

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ГЕНДЕРНОЕ ВЛИЯНИЕ НА СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ И В ВОЛОСАХ У ЛИЦ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

И.П. Зайцева^{1*}, О.Н. Зайцев²¹ Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 150000, г. Ярославль, ул. Советская, 14² Ярославский государственный технический университет, 150023, г. Ярославль, Московский просп., 88

РЕЗЮМЕ. Проведено исследование взаимосвязи гендерного фактора и содержания макроэлементов (кальция, калия, магния, натрия, фосфора) в сыворотке крови и волосах лиц с различным уровнем физической активности. Показана большая значимость гендерного фактора в изменении содержания исследуемых макроэлементов в волосах в сравнении с уровнем физической активности. Подобной зависимости для сыворотки крови обнаружить не удалось. Выявлена прямо пропорциональная зависимость сывороточного содержания кальция ($k^w p = 0,037$) и магния ($k^w p = 0,048$) с уровнем физической активности. Проведенный двухфакторный анализ влияния гендерного фактора и уровня физической активности на содержание кальция сыворотки крови показал статистически значимый эффект ($p = 0,060$) только для гендерного фактора. Большой процент объясняемой дисперсии для указанной дисперсионной модели в случае волос позволяет говорить о меньшей прогностической значимости сыворотки в отношении динамики уровня кальция при сочетании изучаемых факторов (гендерного фактора и уровня физической активности). Во всех проверенных моделях для разных макроэлементов влияние члена, отражающего взаимодействие факторов, было незначимым, что характеризует взаимную независимость эффектов гендерного фактора и уровня физической активности. При этом наиболее значимые различия для большинства анализируемых элементов в волосах у юношей и девушек были выявлены в группе с высоким уровнем физической активности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: макроэлементы, уровень физической активности, гендерный фактор, волосы, сыворотка крови.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности гормонального статуса мужского и женского организма вносят существенные коррективы в адаптивные перестройки метаболизма в ответ на физические нагрузки различного уровня. Несмотря на значительное количество работ в области спортивной физиологии в отношении обеспеченности организма спортсменов макро- и микронутриентами, существующие данные во многом противоречивы (Зайцева, 2016; Скальный и др., 2018). Также противоречивы данные и по обмену эссенциальных и токсичных микроэлементов при больших физических нагрузках (Speich et al., 2001; Volpe, Nguyen, 2013). При этом доказана важнейшая роль макро- и микронутриентов в питании

спортсменов, а, соответственно, и в реализации спортивной деятельности, особенно в видах спорта на выносливость (Heffernan et al., 2019). Показана значимость уровня кальция и магния в функциональном состоянии спортсменов (Иорданская, Цепкова, 2009; Громова и др., 2016).

Цель исследования – изучение взаимосвязи гендерного фактора с содержанием макроэлементов в сыворотке крови и волосах лиц с различным уровнем физической активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 115 клинически здоровых студентов вузов г. Ярославля в возрасте (18–22 года). Все обследуемые дали письменное информированное согласие на уча-

* Адрес для переписки:
Зайцева Ирина Петровна
E-mail: irisha-zip@yandex.ru

стие в исследовании. Протокол исследования одобрен этическим комитетом ФГБОУ ВО ЯрГУ им. П.Г. Демидова.

Все студенты были распределены на три группы:

1) с низким уровнем физической активностью (НУФА), в которую вошли лица, не привлеченные к спортивной деятельности на постоянной основе;

2) со средним уровнем физической активности (СУФА), включающая студентов, посещающих занятия физической культурой в рамках учебной программы дважды в неделю и 2-3-разовые тренировки в неделю при занятиях борьбой самбо и фитнес-аэробикой (ФА);

3) с высоким уровнем физической активности (ВУФА), состоящая из спортсменов от I разряда до мастера спорта, занимающихся 4 раза в неделю в спортивных секциях.

Исследование содержания макроэлементов в биоиндикаторных субстратах организма – сыворотке крови и волосах, проводили в АНО «Центр биотической медицины» (Москва). Уровни кальция, калия, магния, натрия, фосфора определяли методом ИСП-МС на приборе Nexion 300 D+NWR213 (PerkinElmer, США).

Полученные данные обрабатывали с использованием пакета статистических программ STATISTICA 13.0 (StatSoft Inc., США). Погрупповое сравнение данных оценивали по U-критерию Манна–Уитни. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Для определения зависимостей между содержанием исследуемых макронутриентов, гендерным фактором и уровнем физической активности проводили корреляционный анализ Спирмена. Вклад исследуемых факторов в изменение уров-

ня макроэлементов в исследуемых биообъектах оценивали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа зависимости между уровнем физической активности (фиксированный фактор, 3 градации), полом (фиксированный фактор, 2 градации) и содержанием макроэлементов (зависимая переменная) в исследуемом биоматериале юношей и девушек.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из данных, представленных в табл. 1, гендерный фактор вносил более существенный вклад в изменение содержания макроэлементов в волосах обследуемых, по сравнению с уровнем физической активности. При этом, если в группе ВУФА содержание всех исследуемых макроэлементов в волосах достоверно различалось у девушек и юношей, то в группе СУФА статистически значимые отличия отмечались, лишь в отношении кальция и магния. Следует отметить, что у лиц с НУФА гендерные отличия по содержанию макроэлементов наблюдались в отношении кальция, калия, магния и натрия.

Проведение подобного сравнительного анализа влияния гендерного фактора на уровень исследуемых макроэлементов сыворотки крови не выявило достоверных отличий.

Анализ влияния фактора уровня физической активности на макроэлементный спектр сыворотки крови у юношей и девушек установил, что у юношей его вклад более выражен и прямо пропорционально зависел от уровня физической активности (табл. 2).

Так, сывороточная концентрация кальция в группе ВУФА статистически значимо превышала его уровень группы НУФА на 4%.

Таблица 1. **Уровень значимости (p) различий содержания макроэлементов в волосах юношей и девушек в зависимости от уровня физической активности**

Элемент	Уровень физической активности		
	Высокий	Средний	Низкий
Ca	0,001	0,002	0,001
K	0,008	0,054	0,044
Mg	<0,001	0,002	0,001
Na	0,002	0,301	0,020
P	0,007	0,937	0,877

Примечание: уровень значимости приводится по результатам U-теста Манна–Уитни

Таблица 2. Содержание эссенциальных макроэлементов (мкг/мл) в сыворотке крови студентов с различным уровнем физической активности

Элемент	Уровень физической активности			K^W_p
	Высокий (n=21)	Средний (n=20)	Низкий (n=18)	
Ca	100,8(98,4–108,2)	96,0 (89,0–106,4)	96,8 (93,5–98,2) *	0,037
K	175(167–197)	181 (162–196)	175 (163–180)	0,636
Mg	21,9(20,2–22,9)	21,9 (19,7–22,6)	20,7 (18,8–21,4) *	0,048

Примечание: данные представлены в виде медианы и соответствующих значений 25-го и 75-го перцентилей; * – достоверность по сравнению с группой высокой физической активности; K^W_p – достоверность тренда в соответствии с результатами теста Краскела–Уоллиса

Таблица 3. Результат двухфакторного дисперсионного анализа эффектов гендерного фактора и уровня физической активности на содержание кальция в сыворотке крови и волосах

Источник вариации	Сумма квадратов	Средняя сумма квадратов	df	F	p	Коэффициент детерминации R ²
<i>Зависимая переменная – содержание кальция в сыворотке крови</i>						
Физическая активность	197,53	98,77	2	2,14	0,126	0,171
Пол	255,25	255,25	1	5,53	0,021	
Физическая активность и пол	155,88	77,94	2	1,69	0,193	
Свободный член	2955,70	46,18	64	–	–	
<i>Зависимая переменная – содержание кальция в волосах</i>						
Физическая активность	6233902	3116951	2	2,94	0,060	0,365
Пол	27396530	27396530	1	25,88	<0,001	
Физическая активность и пол	2200319	1100160	2	1,04	0,360	
Свободный член	62452177	1058511	59	–	–	

Аналогичная ситуация отмечалась и в отношении магния и составила 6%. Таким образом, было установлено, что повышение уровня физической активности достоверно коррелирует с увеличением концентрации кальция ($K^W_p = 0,037$) и магния ($K^W_p = 0,048$).

Поскольку уровень физической нагрузки значимо влиял на изменение содержания кальция в исследуемых биообъектах, был проведен двухфакторный дисперсионный анализ влияния гендерного фактора и фактора физической нагрузки на его содержание в сыворотке крови и волосах. Как видно из данных, представленных в табл. 3, процент объясняемой дисперсии для указанной

дисперсионной модели в случае волос был практически в 2 раза больше по сравнению с сывороткой крови, что говорит о меньшей прогностической значимости сыворотки для предсказания эффектов гендерного фактора и уровня физической активности на изменение уровня кальция. Важно отметить, что во всех проверенных моделях для исследованных макроэлементов влияние члена, отражающего взаимодействие факторов, было незначимым, что характеризует взаимную независимость эффектов пола и уровня физической активности.

Таким образом, полученные результаты подтверждают полученные ранее данные о тен-

денции к увеличению уровня электролитов у спортсменов (Зайцева, 2015) и согласуются с результатами других авторов (Раджаббадиев и др., 2021; Wardenaar et al., 2017), несмотря на указания о неадекватном их поступлении у тренирующихся лиц независимо от возраста (Pašalić et al., 2015). Безусловно, молекулярные механизмы, лежащие в основе повышения уровня макроэлементов, и в частности кальция, у спортсменов требуют дальнейшего изучения. Одним из важных факторов может быть показанная теснейшая взаимосвязь мышечной деятельности и костной системы (John, Anderson, 2000), напрямую связанную, как с поступлением в организм кальция с пищей, так и его реабсорбцией в почках и использования резервного кальция костной ткани.

Следует отметить, что сравнительный анализ содержания макроэлементов у юношей и девушек в сыворотке крови и волосах продемонстрировал зависимость различий от уровня физической активности обследуемых. Более того, повышение уровня физической активности достоверно сопровождалось увеличением концентрации кальция в сыворотке крови, что согласуется с данными Иорданской с соавт. (2009), которые рассматривают уровень этого элемента в крови как дополнительный показатель оценки функционального состояния спортсменов. При этом нельзя не учитывать и выявленное нами влияние гендерного фактора на уровень макроэлементов в организме лиц с различным уровнем физической активности. С учетом влияния физической активности на основной обмен в организме (Harada, 1985), подобная взаимосвязь может быть следствием различной степени активации метаболических процессов в организме девушек и юношей вследствие различий гормонального статуса. Учитывая роль половых гормонов в регуляции обмена микроэлементов, например, эстрогенов в обмене меди посредством влияния на транспортеры Ctr1 и ATP7A

(Crisponi et al., 2010), или секрецию гепсидина (Yang et al., 2012), можно справедливо предположить, что индуцированные физической нагрузкой изменения гормонального профиля могут опосредовать более выраженные половые различия в индикаторах обмена макроэлементов. Тем более, что у спортсменов повышение уровня половых стероидов отмечается лишь при интенсивной физической нагрузке (Sato et al., 2016).

Выявленные гендерные различия изменения содержания эссенциальных макроэлементов у лиц с различным уровнем физической активности могут, по крайней мере, частично, обуславливать показанную ранее разницу в выносливости у спортсменов женского и мужского пола (Зайцева, Зайцев, 2019), в том числе и вследствие различной степени выраженности молекулярных механизмов реализации их биологических функций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе проведенного исследования, существенно расширяют представление о роли гендерных факторов и макроэлементов в адаптации организма к физической нагрузке различного уровня.

Показанная большая значимость гендерного фактора в изменении содержания исследуемых макроэлементов в сравнении с уровнем физической активности требует различного подхода к макронутриентной коррекции у спортсменов в женских и мужских группах. Выявленная прямо пропорциональная зависимость сывороточного содержания кальция ($^{KW}p = 0,037$) и магния ($^{KW}p = 0,048$) с уровнем физической активности диктует целесообразность их оценки у спортсменов в процессе спортивной деятельности. А своевременное выявление и коррекция макронутриентных сдвигов, способных привести к срыву процесса адаптации к физической нагрузке, позволит повысить эффективность спортивной деятельности и снизить риск заболеваемости и травм.

ЛИТЕРАТУРА

- Скальный А.В., Зайцева И.П., Тиньков А.А. Микроэлементы и спорт. Персонализированная коррекция элементного статуса спортсменов: монография / под ред. А.В. Скального. М.: Спорт. 2018; 288 с.
- Громова О.А., Егорова Ю.Е., Торшин Ю.И., Громов А.Н., Гоголева И.В. О роли магния в спортивной медицине. Российский медицинский журнал. 2016. 24(9): 560-571.
- Зайцева И.П. Влияние физической нагрузки на содержание макро- и микроэлементов в волосах девушек. Микроэлементы в медицине. 2015; 16(1): 36-40.
- Зайцева И.П., Березкина Е.С., Скальный А.В. Влияние регулярных занятий спортом на концентрацию макронутриентов и минеральный состав крови. Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2016; 102(1): 89-99.
- Зайцева И.П., Зайцев О.Н. Изучение влияния физической нагрузки на содержание химических элементов в волосах спортсменов (борцов). Физиология человека. 2019; 45(1): 1-7.

Иорданская Ф.А., Цепкова Н.К. Кальций в крови: диагностическое и прогностическое значение в мониторинге функционального состояния высококвалифицированных спортсменов. Вестник спортивной науки. 2009; 3: 33-35.

Раджабкадиев Р.М., Вржесинская О.А., Коденцова В.М. Содержание некоторых минеральных веществ в рационе питания и сыворотке крови высококвалифицированных спортсменов. Микроэлементы в медицине. 2021; 20(1): 27-34.

Anderson J.J. The important role of physical activity in skeletal development: how exercise may counter low calcium intake. Am. J. Clin. Nutr. 2000; 71(6): 1384-1386.

Crisponi G., Nurchi V.M., Fanni D., Gerosa C., Nemolato S, Faa G. Copper-related diseases: From chemistry to molecular pathology. Coordination chemistry reviews. 2010; 254(7-8): 876-889.

Harada K., Sakai T. Effects of endurance moderate physical training on basal metabolism of young adult rats. Nihon Seirigaku Zasshi. 1985; 47(5): 213-218.

Heffernan S.M., Horner K., De Vito G., Conway G.E. The role of mineral and trace element supplementation in exercise and athletic performance: a systematic review. Nutrients. 2019; 11(3): 696.

Pašalić, A., Jusupovic, F., Rudić, A., Mahmutović, J., Branković, S., Jaganjac, A. Habits of fluid and electrolytes intake in elite athletes. Journal of Health Sciences. 2015; 5(1): 15-18.

Sato K., Iemitsu M., Katayama K., Ishida K., Kanao Y., Saito M. Responses of sex steroid hormones to different intensities of exercise in endurance athletes. Exp. Physiol. 2016; 101(1): 168-175.

Speich M., Pineau A., Ballereau F. Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. Clin. Chim. Acta. 2001; 312(1-2): 1-11.

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

Wardenaar F., Brinkmans N., Ceelen I., Van Rooij B., Mensink M., Wikamp R., De Vries J. Micronutrient Intakes in 553 Dutch Elite and Sub-Elite Athletes: Prevalence of Low and High Intakes in Users and Non-Users of Nutritional Supplements. Nutrients. 2017; 9(2): 142.

Yang Q., Jian J., Katz S., Abramson S.B., Huang X. 17 β -Estradiol inhibits iron hormone hepcidin through an estrogen responsive element half-site. Endocrinology. 2012; 153(7): 3170-3178.

THE IMPACT OF PHYSICAL ACTIVITY AND GENDER ON MINERAL LEVELS IN DIFFERENT BIOLOGICAL SUBSTANCES

I.P. Zaitseva¹, O.N. Zaitsev²

¹ Demidov Yaroslavl State University,
14, Sovetskaya str., Yaroslavl, 150000, Russian Federation

² Yaroslavl State Technical University,
88, Moskovsky ave., Yaroslavl, 150023, Russian Federation

ABSTRACT. The relationship between gender and content of macro elements (Ca, K, Mg, Na, P) in blood serum and hair of individuals with different levels of physical activity was studied. It was shown that gender is more important for the hair content of the studied macro elements in comparison with physical activity level. Such dependence was not found for blood serum. A directly proportional dependence of serum Ca ($k_{wp} = 0,037$), Mg ($k_{wp} = 0,048$) content from physical activity level was revealed. A two-factor analysis of the effect of gender and physical activity level on serum Ca content showed a statistically significant impact ($p = 0.060$) only for gender. A larger percentage of explained variance for the specified dispersion model in the case of hair suggests a lower predictive value of serum in relation to changes of Ca level when the studied factors (gender and physical activity level) are combined. In all tested models for different macro elements, the influence of the term reflecting the interaction of factors was insignificant, which demonstrates mutual independence of the effects of gender and physical activity level. At the same time, the most significant differences for most of the analyzed elements in hair of boys and girls were found in the group with high physical activity.

KEYWORDS: macro elements, minerals, physical activity level, gender, hair, blood serum.

REFERENCES

Gromova O.A., Egorova E.Yu., Torshin I.Yu., Gromov A.N., Gogoleva I.V. Magnesium and its importance for sports medicine. Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal. 2016. 24(9): 560-571. (in Russ.)

Iordanskaja F.A., Cepakova N.K. Blood calcium: diagnostic and prognostic value of functional condition monitoring of highly skilled athletes. Vestnik sportivnoy nauki. 2009; 3: 33-35. (in Russ.)

Radzhabkadiyev R.M., Vrzhesinskaya O.A., Kodentsova V.M. Content of some minerals and iron in the food ration and the blood serum of professional athletes. *Mikroelementy v meditsine*. 2021; 20(1): 27-34. (in Russ.)

Skalny A.V., Zaitseva I.P., Tinkov A.A. Mikroelementy i sport. Personalizirovannaya korrektsiya elementnogo statusa sportsmenov: monografiya / ed. by A.V. Skalny. Moscow: Sport. 2018; 288 p. (in Russ.)

Zaitseva I.P. Effect of physical activity on the hair content of macro and trace elements in young women. *Mikroelementy v meditsine*. 2015; 16(1): 36-40. (in Russ.)

Zaitseva I.P., Berezkina E.S., Skalny A.V. The effect of regular exercise on the blood concentration of micronutrients and minerals. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2016; 102(1): 89-99. (in Russ.)

Zaitseva I.P., Zaitsev O.N. The influence of professional physical activity on the element status in the hair of young athletes (wrestlers). *Fiziologiya cheloveka*. 2019; 45(1): 1-7. (in Russ.)

Anderson J.J. The important role of physical activity in skeletal development: how exercise may counter low calcium intake. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000; 71(6): 1384-1386.

Crisponi G., Nurchi V.M., Fanni D., Gerosa C., Nemolato S, Faa G. Copper-related diseases: From chemistry to molecular pathology. *Coordination chemistry reviews*. 2010; 254(7-8): 876-889.

Harada K., Sakai T. Effects of endurance moderate physical training on basal metabolism of young adult rats. *Nihon Seirigaku Zasshi*. 1985; 47(5): 213-218.

Heffernan S.M., Horner K., De Vito G., Conway G.E. The role of mineral and trace element supplementation in exercise and athletic performance: a systematic review. *Nutrients*. 2019; 11(3): 696.

Pašalić, A., Jusupovic, F., Rudić, A., Mahmutović, J., Branković, S., Jaganjac, A. Habits of fluid and electrolytes intake in elite athletes. *Journal of Health Sciences*. 2015; 5(1): 15-18.

Sato K., Iemitsu M., Katayama K., Ishida K., Kanao Y., Saito M. Responses of sex steroid hormones to different intensities of exercise in endurance athletes. *Exp. Physiol.* 2016; 101(1): 168-175.

Speich M., Pineau A., Ballereau F. Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. *Clin. Chim. Acta*. 2001; 312(1-2): 1-11.

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

Wardenaar F., Brinkmans N., Ceelen I., Van Rooij B., Mensink M., Wikamp R., De Vries J. Micronutrient Intakes in 553 Dutch Elite and Sub-Elite Athletes: Prevalence of Low and High Intakes in Users and Non-Users of Nutritional Supplements. *Nutrients*. 2017; 9(2): 142.

Yang Q., Jian J., Katz S., Abramson S.B., Huang X. 17 β -Estradiol inhibits iron hormone hepcidin through an estrogen responsive element half-site. *Endocrinology*. 2012; 153(7): 3170-3178.