальта в цельной крови спортсменов (Berger et al., 2002). Несмотря на отсутствие убедительной доказательной базы относительно протективного действия кобальта в процессе адаптации к физической нагрузке, повышенная концентрация кобальта в сыворотке часто наблюдается у спортсменов (Lippi et al., 2006a). Учитывая способность кобальта к стабилизации индуцируемого гипоксией фактора-1 α (HIF-1 α) с последующей активацией эритропоэза (Simonsen et al., 2012), соединения кобальта в настоящее время рассматривают в качестве одного из вариантов допинга (Lippi et al., 2005). Кроме того, Всемирное антидопинговое агентство работает над включением определения солей кобальта в компонентах крови в антидопинговые тест-наборы (Lippi et al., 2006b; Krug et al., 2014).

Хром. Важную роль в физиологии тренирующегося организма играет хром. Несмотря на сравнительно недавнее выделение хрома в раздел эссенциальных микроэлементов, накопленные данные свидетельствуют об участии данного металла в большом количестве биологических процессов. Выявлена чёткая взаимосвязь между уровнем хрома в организме и степенью развития мышечной массы. Так, употребление пиколината хрома в течение 26-недельного сезона соревнований женщинами, занимающимися плаванием, привело к статистически значимому увеличению мышечной массы и снижению относительного содержания жировой ткани в организме (Edwards et al., 2012).

В то же время ряд работ свидетельствуют об отсутствии положительного влияния соединений хрома на мышечную массу, силу, а также выносливость (Lukaski, 2000; Livolsi et al., 2001). Установлено, что интенсивная аэробная физическая нагрузка сопровождается повышением уровня хрома в плазме. При этом высокая концентрация данного металла сохраняется до двух часов после окончания тренировки (Clarkson, 1997). Важно отметить, что повышенная физическая активность сопровождается интенсификацией экскре-

ции хрома с мочой (Rubin et al., 1998). Экспериментальные данные также свидетельствуют об изменении гомеостаза хрома при физической нагрузке. В частности, крысы, подверженные умеренной и выраженной физической нагрузке, характеризовались более чем трёхкратным увеличением содержания хрома в печени. Однако изменение концентрации данного металла в селезёнке, а также в различных отделах мозга являлось разнонаправленным (Ergen et al., 2013).

Характерные изменения гомеостаза хрома в организме во время реализации интенсивной физической работы привели научное сообщество к вопросу о необходимости дополнительного введения хрома в организм спортсменов и лиц, занимающихся активным физическим трудом (Clarkson, 1997). В то же время отсутствие убедительных данных о влиянии хрома на параметры тренирующегося организма (Gomes et al., 2005), а также возможность реализации токсического действия данного металла свидетельствуют о том, что потенциальный вред от подобных добавок может превосходить их пользу (Vincent, 2003).

Цинк. Значительное количество исследований посвящено изучению баланса цинка в процессе реализации двигательной активности. В частности, продемонстрировано, что у 23,3% мужчин и 43% женщин, занимающихся спортом, сывороточная концентрация цинка ниже нормы (Haralambie, 1981). У тяжелоатлетов выявлено статистически значимое снижение сывороточного уровня цинка по сравнению с контрольной группой, причём уровень цинка в сыворотке был напрямую связан с концентрацией лептина (Atikan et al., 2008). Подобные данные получены и при обследовании бегунов (Griffin, 2003). Так, тренированные подростки характеризовались существенным снижением уровня цинка в плазме крови. При этом плазматическая концентрация цинка у подростков коррелировала с изометрической силой отводящих мышц (Brun et al., 1995).

Аналогичное обследование пловцов экстракласса, выступающих на национальных и международных соревнованиях не менее 5 лет, показало, что содержание цинка в плазме, эритроцитах, моче и слюне во все периоды тренировочного процесса было существенно снижено относительно референтных значений (Giolo de Carvalho et al., 2012). В то же время было отмечено повы-

шение уровня цинка в слюне подростков, занимающихся циклическими видами спорта (Троегубова, Рылова, 2015).

Следует отметить наличие данных, указывающих на отсутствие выраженных изменений баланса цинка у тренирующихся индивидуумов при условии адекватного поступления данного металла в организм с пищей (Lukaski et al., 1990). Вместе с тем в более ранних исследованиях было показано, что развитие гипоцинкемии после 5 месяцев интенсивных тренировок не связано с изменением содержания данного металла в рационе (Couzy et al., 1990). При этом если в одном случае у 10 физически активных взрослых лиц в ответ на тренировку не было выявлено статистически значимых изменений баланса цинка (Rosa et al., 2011), то в другом случае было продемонстрировано влияние однократной тренировки на уровень цинка в организме. В частности, при обследовании 12 спортсменов, подверженных разовой нагрузке в виде выполнения 30–40-минутных упражнений на велоэргометре, выявлено снижение концентрации цинка в плазме (Aruoma et al., 1988). Занятия бегом на расстояние 5 км 6 раз в неделю в течение 10 недель также приводили к статистически значимому снижению уровня циркулирующего цинка (Ohno et al., 1990).

Важно отметить, что данные наблюдения подтверждались также и результатами экспериментальных исследований. В частности, острая физическая нагрузка в виде 30-минутного плавания приводила к статистически значимому снижению концентрации цинка в плазме по сравнению с соответствующими показателями у интактных животных (Baltaci et al., 2007, 2009).

Таким образом, несмотря на наличие единичных сообщений об отсутствии изменения баланса цинка в организме при повышенной физической активности, многочисленные работы, безусловно, свидетельствуют о развитии дефицита данного металла в процессе спортивной деятельности (Micheletti et al., 2001), одной из причин которого является индуцированная физической нагрузкой экскреция цинка (Троегубова и др., 2014).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие литературные данные, с одной стороны, свидетельствуют о спорт-индуцированном изменении микроэлементного про-

филя организма (Скальный и др., 2000), что может как создавать предпосылки для реализации негативных последствий избытка и недостатка металлов, так и являться одним из механизмов реализации протективного действия физической нагрузки в отношении развития целого ряда заболеваний.

С другой стороны, имеющиеся данные о влиянии физической нагрузки на обеспеченность организма микроэлементами, и их содержание в тканях во многом противоречивы.

На основании проанализированных работ наиболее обоснованной и необходимой с целью коррекции метаболического и микроэлементного статуса при физической нагрузке является, безусловно, модуляция гомеостаза цинка и селена.

ЛИТЕРАТУРА

- Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементы человека. М.: Медицина, 1991. 446 с.
- Вировец А.А. О повышенных потерях макро- и микроэлементов при занятии спортом и целесообразности их компенсации биологически активными добавками. Вопросы питания. 2009; 78(2):67–73.
- Меньщикова Е.Б., Ланкин В.З., Зенков Н.К., Бондарь И.А. и др. Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты. М.: Фирма «Слово», 2006. 556 с.
- Некрасов В.И., Скальный А.В., Дубовой Р.М. Роль микроэлементов в повышении функциональных резервов организма человека. Вестник Российской военно-медицинской академии. 2006; 1:111–113.
- Скальный А.В., Зайцева И.П., Тиньков А.А. Микроэлементы и спорт. Персонализированная коррекция элементного статуса спортсменов. М., 2018. 288 с.
- Скальный А.В., Орджоникидзе З.Г., Громова О.А. Макро- и микроэлементы в физической культуре и спорте. М.: КМК, 2000. 71 с.
- Троегубова Н.А., Рылова Н.В. Особенности макро- и микроэлементного состава слюны юных спортсменов. Казанский медицинский журнал. 2015; 96(2):238–241.
- Троегубова Н.А., Рылова Н.В., Гильмутдинов Р. Метаболизм магния и цинка у спортсменов. Современные проблемы науки и образования. 2014; 4:3–23.
- Arikan S., Akkus H., Halifeoglu I., Baltaci A.K. Comparison of plasma leptin and zinc levels in elite athletes and sedentary people. Cell Biochem. Funct. 2008; 26(6):655–658. doi: 10.1002/cbf.1480.
- Aruoma O.I., Reilly T., MacLaren D., Halliwell B. Iron, copper and zinc concentrations in human sweat and plasma; the effect of exercise. Clin. Chim. Acta. 1988; 177(1):81–87.
- Baltaci A.K., Cumraligil B., Kilic M., Kaya O. Effect of acute swimming exercise on lactate levels and its relation with zinc in pinealectomized rats. Cell Biochem. Funct. 2007; 25(6):597–601.

- Baltaci A.K., Uzun A., Kilic M., Mogulkoc R. Effects of acute swimming exercise on some elements in rats. *Biol. Trace Elem. Res.* 2009; 127(2):148–153. doi: 10.1007/s12011-008-8232-6.
- Berger C.E., Kröner A., Kluger R., Baron R. et al. Effects of marathon running on the trace minerals chromium, cobalt, nickel, and molybdenum. *J. Trace Elem. Experim. Med.* 2002; 15(4):201–209.
- Bordin D., Sartorelli L., Bonanni G., Mastrogiacomo I. et al. High intensity physical exercise induced effects on plasma levels of copper and zinc. *Biol. Trace Elem. Res.* 1993; 36(2):129–134.
- Brun J.F., Dieu-Cambrezy C., Charpiat A., Fons C. et al. Serum zinc in highly trained adolescent gymnasts. *Biol. Trace Elem. Res.* 1995; 47(1–3):273–278.
- Campbell W.W., Anderson R.A. Effects of aerobic exercise and training on the trace minerals chromium, zinc and copper. *Sports Med.* 1987; 4(1):9–18.
- Chojnacka K., Zielińska A., Górecka H., Dobrzański Z. et al. Reference values for hair minerals of Polish students. *Env. Toxicol. Pharmacol.* 2010; 29(3):314–319.
- Clarkson P.M. Effects of exercise on chromium levels. Is supplementation required? *Sports Med.* 1997; 23(6):341–349.
- Couzy F., Lafargue P., Guezennec C.Y. Zinc metabolism in the athlete: influence of training, nutrition and other factors. *Int. J. Sports Med.* 1990; 11(4):263–266.
- Crouter S.E., DellaValle D.M., Haas J.D. Relationship between physical activity, physical performance, and iron status in adult women. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2012; 37(4):697–705. doi: 10.1139/h2012-044.
- Edwards W.W., Pringle D.D., Palfrey T.C., Anderson D.E. Effects of chromium picolinate supplementation on body composition in in-season division I intercollegiate female swimmers. *Medicina Sportiva.* 2012; 16(3):99–103.
- Ehn L., Carlmark B., Höglund S. Iron status in athletes involved in intense physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1980; 12(1):61–64.
- Emre M.H., Düzova H., Sancak B., Polat A. et al. Serum selenium response to maximal anaerobic exercise among sportsmen trained at various levels. *J. Trace Elem. Experim. Med.* 2004; 17(2):93–100.
- Ergen K., Ince H., Düzova H., Karakoç Y. et al. Acute effects of moderate and strenuous running on trace element distribution in the brain, liver, and spleen of trained rats. *Balkan Med. J.* 2013; 30(1):105–110. doi: 10.5152/balkanmedj.2012.093.
- Giolo De Carvalho F., Rosa F.T., Marques Miguel Suen V., Freitas E.C. et al. Evidence of zinc deficiency in competitive swimmers. *Nutrition.* 2012; 28(11–12):1127–1131. doi: 10.1016/j.nut.2012.02.012.
- Gomes M.R., Rogero M.M., Tirapegui J. Considerations about chromium, insulin and physical exercise. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte.* 2005; 11(5):262–266.
- Gropper S.S., Sorrells L.M., Blessing D. Copper status of collegiate female athletes involved in different sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2003; 13(3):343–357.
- Haralambie G. Serum zinc in athletes in training. *Int. J. Sports Med.* 1981; 2(3):135–138.
- Hinton P.S., Giordano C., Brownlie T., Haas J.D. Iron supplementation improves endurance after training in iron-depleted, nonanemic women. *Appl. Physiol.* 2000; 88(3):1103–1111.
- Hunt J.R., Zito C.A., Erjavec J., Johnson L.K. Severe or marginal iron deficiency affects spontaneous physical activity in rats. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994; 59(2):413–418.
- Jomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology.* 2011; 283(2):65–87.
- Koehler K., Braun H., Achtzehn S., Hildebrand U. et al. Iron status in elite young athletes: gender-dependent influences of diet and exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012; 112(2):513–523. doi: 10.1007/s00421-011-2002-4.
- Koury J.C., de Oliveria A.V. (Jr.), Portella E.S., de Oliveria C.F. et al. Zinc and copper biochemical indices of antioxidant status in elite athletes of different modalities. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2004; 14(3):358–372.
- Krug O., Kutscher D., Piper T., Geyer H. et al. Quantifying cobalt in doping control urine samples a pilot study. *Drug Test Anal.* 2014; 6(11–12):1186–1190. doi: 10.1002/dta.1694.
- Lippi G., Franchini M., Guidi G.C. Blood doping by cobalt. Should we measure cobalt in athletes? *J. Occup. Med. Toxicol.* 2006a; 24:11–18.
- Lippi G., Franchini M., Guidi G.C. Cobalt chloride administration in athletes: a new perspective in blood doping? *Br. J. Sports Med.* 2005; 39(11):872–873.
- Lippi G., Franchini M., Guidi G.C. Cobalt salts administration to athletes: a new treat? *Doping J. News.* 2006b; March 17.
- Livolsi J.M., Adams G.M., Laguna P.L. The effect of chromium picolinate on muscular strength and body composition in women athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2001; 15(2):161–166.
- Llerena F., Maynar M., Barrientos G., Palomo R. et al. Comparison of urine toxic metals concentrations in athletes and in sedentary subjects living in the same area of Extremadura (Spain). *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012; 112(8):P. 3027–3031. doi: 10.1007/s00421-011-2276-6.
- Logemann E., Krützfeldt B., Rokitzki L. Selenium determination in blood plasma samples of high performance athletes. *Beitr. Gerichtl. Med.* 1989; 47:97–102.
- Lukaski H.C. Magnesium, zinc, and chromium nutriture and physical activity. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000; 72(2) (Suppl.):585S–593S.
- Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Klevay L.M., Milne D.B. et al. Maximal oxygen consumption as related to magnesium, copper, and zinc nutriture. *Am. J. Clin. Nutr.* 1983; 37(3):407–415.
- Lukaski H.C., Hoverson B.S., Gallagher S.K., Bolonchuk W.W. Copper, zinc, and iron status of female swimmers. *Nutrition Res.* 1989; 9(5):493–502.
- Lukaski H.C., Hoverson B.S., Gallagher S.K., Bolonchuk W.W. Physical training and copper, iron, and zinc status of swimmers. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990; 51(6):1093–1099.
- Malara M., Hübner-Woźniak E., Kurczyńska A. Concentrations of retinol, α -tocopherol, copper, zinc and iron in plasma of young subjects differing in their engagement in motor activities. *Biomed. Hum. Kinetics.* 2012; 4:15.
- Margaritis I., Rousseau A.S., Hinger I., Palazzetti S. et al. Increase in selenium requirements with physical activity loads in well-trained athletes is not linear. *Biofactors.* 2005; 23(1):45–55.

- Micheletti A., Rossi R., Rufini S. Zinc status in athletes: relation to diet and exercise. *Sports Med.* 2001; 31(8):577–582.
- Nickerson H.J., Holubets M.C., Weiler B.R., Haas R.H. et al. Causes of iron deficiency in adolescent athletes. *J. Pediatr.* 1989; 114(4)(Pt 1):657–663.
- Nitschke W., McGlynn S.E., Milner-White E.J., Russell M.J. On the antiquity of metalloenzymes and their substrates in bioenergetics. *Biochem. Biophys. Acta.* 2013; 1827(8–9):871–881.
- Ohno H., Sato Y., Ishikawa M., Yahata T. et al. Training effects on blood zinc levels in humans. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 1990; 30(3):247–253.
- Pasricha S.R., Low M., Thompson J., Farrell A. et al. Iron supplementation benefits physical performance in women of reproductive age: a systematic review and meta-analysis. *J. Nutr.* 2014; 144(6): 906–914. doi: 10.3945/jn.113.189589. Epub 2014 Apr 9.
- Peake J.M., Gerrard D.F., Griffin J.F. Plasma zinc and immune markers in runners in response to a moderate increase in training volume. *Int. J. Sports Med.* 2003; 24:212–216.
- Rokitzki L., Logemann E., Keul J. Selenium metabolism and glutathione peroxidase activity of endurance athletes in rest and under exertion. *Schweiz. Z. Sportmed.* 1993; 41(1):21–27.
- Rosa G., Dantas E.H., de Mello D.B. The response of serum leptin, cortisol and zinc concentrations to concurrent training. *Hormones (Athens).* 2011; 10(3):215–221.
- Rowland T.W., Black S.A., Kelleher J.F. Iron deficiency in adolescent endurance athletes. *J. Adolesc. Health Care.* 1987; 8(4):322–326.
- Rubin M.A., Miller J.P., Ryan A.S., Treuth M.S. et al. Acute and chronic resistive exercise increase urinary chromium excretion in men as measured with an enriched chromium stable isotope. *J. Nutr.* 1998; 128(1):73–78.
- Ruckman K.S., Sherman A.R. Effects of exercise on iron and copper metabolism in rats. *J. Nutr.* 1981; 111(9):1593–1601.
- Sandström G., Börjesson M., Rödger S. Iron deficiency in adolescent female athletes is iron status affected by regular sporting activity? *Clin. J. Sport Med.* 2012; 22(6):495–500.
- Saxena S., Shukla D., Bansal A. Augmentation of aerobic respiration and mitochondrial biogenesis in skeletal muscle by hypoxia preconditioning with cobalt chloride. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2012; 264(3):324–334. doi: 10.1016/j.taap.2012.08.033.
- Saxena S., Shukla D., Saxena S., Khan Y.A. et al. Hypoxia preconditioning by cobalt chloride enhances endurance performance and protects skeletal muscles from exercise-induced oxidative damage in rats. *Acta Physiol. (Oxf).* 2010; 200(3):249–263. doi: 10.1111/j.1748-1716.2010.02136.x.
- Sieja K., von Mach-Szczypińska J., Kois N., Ler P. et al. Influence of selenium on oxidative stress in athletes. *Cent. Eur. J. Sport Sci. Med.* 2016; 14(2):87–92.
- Simonsen L.O., Harbak H., Bennekou P. Cobalt metabolism and toxicology a brief update. *Sci. Total Environ.* 2012; 432:210–215. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.009.
- 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.
- Spodaryk K. Iron metabolism in boys involved in intensive physical training. *Physiol. Behav.* 2002; 75(1–2):201–206.
- Tuya Rodríguez I., Pinilla Gil E., Maynar Mariño M., García-Moncó Carra R.M. et al. Evaluation of the influence of physical activity on the plasma concentrations of several trace metals. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1996; 73(3–4):299–303.
- Vincent J.B. The potential value and toxicity of chromium picolinate as a nutritional supplement, weight loss agent and muscle development agent. *Sports Med.* 2003; 33(3):213–230.
- Wang, Zhang J., Wang J., He W. et al. Effects of high-intensity L. training and resumed training on macroelement and microelement of elite basketball athletes. *Biol. Trace Elem. Res.* 2012; 149(2):148–154. doi: 10.1007/s12011-012-9420-y.
- Zaitseva I.P., Skalny A.A., Tinkov A.A., Berezkina E.S. et al. The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students. *Biol. Trace Elem. Res.* 2015; 163(1–2). P. 58–66. doi: 10.1007/s12011-014-0172-8.
- Zoller H., Vogel W. Iron supplementation in athletes first do no harm. *Nutrition.* 2004; 20(7):615–619.

PHYSICAL ACTIVITY AND TRACE ELEMENT METABOLISM

A.A. Skalny

RUDN University (Peoples' friendship University of Russia), Moscow, Russia
E-mail: skalny.pfur@yandex.ru

ABSTRACT. Currently, there is no doubt about the prevailing influence of the level of physical activity of an individual on the functional state of the body. However, the available literature data on the impact of physical stress on the body's supply of trace elements and their distribution in tissues are largely contradictory.

This review of available literature data provides an insight into the relationship between physical activity and microelement homeostasis.

The influence of human physical activity on the exchange of toxic (lead, cadmium, Nickel, etc.) and essential trace elements, such as iron, selenium, copper, cobalt, chromium, and zinc is reviewed.

Based on the analyzed works, it is concluded that in order to correct the metabolic and microelement status of a person during physical activity, the most reasonable and necessary is the modulation of homeostasis of zinc and selenium.

KEYWORDS: physical activity, homeostasis, trace elements, iron, selenium, copper, cobalt, chromium, zinc, toxic elements.

REFERENCES

- Avtsyin A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. Mikroelementy cheloveka. M.: Meditsina, 1991. 446 c
- Virovets A.A. O povyishennykh poteryakh makro- i mikroelementov pri zanyatii sportom i tselesoobraznosti ih kompensatsii biologicheski aktivnyimi dobavkami. *Voprosy pitaniya*. 2009; 78(2):67–73.
- Menschikova E.B., Lankin V.Z., Zenkov N.K., Bondar I.A. i dr. Okislitelnyy stress. Prooksidanty i antioksidanty. M.: Firma «Slovo», 2006. 556 s.
- Nekrasov V.I., Skalnyy A.V., Dubovoy R.M. Rol mikroelementov v povyishenii funktsionalnykh rezervov organizma cheloveka. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2006; 1:111–113.
- Skalny A.V., Zajceva I.P., Tinkov A.A. Mikroelementy i sport. Personalizirovannaya korrekciya elementnogo statusa sportsmenov.. M., 2018. 288 s.
- Skalny A.V., Ordzhonikidze Z.G., Gromova O.A. Makro- i mikroelementy v fizicheskoy kul'ture i sporte.. M.: KMK, 2000. 71 s.
- Troegubova N.A., Rylova N.V. Osobennosti makro- i mikroelementnogo sostava slyuny yunyh sportsmenov. *Kazanskiy medicinskiy zhurnal*. 2015; 96(2):238–241.
- Troegubova N.A., Rylova N.V., Gil'mutdinov R. Metabolizm magniya i cinka u sportsmenov. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; 4:3–23.
- Arikan S., Akkus H., Halifeoglu I., Baltaci A.K. Comparison of plasma leptin and zinc levels in elite athletes and sedentary people. *Cell Biochem. Funct*. 2008; 26(6):655–658. doi: 10.1002/cbf.1480.
- Aruoma O.I., Reilly T., MacLaren D., Halliwell B. Iron, copper and zinc concentrations in human sweat and plasma; the effect of exercise. *Clin. Chim. Acta*. 1988; 177(1):81–87.
- Baltaci A.K., Cumraligil B., Kilic M., Kaya O. Effect of acute swimming exercise on lactate levels and its relation with zinc in pinealectomized rats. *Cell Biochem. Funct*. 2007; 25(6):597–601.
- Baltaci A.K., Uzun A., Kilic M., Mogulkoc R. Effects of acute swimming exercise on some elements in rats. *Biol. Trace Elem. Res*. 2009; 127(2):148–153. doi: 10.1007/s12011-008-8232-6.
- Berger C.E., Kröner A., Kluger R., Baron R. et al. Effects of marathon running on the trace minerals chromium, cobalt, nickel, and molybdenum. *J. Trace Elem. Experim. Med*. 2002; 15(4):201–209.
- Bordin D., Sartorelli L., Bonanni G., Mastrogiacomo I. et al. High intensity physical exercise induced effects on plasma levels of copper and zinc. *Biol. Trace Elem. Res*. 1993; 36(2):129–134.
- Brun J.F., Dieu-Cambrezy C., Charpiat A., Fons C. et al. Serum zinc in highly trained adolescent gymnasts. *Biol. Trace Elem. Res*. 1995; 47(1–3):273–278.
- Campbell W.W., Anderson R.A. Effects of aerobic exercise and training on the trace minerals chromium, zinc and copper. *Sports Med*. 1987; 4(1):9–18.
- Chojnacka K., Zielińska A., Górecka H., Dobrzański Z. et al. Reference values for hair minerals of Polish students. *Env. Toxicol. Pharmacol*. 2010; 29(3):314–319.
- Clarkson P.M. Effects of exercise on chromium levels. Is supplementation required? *Sports Med*. 1997; 23(6):341–349.
- Couzy F., Lafargue P., Guezennec C.Y. Zinc metabolism in the athlete: influence of training, nutrition and other factors.. *Int. J. Sports Med*. 1990; 11(4):263–266.
- Crouter S.E., DellaValle D.M., Haas J.D. Relationship between physical activity, physical performance, and iron status in adult women. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*. 2012; 37(4):697–705. doi: 10.1139/h2012-044.
- Edwards W.W., Pringle D.D., Palfrey T.C., Anderson D.E. Effects of chromium picolinate supplementation on body composition in in-season division I intercollegiate female swimmers. *Medicina Sportiva*. 2012; 16(3):99–103.
- Ehn L., Carlmark B., Höglund S. Iron status in athletes involved in intense physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1980; 12(1):61–64.
- Emre M.H., Düzova H., Sancak B., Polat A. et al. Serum selenium response to maximal anaerobic exercise among sportsmen trained at various levels. *J. Trace Elem. Experim. Med*. 2004; 17(2):93–100.
- Ergen K., Ince H., Düzova H., Karakoç Y. et al. Acute effects of moderate and strenuous running on trace element distribution in the brain, liver, and spleen of trained rats. *Balkan Med. J*. 2013; 30(1):105–110. doi: 10.5152/balkanmedj.2012.093.
- Giolo De Carvalho F., Rosa F.T., Marques Miguel Suen V., Freitas E.C. et al. Evidence of zinc deficiency in competitive swimmers. *Nutrition*. 2012; 28(11–12):1127–1131. doi: 10.1016/j.nut.2012.02.012.
- Gomes M.R., Rogero M.M., Tirapegui J. Considerations about chromium, insulin and physical exercise. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2005; 11(5):262–266.
- Gropper S.S., Sorrels L.M., Blessing D. Copper status of collegiate female athletes involved in different sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab*. 2003; 13(3):343–357.
- Haralambie G. Serum zinc in athletes in training. *Int. J. Sports Med*. 1981; 2(3):135–138.

- Hinton P.S., Giordano C., Brownlie T., Haas J.D. J. Iron supplementation improves endurance after training in iron-depleted, nonanemic women. *Appl. Physiol.* 2000; 88(3):1103–1111.
- Hunt J.R., Zito C.A., Erjavec J., Johnson L.K. Severe or marginal iron deficiency affects spontaneous physical activity in rats. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994; 59(2):413–418.
- Jomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology.* 2011; 283(2):65–87.
- Koehler K., Braun H., Achtzehn S., Hildebrand U. et al. Iron status in elite young athletes: gender-dependent influences of diet and exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012; 112(2):513–523. doi: 10.1007/s00421-011-2002-4.
- Koury J.C., de Olilveria A.V. (Jr.), Portella E.S., de Olilveria C.F. et al. Zinc and copper biochemical indices of antioxidant status in elite athletes of different modalities. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2004; 14(3):358–372.
- Krug O., Kutscher D., Piper T., Geyer H. et al. Quantifying cobalt in doping control urine samples a pilot study. *Drug Test Anal.* 2014; 6(11–12):1186–1190. doi: 10.1002/dta.1694.
- Lippi G., Franchini M., Guidi G.C. Blood doping by cobalt. Should we measure cobalt in athletes? *J. Occup. Med. Toxicol.* 2006a; 24:11–18.
- Lippi G., Franchini M., Guidi G.C. Cobalt chloride administration in athletes: a new perspective in blood doping? *Br. J. Sports Med.* 2005; 39(11):872–873.
- Lippi G., Franchini M., Guidi G.C. Cobalt salts administration to athletes: a new treat? *Doping J. News.* 2006b; March 17.
- Livolsi J.M., Adams G.M., Laguna P.L. The effect of chromium picolinate on muscular strength and body composition in women athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2001; 15(2): 161–166.
- Llerena F., Maynar M., Barrientos G., Palomo R. et al. Comparison of urine toxic metals concentrations in athletes and in sedentary subjects living in the same area of Extremadura (Spain). *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012; 112(8):P. 3027–3031. doi: 10.1007/s00421-011-2276-6.
- Logemann E., Krützfeldt B., Rokitzki L. Selenium determination in blood plasma samples of high performance athletes. *Beitr. Gerichtl. Med.* 1989; 47:97–102.
- Lukaski H.C. Magnesium, zinc, and chromium nutriture and physical activity. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000; 72(2) (Suppl.):585S–593S.
- Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Klevay L.M., Milne D.B. et al. Maximal oxygen consumption as related to magnesium, copper, and zinc nutriture. *Am. J. Clin. Nutr.* 1983; 37(3):407–415.
- Lukaski H.C., Hoverson B.S., Gallagher S.K., Bolonchuk W.W. Copper, zinc, and iron status of female swimmers. *Nutrition Res.* 1989; 9(5):493–502.
- Lukaski H.C., Hoverson B.S., Gallagher S.K., Bolonchuk W.W. Physical training and copper, iron, and zinc status of swimmers. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990; 51(6):1093–1099.
- Malara M., Hübner-Woźniak E., Kurczyńska A. Concentrations of retinol, α -tocopherol, copper, zinc and iron in plasma of young subjects differing in their engagement in motor activities. *Biomed. Hum. Kinetics.* 2012; 4:15.
- Margaritis I., Rousseau A.S., Hininger I., Palazzetti S. et al. Increase in selenium requirements with physical activity loads in well-trained athletes is not linear. *Biofactors.* 2005; 23(1):45–55.
- Micheletti A., Rossi R., Rufini S. Zinc status in athletes: relation to diet and exercise. *Sports Med.* 2001; 31(8):577–582.
- Nickerson H.J., Holubets M.C., Weiler B.R., Haas R.H. et al. Causes of iron deficiency in adolescent athletes. *J. Pediatr.* 1989; 114(4)(Pt 1):657–663.
- Nitschke W., McGlynn S.E., Milner-White E.J., Russell M.J. On the antiquity of metalloenzymes and their substrates in bioenergetics. *Biochem. Biophys. Acta.* 2013; 1827(8–9):871–881.
- Ohno H., Sato Y., Ishikawa M., Yahata T. et al. Training effects on blood zinc levels in humans. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 1990; 30(3):247–253.
- Pasricha S.R., Low M., Thompson J., Farrell A. et al. Iron supplementation benefits physical performance in women of reproductive age: a systematic review and meta-analysis. *J. Nutr.* 2014; 144(6): 906–914. doi: 10.3945/jn.113.189589. Epub 2014 Apr 9.
- Peake J.M., Gerrard D.F., Griffin J.F. Plasma zinc and immune markers in runners in response to a moderate increase in training volume. *Int. J. Sports Med.* 2003; 24:212–216.
- Rokitzki L., Logemann E., Keul J. Selenium metabolism and glutathione peroxidase activity of endurance athletes in rest and under exertion. *Schweiz. Z. Sportmed.* 1993; 41(1):21–27.
- Rosa G., Dantas E.H., de Mello D.B. The response of serum leptin, cortisol and zinc concentrations to concurrent training. *Hormones (Athens).* 2011; 10(3):215–221.
- Rowland T.W., Black S.A., Kelleher J.F. Iron deficiency in adolescent endurance athletes. *J. Adolesc. Health Care.* 1987; 8(4):322–326.
- Rubin M.A., Miller J.P., Ryan A.S., Treuth M.S. et al. Acute and chronic resistive exercise increase urinary chromium excretion in men as measured with an enriched chromium stable isotope. *J. Nutr.* 1998; 128(1):73–78.
- Ruckman K.S., Sherman A.R. Effects of exercise on iron and copper metabolism in rats. *J. Nutr.* 1981; 111(9):1593–1601.

Sandström G., Börjesson M., Rödger S. Iron deficiency in adolescent female athletes is iron status affected by regular sporting activity? *Clin. J. Sport Med.* 2012; 22(6):495–500.

Saxena S., Shukla D., Bansal A. Augmentation of aerobic respiration and mitochondrial biogenesis in skeletal muscle by hypoxia preconditioning with cobalt chloride. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2012; 264(3):324–334. doi: 10.1016/j.taap.2012.08.033.

Saxena S., Shukla D., Saxena S., Khan Y.A. et al. Hypoxia preconditioning by cobalt chloride enhances endurance performance and protects skeletal muscles from exercise-induced oxidative damage in rats. *Acta Physiol. (Oxf)*. 2010; 200(3):249–263. doi: 10.1111/j.1748-1716.2010.02136.x.

Sieja K., von Mach-Szczyńska J., Kois N., Ler P. et al. Influence of selenium on oxidative stress in athletes. *Cent. Eur. J. Sport Sci. Med.* 2016; 14(2):87–92.

Simonsen L.O., Harbak H., Bennekou P. Cobalt metabolism and toxicology a brief update. *Sci. Total Environ.* 2012; 432:210–215. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.009.

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.

Spodaryk K. Iron metabolism in boys involved in intensive physical training. *Physiol. Behav.* 2002; 75(1–2):201–206.

Tuya Rodríguez I., Pinilla Gil E., Maynar Mariño M., García-Moncó Carra R.M. et al. Evaluation of the influence of physical activity on the plasma concentrations of several trace metals. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1996; 73(3–4):299–303.

Vincent J.B. The potential value and toxicity of chromium picolinate as a nutritional supplement, weight loss agent and muscle development agent. *Sports Med.* 2003; 33(3):213–230.

Wang, Zhang J., Wang J., He W. et al. Effects of high-intensity L. training and resumed training on macroelement and microelement of elite basketball athletes. *Biol. Trace Elem. Res.* 2012; 149(2):148–154. doi: 10.1007/s12011-012-9420-y.

Zaitseva I.P., Skalny A.A., Tinkov A.A., Berezkina E.S. et al. The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students. *Biol. Trace Elem. Res.* 2015; 163(1–2). P. 58–66. doi: 10.1007/s12011-014-0172-8.

Zoller H., Vogel W. Iron supplementation in athletes first do no harm. *Nutrition.* 2004; 20(7):615–619.