

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ДЕВУШЕК

И.П. Зайцева\*

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

**РЕЗЮМЕ:** Исследовалось влияние различного уровня физической нагрузки (ФН) на содержание макро- и микроэлементов в волосах девушек. В исследовании приняли участие 59 клинически здоровых студенток (18–22 года), обучающихся в Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова. Все студентки были распределены на три группы: I – большая физическая нагрузка (не менее четырех раз в неделю занятия в спортивных секциях); II – средняя (посещение фитнес-групп 2–3 раза в неделю); III – умеренная (занятия физической культурой по учебному плану). Показано, что физическая нагрузка разнонаправленно влияет на содержание макро- и микроэлементов в волосах. Так, в отношении эссенциальных микроэлементов при большой физической нагрузке наблюдается повышение Co, Fe, Mn и снижение Zn. В отношении токсичных и условно токсичных микроэлементов наблюдается повышение Al, Cd, Sb, Sn с одновременным снижением Hg. В отношении макроэлементов наблюдается повышение Ca и Mg, а в отношении условно эссенциальных микроэлементов – снижение Ni и V. Делается заключение о возможной взаимосвязи больших ФН, с одной стороны, с повышенным поступлением различных микроэлементов с пищей и водой и, соответственно, индукцией их выведения, а с другой – с повышенной потребностью в некоторых эссенциальных и условно эссенциальных микроэлементах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** макро- и микроэлементы, волосы, девушки, спортсменки, физическая нагрузка.

### ВВЕДЕНИЕ

По современным данным не менее 25% всех ферментативных реакций являются металлозависимыми. При дефиците или избыточном поступлении микроэлементов могут наблюдаться нарушения активности прямо или косвенно зависящих от них ферментов (Скальный, 2005) и, соответственно, снижение умственной и физической работоспособности. Поскольку повышенная физическая активность подразумевает интенсификацию как энергетических, так и пластических процессов, то увеличивается потребность не только в субстратах биологического окисления и «структурных блоках», но и макро- и микроэлементах (Орджоникидзе и др., 2003; McClung et al., 2014). При этом интегральный элементный статус организма – содержание макро- и микроэлементов в волосах, безусловно является отражением происходящих в организме человека процессов обмена веществ и энергии. Тем более, что элементный состав волос (в частности, 3–4 см волос от корня) позволяет отразить период длительного воздействия на человека и его биоэлементный баланс различных факторов окружающей среды (примерно период 3–6 мес.) (Passwater, Cranton, 1983). Также нельзя не учитывать, что дисбаланс макро- и микро-

элементов может быть одним из ведущих факторов, отрицательно влияющих на функцию клетки в частности и организма в целом, формировать повышенный риск заболеваний и предпосылки для ускорения патологических процессов (Скальный и др., 2005).

Несмотря на значительное количество работ в области спортивной физиологии, питания, обеспеченности организма спортсменов микроэлементами и витаминами существующие данные во многом противоречивы (Nitschke et al., 2013). Также противоречивы данные и по обмену эссенциальных и токсичных микроэлементов при больших физических нагрузках (Speich et al., 2001; Volpe, Nguyen, 2012), что, безусловно, диктует необходимость проведения исследований в данной области.

В связи с этим целью настоящего исследования явилось выявление зависимости между физической активностью и изменением некоторых макро- и микроэлементов в волосах студенток.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 59 клинически здоровых студенток в возрасте 18–22 лет, обучающихся в Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова. Все обследуемые дали информированное согласие на включение в программу исследования и были распре-

\* Адрес для переписки:

Зайцева Ирина Петровна  
E-mail: irisha-zip@yandex.ru

лены на три группы: I – 21 студентка с большой физической нагрузкой (не менее четырех раз в неделю занятия в спортивных секциях на протяжении не менее двух лет; II – 20 студенток со средней физической нагрузкой (посещение фитнес-групп 2–3 раза в неделю на протяжении более года; III – 18 девушек с умеренной ФН (занятия физической культурой по учебному плану).

Образцы волос получали путем состригания с 3–5 участков на затылочной части головы в количестве примерно 50–100 мг. Пробы помещали в специальные пакеты, затем в конверты с идентификационными записями. Для элементного анализа волос использовали проксимальные части прядей длиной 3–4 см, пробоподготовка проводилась согласно МУК4.1.1482-03, МУК4.1.1483-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой», разработанным в АНО «Центр биотической медицины» (Москва) и утвержденными МЗ РФ в 2003 г.

Анализ волос на содержание макро- и микроэлементов проводили в клинико-диагностической лаборатории АНО «Центр биотической медицины» по медицинской технологии «Выявление и коррекция нарушений минерального обмена организма человека» (Регистрационное удостоверение № ФС-2007/128 от 09 июля 2007 г.). Анализ осуществляли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой (ИСП-МС) на приборе Nexion 300D+NWR213 («Perkin Elmer», США).

Статистическую обработку полученных данных проводили при помощи программных пакетов Microsoft Excel XP («Microsoft Corp.», США) и Statistica 6.0 («Stat Soft Inc.», США). Ввиду того, что распределение значений изучаемых признаков в выборке оказалось отличным от нормального, в работе в качестве описательных характеристик помимо средних значений использовали медианы ( $q_{25}$  и  $q_{75}$ ). Парное сравнение групп проводили с использованием U-критерия Манна–Уитни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из данных, представленных в таблице, большая физическая нагрузка на протяжении длительного временного периода приводит к увеличению содержания в волосах таких эссенциальных микроэлементов, как Co (на 57%,  $p=0,009$ ), Fe (на 206%,  $p=0,005$ ), Mn (на 215%,  $p=0,013$ ), и снижению Zn (на 16%,  $p=0,035$ ). Данные результаты согласуются с показанными ранее данными о сопряжении уровня Co в крови с физической нагрузкой (Lippi et al., 2005; 2006). Также нельзя не отметить показанную в данном исследовании ассоциацию между уровнем физической активности

и содержанием железа в волосах, как индикаторе обмена данного микроэлемента в организме, которая согласуется с аналогичными экспериментальными (Hunt et al., 1994) и клиническими (Sandström et al., 2012) работами. Представляет интерес выявленная взаимосвязь между физической нагрузкой и содержанием в волосах марганца, что, безусловно, свидетельствует о важной роли данного элемента в реализации физической активности организма. Выявленное 18% снижение содержания цинка в волосах студенток с большой физической нагрузкой требует дальнейшего изучения, поскольку роль данного элемента в регуляции обмена белков, жиров и углеводов не вызывает сомнений. При этом нельзя не отметить известные данные, что у спортсменов дефицит цинка встречается довольно часто и сопровождается снижением аппетита, аллергическими проявлениями, дерматитами, дефицитом массы тела, снижением остроты зрения, выпадением волос (Grantham-McGregor, Ani, 1999; Braetter, 2002). Важно, что при дефиците цинка специфически снижается Т-клеточное звено иммунитета, и это повышает вероятность простудных и инфекционных заболеваний, а также реабилитационный период после травм (Sandstead, 1991; Swinkels et al., 1994; Оберлис и др., 2008).

При рассмотрении содержания токсичных и потенциально токсичных элементов в волосах студенток интересен факт более высокого содержания Al (на 203%,  $p=0,003$ ), Cd (на 236%,  $p=0,004$ ), Sb (на 177%,  $p=0,058$ ), Sn (на 276%,  $p=0,008$ ) с одновременным снижением Hg (на 170%,  $p=0,009$ ) у лиц с большой физической нагрузкой по сравнению с умеренной.

Объяснение возможных механизмов реализации данного феномена представляется весьма сложным вследствие ограниченного числа работ по данной проблеме. При этом повышение уровня токсичных микроэлементов в волосах лиц с высокой физической нагрузкой может являться следствием интенсификации обмена веществ и энергии, связанным с соответствующим повышенным их поступлением и, соответственно, выделением. Также нельзя не учитывать данные литературы о возможности в условиях большой физической нагрузки ряда токсичных и потенциально токсичных микроэлементов выполнять функцию эссенциальных (Speich et al., 2001).

Изучение макроэлементного звена минерального обмена выявило значительные различия между изучаемыми группами. В группе девушек с большой физической активностью наблюдалось повышение содержания в волосах Ca и Mg на 204 и 201% ( $p=0,028$  и  $0,021$ ) соответственно по сравнению с умеренно физически активными девушками. При этом повышение содержание электролита K в группе I ( $p=0,024$ ) наблюдалось только в сравнении с группой средней физической активности.

Таблица. Содержание в волосах макро- и микроэлементов у девушек с различной физической активностью, Me (q25– q75)\*, мкг/г

ХЭ	Группа I (высокая активность)	Группа II (средняя активность)	Группа III (низкая активность)	<i>p</i> , группа III/II	<i>p</i> , группа I/II	<i>p</i> , группа I/III
Токсичные и потенциально токсичные микроэлементы						
As	0,042 (0,042–0,042)	0,0315 (0,021–0,0503)	0,042 (0,021–0,0511)	0,500	0,381	0,876
Al	11,8 (8,4–16)	6,7 (3,6–11,5)	5,8 (4,1–9,8)	0,501	0,032	0,003
Bi	0,092 (0,046–0,293)	0,0937 (0,0254–0,294)	0,117 (0,026–0,2545)	0,663	0,567	0,959
Cd	0,018 (0,01–0,025)	0,0108 (0,0067–0,0165)	0,0076 (0,005–0,01)	0,208	0,057	0,004
Hg	0,271 (0,187–0,373)	0,285 (0,155–0,69)	0,461 (0,274–1,012)	0,242	0,434	0,017
Pb	0,267 (0,214–0,336)	0,256 (0,174–0,469)	0,223 (0,123–0,341)	0,447	0,876	0,447
Sb	0,016 (0,01–0,02)	0,0064 (0,0052–0,008)	0,009 (0,0059–0,018)	0,158	0,001	0,058
Sn	0,227 (0,106–0,842)	0,139 (0,064–0,746)	0,082 (0,062–0,215)	0,198	0,449	0,008
Tl	0,0003 (0,0002–0,0003)	0,0003 (0,0002–0,0005)	0,0003 (0,0002–0,0006)	0,752	0,339	0,241
Условно эссенциальные микроэлементы						
B	0,598 (0,332–0,988)	0,504 (0,315–1,122)	0,392 (0,23–0,935)	0,365	0,938	0,367
Li	0,019 (0,014–0,0368)	0,0169 (0,006–0,0288)	0,0128 (0,006–0,023)	0,589	0,208	0,061
Ni	0,426 (0,269–0,582)	0,25 (0,178–0,391)	0,231 (0,123–0,275)	0,293	0,054	0,002
Si	17,4 (13,1–28,5)	22,3 (15,6–36,3)	21,2 (17,4–27,7)	0,682	0,241	0,481
Sr	3,6 (1,52–6,86)	3,92 (1,85–7,67)	3,71 (1,8–6,37)	0,494	0,627	0,742
V	0,015 (0,0118–0,017)	0,0398 (0,0125–0,0498)	0,0186 (0,01–0,0426)	0,248	0,018	0,278
Макроэлементы						
Ca	1614 (902–2887)	1155 (724–2007)	789 (493–1523)	0,293	0,361	0,028
K	67,2 (47,5–130,1)	27,7 (16,4–75,1)	33,8 (8,8–105,4)	0,953	0,024	0,059
Mg	167 (78–253)	112 (68–218)	83 (51–158)	0,231	0,297	0,021
Na	94,9 (53–215,2)	61,1 (42,9–112,8)	66,2 (36,5–106,5)	0,815	0,285	0,248
P	157 (136–167)	159 (144–182)	157 (150–163)	0,704	0,335	0,693
Эссенциальные микроэлементы						
Co	0,021 (0,0157–0,058)	0,0156 (0,0103–0,0376)	0,0134 (0,0065–0,018)	0,203	0,303	0,009
Cr	0,448 (0,289–0,723)	0,29 (0,209–0,574)	0,313 (0,229–0,548)	1,000	0,262	0,159
Cu	11,8 (9,9–15,4)	17,2 (11,4–30,5)	14,4 (11,8–25,5)	0,447	0,028	0,143
Fe	45,5 (25,7–77,7)	17,6 (11,8–31,3)	22,1 (15,3–30,6)	0,682	0,004	0,005
I	0,623 (0,336–1,01)	0,718 (0,3–1,377)	0,348 (0,3–0,513)	0,064	0,619	0,077
Mn	1,5 (0,77–3,9)	0,77 (0,33–1,983)	0,697 (0,204–1,343)	0,465	0,050	0,013
Mo	0,025 (0,023–0,032)	0,0271 (0,0234–0,0399)	0,025 (0,021–0,0351)	0,406	0,244	0,972
Se	0,333 (0,219–0,417)	0,302 (0,238–0,59)	0,325 (0,264–0,58)	0,501	0,825	0,297
Zn	172 (130–209)	213 (166–297)	204 (178–247)	0,704	0,100	0,035

Примечание: \* – Me – медиана, q25 – нижний квартиль, q75 – верхний квартиль.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование позволило выявить разнонаправленность изменения уровня различных макро- и микроэлементов в организме студенток в зависимости от выраженности физической нагрузки. Безусловно, для осуществления коррекции возможных дисбиозов при занятии спортивной деятельностью (активный образ жизни) требуется дальнейшее проведение исследований в рамках данной проблемы с привлечением биохимических и инструментальных показателей состояния клеточных и субклеточных структур, работоспособности и устойчивости организма к большим физическим нагрузкам.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в соответствии с проектом № 544 в рамках базовой части государственного задания на НИР Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Зайцева И.П. Элементный профиль волос девушек-спортсменок. Микроэлементы в медицине. 2013. Т. 14. Вып. 3. С. 36–39.

(Zaitseva I.P. [Hair element profile of female athletes]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2013, 14(3):36–39 (in Russ.)).

Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука. 2008. 544 с.

(Oberleas D., Harland B., Skalny A. [Biological role of macro and trace elements in man and animals]. Saint-Petersburg, 2008 (in Russ.)).

Орджоникидзе З.Г., Катулин А.Н., Скальный А.В. Особенности элементного состава волос профессиональных футболистов. Микроэлементы в медицине. 2003. Т.4. Вып.4. С. 25–29.

(Ordzhonikidze G.Z., Katulin A.V., Skalny A.V. [Particularities of hair elemental composition in professional football players]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2003, 4(4):25–29 (in Russ.)).

Скальный А.В. Физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в спорте. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ. 2005. 210 с.

(Skalny A.V. [Physiological aspects of macro- and trace element application in sports]. Orenburg. 2005 (in Russ.)).

Скальный А.В., Орджоникидзе З.Г., Катулин А.Н. Питание в спорте: макро- и микроэлементы. М.: ОАО «Издательский дом Городец». 2005. 144 с.

(Skalny A.V., Ordzhonikidze G.Z., Katulin A.V. [Nutrition in sports: macro- and trace elements]. Moscow. 2005 (in Russ.)).

Braetzer P., Hrsbg. Biesalski H.K., Koehle J., Schuemann K. Auswahl und Zugänglichkeit von Probenmaterial zur Bestimmung von Spurenelemente. Vitamine, Spurenelemente und Mineralstoffe. Prävention und Therapie mit Mikronährstoffen. Stuttgart: Thieme, 2002. S. 682-687.

Grantham-McGregor S.M., Ani C.C. The role of micronutrients in psychomotor and cognitive development. Brit. Med. Bull. 1999. 3:511-527.

Herausb von C.Krause, und Chutsch M. Haaranalyse in Medizin und Umwelt. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag. 1987. 223 s.

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. 59(2):413–8.

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):872–3.

Lippi G., Franchini M., Guidi G.C. Blood doping by cobalt. Should we measure cobalt in athletes?. J Occup Med Toxicol. 2006. 1:18.

McClung J.P., Gaffney-Stomberg E., Lee J.J. Female athletes: A population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance. J Trace Elem Med Biol. 2014. doi: 10.1016/j.jtemb.2014.06.022.

Passwater R.A., Cranton E.M. Trace elements, hair analysis and nutrition. New Canaan: Keats Publ. 1983. 420 p.

Sandstead H.H. Human zinc deficiency. FASEB Journal. 1997. 3:360.

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.

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.

Swinkels J.W.G.M., Kornegay E.T., Verstegen M.W.A. Biology of zinc and biological value of dietary organic zinc complexes and chelates. Nutr. Res. Rev. 1994. 7:129–149.

Volpe S.L., Nguyen H. Vitamins, Minerals, and Sport Performance. In: Maughan R.J. (ed) The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication. 2013. Vol. 19. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.

---

## **EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY ON THE HAIR CONTENT OF MACRO AND TRACE ELEMENTS IN YOUNG WOMEN**

*I.P. Zaitseva*

P.G. Demidov Yaroslavl State University, Sovetskaya str. 14, Yaroslavl, 150000, Russia; E-mail: irisha-zip@yandex.ru

**ABSTRACT:** The effect of different levels of physical activity on the hair content of macro and trace elements in young women was studied. The study involved 59 clinically healthy female students (18–22 y.o.) studying at the P.G. Demidov Yaroslavl State University (Yaroslavl, Russia). All students were divided into 3 groups: I – high physical activity (at least 4 times a week training in sports clubs); II – medium (visit the fitness groups 2–3 times a week); III – moderate (physical exercise according to university educational plan). It was shown that physical activity changes the content of macro and trace elements in the hair in different directions. Thus, in case of essential trace elements, high physical load is associated with Co, Fe, Mn increase, and Zn decrease. As for toxic and conditionally toxic trace elements, there is an increase of hair Al, Cd, Sb, Sn, with a simultaneous decrease of Hg. Regarding macro elements, there observed an increase of Ca, Mg. And in relation to conditionally essential trace elements – a Ni and V decrease. There was concluded the possible relationship of high physical activity, on the one hand, with an increased intake of various trace elements with food and water and, accordingly, their induction of excretion, and on the other hand, with an increased requirement for some essential and conditionally essential trace elements.

**KEYWORDS:** macro elements, trace elements, hair, young women, athletes, physical activity.