

СВЯЗЬ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ОБМЕНА ЦИНКА И СЕЛЕНА У ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

А.А. Скальный

ассистент, кафедра медицинской элементологии, Медицинский институт,
Российский университет дружбы народов (Москва, Россия)
E-mail: skalny.pfur@yandex.ru

Цель исследования. Изучение влияния физических нагрузок и дополнительного введения цинка на уровень цинка и селена у крыс.

Материал и методы. Исследование проведено на 32 крысах-самцах Вистар, которые были разделены на четыре группы: 1) контрольная, 2) крысы, подвергавшиеся физической нагрузке, 3) крысы, получавшие цинк (15 мг/кг массы тела в виде цинка аспарагината), 4) крысы, подвергавшиеся физической нагрузке и получавшие цинк. Содержание цинка и селена в органах и тканях животных оценивали с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС).

Результаты. Показано, что физическая нагрузка значительно снижала концентрацию цинка в скелетной мышце и шерсти, а селена – в печени, сердечной мышце, скелетной мышце и почках крыс. В то же время физическая нагрузка приводила к повышению содержания цинка в почках, а селена – в сыворотке крови и шерсти крыс. Дополнительное введение цинка повышало содержание цинка в печени, почках, сердечной мышце и шерсти у крыс, подвергавшихся физической нагрузке. Также у этой группы животных отмечено повышение запасов селена.

Выводы. Дополнительное введение цинка оказывало положительное влияние на организм крыс при физической нагрузке. Это может быть связано не только с изменением обмена цинка, но и с регуляцией обмена селена, а также их биологических эффектов.

Ключевые слова: цинк, селен, физическая активность, аспарагинат, ИСП-МС.

Для цитирования: Скальный А.А. Связь физической активности с показателями обмена цинка и селена у экспериментальных животных. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021;24(4):45–50. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-04-07>

Цинк (Zn) необходим для широкого спектра метаболических и физиологических процессов в организме человека, особенно спортсменов [1]. Поэтому поддержание гомеостаза цинка необходимо для нормального функционирования организма [2]. Соединения цинка являются одной из наиболее часто потребляемых добавок у спортсменов [3]. Однако существующие данные об изменениях концентрации этого элемента в тканях в ответ на физическую нагрузку противоречивы [4]. В частности, одни исследования показали развитие дефицита цинка у спортсменов [5], тогда как другие не выявили существенных изменений уровня данного микроэлемента [6]. В некоторых исследованиях отмечено повышение содержания цинка в тканях после высокой физической нагрузки [7].

Ряд ранее опубликованных работ показывают тесную взаимосвязь между метаболизмом цинка и селена [8]. Клинические [9] и экспериментальные [10] исследования демонстрируют возможность изменения элементного статуса у физически ак-

тивных субъектов с помощью дополнительного приема цинка. Однако имеющиеся данные противоречивы и недостаточны.

Цель исследования – изучение влияния физической нагрузки и дополнительного введения аспарагината цинка на уровень цинка и селена у крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте использовали 32 самца трехмесячных крыс Вистар. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом; исследования проведены в соответствии с руководством Национального института здоровья по уходу и использованию лабораторных животных (Публикации НИЗ № 8023, пересмотренные в 1978 г.). Животные акклиматизировались к лабораторным условиям за 14 дней до начала эксперимента. Температура в помещении для животных составляла 23 ± 1 °C при 12-часовом световом цикле. Всем крысам скармливали стандартный лабораторный

корм ПК-120 (ООО «Лабораторкорм», Москва, Россия), содержащий 307 ккал/100 г (20% белка, 70% углеводов, 10% жира). Животные имели свободный доступ к пище и питьевой воде с общей минерализацией менее 250 мг/л. Данные по содержанию микроэлементов в корме и в питьевой воде представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание цинка и селена в корме и питьевой воде

Элемент	Корм, мкг/г	Питьевая вода, мкг/мл
Цинк	1,18 ± 0,20	0,235 ± 0,064
Селен	0,169 ± 0,035	0,009 ± 0,001

Примечание: данные представлены в виде средних значений и соответствующих стандартных отклонений.

Животные с одинаковой массой тела были разделены на четыре группы по 8 особей в каждой:

К – контрольные животные, которые потребляли стандартный корм и чистую питьевую воду;

ZnA – крысы, получавшие аспарагинат цинка, ежедневно 15 мг/кг массы тела. Аспарагинат цинка в смеси с крахмалом животным вводили внутривентрикулярно (в 10.00 утра) с использованием силиконовых гибких катетеров;

ФН – крысы, подвергавшиеся физической нагрузке (бег на беговой дорожке (Columbus instruments, Columbus, OH, США) в течение 10 мин. Скорость беговой дорожки была установлена на уровне 23 м/мин с углом наклона в 10 градусов;

ФН+ZnA – крысы, подвергавшиеся физической нагрузке и получавшие аспарагинат цинка за 40 мин до физической нагрузки.

Все процедуры проводили ежедневно в течение двух недель.

После проведения эксперимента кровь забирала путем венесекции яремной вены с последующим отделением сыворотки. Печень, почки, сердце и мышцу крыс (*m. gastrocnemius*) также собирали, отделяли от соединительной ткани и промывали ледяным физиологическим раствором. Шерсть была собрана с холки. Полученные образцы использовали для последующего анализа на содержание элементов.

Образцы шерсти промывали ацетоном и трижды промывали дистиллированной деионизированной водой с последующей сушкой при 60 °С на воздухе. Сыворотку разбавляли подкисленным разба-

вителем (1:15 в/в), содержащим 1% 1-бутанола (Merck KGaA, Германия), 0,1% Triton X-100 (Sigma-Aldrich, США) и 0,07% HNO₃ (Sigma-Aldrich, США) в дистиллированной деионизированной воде.

Образцы органов (50 мг), шерсти (100 мкг) и разбавленной сыворотки крови крыс помещали в тефлоновые трубки и добавляли концентрированную HNO₃ с последующим сжиганием в микроволновой системе «Berghof speed wave four» (Berghof, Германия) в течение 20 мин при температуре 180 °С. После охлаждения полученные образцы использовали для анализа. Содержание элементов в исследуемых субстратах оценивали с помощью автосамплера «NexION 300D» (Perkin Elmer Inc., США), оснащенного автосамплером «ESISC-2 DX4» (Elemental Scientific Inc., США). Калибровку системы проводили с использованием 0,5, 5, 10 и 50 мг/л растворов исследуемых элементов, приготовленных из Универсального набора стандартов сбора данных (Perkin Elmer Inc., США) путем добавления дистиллированной деионизированной воды, подкисленной 1% HNO₃.

Внутреннюю он-лайн стандартизация выполняли с использованием изотопа иттрия (⁸⁹Y) – чистого одноэлементного стандарта иттрия (Perkin Elmer Inc., США). Лабораторный контроль качества проводили с использованием сертифицированных эталонных материалов волос (GBW09101; Шанхайский институт ядерных исследований, Китай) и сыворотки крови (ClinCheck Plasma Control, лот 129, уровни 1 и 2; RECIPE Chemicals + Instruments GmbH, Германия). Показатели уровней определения всех изученных элементов превышали 80%.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программы Statistica 10.0 (Statsoft, США). Нормальность данных оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Поскольку распределение не было нормальным, данные были выражены в виде медианы и соответствующих значений 25 и 75 перцентилей. Для нормализации выполнялось log-преобразование первичных данных. Групповые сравнения проводили с использованием двухфакторного дисперсионного анализа ANOVA с критерием наименьшей значимости Фишера. Достоверность различий с контролем считали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние дополнительного введения цинка и физической нагрузки на содержание цинка и селена в органах, шерсти и сыворотке крови экспериментальных животных

Группа	Цинк	Селен
<i>Печень, мг/г</i>		
К	30,3(24,4–31,5)	0,65(0,64–0,67)
ZnA	34,8(31,4–40,1)*	0,863(0,73–0,84)*
ФН	30,4(29,3–32,1)	0,55(0,53–0,62)**
ФН+ZnA	39,2(38,0–45,7)*,***	0,94(0,89–1,06)*,**,***
<i>Скелетная мышца, мг/г</i>		
К	9,7(6,7–10,2)	0,12(0,11–0,12)
ZnA	10,1(8,1–12,9)	0,15(0,13–0,15)*
ФН	8,9(8,5–10,0)	0,11(0,10–0,11)*, **
ФН+ZnA	10,2(9,4–10,4)	0,15(0,15–0,17)*, ***
<i>Почки, мг/г</i>		
К	18,7(18,2–19,9)	1,2(1,2–1,4)
ZnA	20,1(19,4–21,4)	1,3(1,1–1,4)
ФН	22,9(22,2–23,3)*,***	1,0(0,9–1,1)*,***
ФН+ZnA	25,9(25,2–26,2)*,***,***	1,9(1,3–1,8)*,***,***
<i>Сердечная мышца, мг/г</i>		
К	17,0(16,4–17,9)	0,31(0,305–0,33)
ZnA	16,4(16,0–16,5)	0,33(0,31–0,35)
ФН	16,4(16,0–16,9)	0,22(0,20–0,24)*,***
ФН+ZnA	20,5(20,0–22,3)*,***,***	0,36(0,34–0,39)*,***,***
<i>Шерсть, мг/г</i>		
К	149,0(143,0–159,0)	0,24(0,22–0,24)
ZnA	147,5(136,0–151,0)	0,26(0,25–0,28)
ФН	148,8(142,7–149,3)	0,27(0,25–0,28)*
ФН+ZnA	216,4(197,1–217)*,***,***	0,36(0,32–0,38)*,***,***
<i>Сыворотка крови, мг/мл</i>		
К	1,2(0,9–1,4)	0,45(0,42–0,48)
ZnA	1,6(1,6–1,8)*	0,51(0,48–0,51)
ФН	1,7(1,4–2,1)*	0,97(0,86–1,028)*,***
ФН+ZnA	1,6(1,4–1,9)*	0,93(0,87–0,98)*,***

Примечание: * – достоверная разница по сравнению с группой К ($p < 0,05$); ** – достоверная разница по сравнению с группой ZnA ($p < 0,05$); *** – достоверная разница по сравнению с группой ФН ($p < 0,05$).

Печень. Полученные данные свидетельствуют о том, что у крыс, подвергнутых физической нагрузке, не наблюдалось достоверного изменения уровня цинка в печени по сравнению с контрольными значениями (табл. 2).

В то же время содержание этого элемента в печени крыс с добавлением аспарагината цинка как при низкой, так и при высокой физической

нагрузке достоверно превышало контрольные значения на 15 и 30% соответственно. Выявлено влияние дополнительного введения цинка на уровень данного металла в печени экспериментальных животных, в то время как физическая нагрузка существенно не влияла на этот параметр.

Результаты исследования продемонстрировали, что уровень селена печени животных с физиче-

ской нагрузкой достоверно не отличался от такового у контрольных крыс. Содержание селена в группах ФН+ZnA и ZnA достоверно превышало соответствующие контрольные значения на 44 и 27%. Показано, что концентрация селена в печени крыс значительно зависит от введения цинка и взаимодействия двух факторов – физической нагрузки и дополнительного введения цинка (см. табл. 2).

Скелетная мышца. Полученные данные свидетельствуют об относительной стабильности содержания исследуемых микроэлементов в мышцах. Так, на уровень цинка не влияли ни изучаемые факторы, ни их взаимодействие. (см. табл. 2).

Нагрузка бегом привела к снижению содержания селена в мышцах по сравнению с нетренированными животными – на 8%. Однако концентрация металлоида в скелетных мышцах крыс, получавших цинк, как при низкой, так и при высокой физической нагрузке достоверно превышала контрольные значения на 26 и 27% соответственно. Продемонстрировано достоверное влияние введения цинка и взаимодействия обоих факторов (ФН и ZnA) на содержание селена в скелетной мышце крыс.

Почки. Исследуемые факторы оказали значительное воздействие на содержание микроэлементов в почечной ткани. Концентрация цинка в почках крыс в группах ФН и ФН+ZnA была достоверно выше, чем в контрольной группе на 22 и 38% соответственно. Отмечено достоверное влияние как физических нагрузок, так и введения цинка на содержание цинка и селена экспериментальных животных (см. табл. 2).

Уровень селена в почках у крыс с физической нагрузкой был на 18% ниже соответствующих контрольных значений. В то же время вызванное физической нагрузкой снижение селена в почках было восстановлено добавлением цинка. Показано, что введение цинка и сочетанное действие физической нагрузки и введения цинка достоверно влияют на этот параметр.

Сердечная мышца. Полученные в результате исследования данные свидетельствуют о том, что на уровень цинка миокарда существенно не влияли физические нагрузки или дополнительный прием цинка. Уровень цинка в сердечной мышце в группе ФН+ZnA достоверно превышал контрольные значения на 20%. Однако двухфакторный дисперсионный анализ выявил достоверное влияние всех изученных факторов и их взаимодействия

на концентрацию металла в сердечной мышце (см. табл. 2).

Концентрация селена у физически нагруженных крыс была достоверно ниже контрольного уровня на 28%. В то же время снижение уровня селена, вызванное физической нагрузкой, было скорректировано добавлением цинка, что привело к повышению уровня селена у животных группы ФН+ZnA на 61% по сравнению с крысами, подвергнутыми физической нагрузке. Показано достоверное влияние всех факторов и их взаимодействия на содержание селена в сердечной мышце крыс.

Шерсть. Результаты исследования свидетельствуют о том, что физические нагрузки и получение дополнительного цинка приводили к существенным изменениям уровней микроэлементов в шерсти крыс (см. табл. 2).

Содержание цинка в шерсти животных, подвергнутых физической нагрузке (ФН) и крыс в группе, получавшей цинк (ZnA), не изменялось по сравнению с показателями контрольных животных. Наряду с этим концентрация металла у крыс группы ФН+ZnA достоверно превышала контрольные значения на 45%. Однако по данным двухфакторного дисперсионного анализа, влияние всех факторов на содержание цинка достоверно.

Содержание селена в шерсти крыс групп ФН и ФН+ZnA достоверно превышало соответствующие контрольные значения на 14 и 53% соответственно. Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ также выявил значительное влияние всех изученных факторов на уровень селена в шерсти.

Сыворотка крови. Полученные данные свидетельствуют о достоверном влиянии исследуемых факторов на содержание микроэлементов в сыворотке крови (см. табл. 2). Сывороточный цинк в группах ФН и ФН+ZnA достоверно превышал контрольные значения на 46 и 24% соответственно. Концентрация исследуемого металла в сыворотке крови крыс, дополнительно получавших цинк, с низкой физической активностью (ZnA) также была повышена на 37%. Выявлено достоверное влияние взаимодействия двух факторов – физической нагрузки и дополнительного введения цинка, на уровень металла.

Физическая нагрузка сама по себе и в сочетании с дополнительным введением цинка приводили к почти двукратному увеличению концентрации селена в сыворотке крови по сравнению с контрольными значениями. Отмечено достоверное

влияние физической активности на содержание металлоида в сыворотке крови.

Результаты исследования показали, что повышенная физическая нагрузка не изменяла уровень цинка в тканях крыс. Эти данные отличаются от большинства предыдущих клинических [11] и экспериментальных [12] исследований, которые продемонстрировали достоверное снижение содержания цинка при физической нагрузке. В то же время исследование [13] продемонстрировало значительное индуцированное физическими нагрузками увеличение содержания цинка в тканях как у контрольных, так и у диабетических крыс.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что физические нагрузки существенно влияют на уровень содержания цинка и селена в тканях крыс. Постоянная физическая нагрузка значительно снижает содержание селена в тканях, что может быть связано с повышением потребности этого элемента в антиоксидантном биосинтезе селенопротеинов из-за вызванного физической нагрузкой окислительного стресса [14]. Наряду с этим наблюдалось индуцированное физическими упражнениями повышение уровня селена в сыворотке крови и волосах спортсменов, что согласуется с более ранними исследованиями [14]. Однако некоторые исследования показали достоверное снижение уровня селена в плазме крови сразу после физической нагрузки у экспериментальных животных [12, 15]. Это противоречие может возникнуть из-за различных режимов физической нагрузки в вышеупомянутых исследованиях и рассмотренном эксперименте.

Добавление цинка значительно модифицировало вызванные физической нагрузкой изменения микроэлементного статуса экспериментальных животных. Дополнительное введение цинка предотвращало вызванное физической нагрузкой снижение уровня селена. Показано, что пероральный прием цинка значительно повышает уровень селена в сыворотке крови крыс [16, 17], что может быть связано с индуцированным цинком снижением экскреции селена [18]. Существующие данные также показывают, что повышенное содержание цинка в пище может снижать запасы селена только в случае высокого соотношения Zn/Se (10:1), тогда как никакого эффекта не наблюдалось в случае соотношения 2:1 [19]. Принимая во внимание роль вызванного физическими упражнениями окислительного стресса в повреждении мышц [20], можно от-

метить, что повышенный уровень селена способен повышать антиоксидантную активность [21].

Таким образом, благоприятный эффект дополнительного введения цинка у физически нагруженных крыс может быть связан не только с изменением цинкового статуса, но и с регуляцией статуса селена и их биологических эффектов.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования свидетельствуют о том, что физические нагрузки значительно снижают уровень цинка в мышцах и шерсти, а также уровень селена в печени, сердце, скелетных мышцах и почках. Показано, что физические нагрузки приводят к повышению содержания цинка в почках и увеличению уровня селена в сыворотке крови и шерсти.

Дополнительное введение цинка вызывает повышение содержания цинка в печени, почках, сердце и шерсти крыс, подвергнутых физической нагрузке. Отмечено, что добавление цинка способствует восполнению запасов селена у животных с высокой физической активностью.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Prasad A.S. Zinc: role in immunity, oxidative stress and chronic inflammation. *Curr. Opin. Clin. Nutr.* 2009; 12: 646–652.
2. Vincent J.B., Negggers Y. Roles of Chromium (III), vanadium, and zinc in sports nutrition. In: Bagchi, D., Nair, S., Sen, C.K. (Eds.), *Nutrition and Enhanced Sports Performance: Muscle Building, Endurance, and Strength*. Academic Press. 2013; 447.
3. Maret W., Sandstead H.H. Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2006; 20: 3–18.
4. Chu A., Samman S. Zinc homeostasis in exercise: implications for physical performance. *Vitam. Miner.* 2014;3: e132.
5. 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: 263–266.
6. Lukaski H.C., Hoverson B.S., Milne D.B., Bolonchuk W.W. Copper, zinc, and iron status of female swimmers. *Nutr. Res.* 1989; 9: 493–502.
7. Chu A., Petocz P., Samman S. Immediate effects of aerobic exercise on plasma/serum zinc levels: a meta-analysis. *Med. Sci. Sport. Exerc.* 2016; 48: 726–733.
8. Skalny A.A., Medvedeva Yu.S., Alchinova I.B., Gatiatulina Eu.R., Radysh I.V., Karganov M.Yu., Skalny A.V., Nikonorov A.A., Tinkov A.A. Zinc supplementation modifies trace element status in exercised rats. *Journal of Applied Biomedicine*. 2017; 15(1): 39–47.
9. Fesyun A., Skalny A., Grabeklis S., Grabeklis A. Effectiveness of zinc supplementation for improvement of mineral and physical profile of army conscripts. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2011. 15Abstr. IX Isterh Conf. «Trace elements in

- health and disease: essentiality, toxicity» (16–21 October 2011, Belek, Turkey).
10. Sivrikaya A., Bicer M., Akil M., Baltaci A.K., Mogulkoc R. Effects of zinc supplementation on the element distribution in kidney tissue of diabetic rats subjected to acute swimming. *Biol. Trace Elem. Res.* 2012; 147: 195–199.
 11. De Carvalho F.G., Rosa F.T., Suen V.M.M., Freitas E.C., Padovan G.J., Marchini J.S. Evidence of zinc deficiency in competitive swimmers. *Nutrition*. 2012; 28: 1127–1131.
 12. 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: 148–153.
 13. Cordova A. Zinc content in selected tissues in streptozotocin-diabetic rats after maximal exercise. *Biol. Trace Elem. Res.* 1994; 42: 209–216.
 14. Margaritis I., Rousseau A.S., Hininger I., Palazzetti S., Arnaud J., Rousse A.M. Increase in selenium requirements with physical activity loads in well trained athletes is not linear. *Biofactors*. 2005; 23: 45–55.
 15. Akil M., Gurbuz U., Bicer M., Sivrikaya A., Mogulkoc R., Baltaci A.K. Effect of selenium supplementation on lipid peroxidation, antioxidant enzymes, and lactate levels in rats immediately after acute swimming exercise. *Biol. Trace Elem. Res.* 2011; 142: 651–659.
 16. Galazyn-Sidorczuk M., Brzóska M.M., Rogalska J., Roszczenko A., Jurczuk M. Effect of zinc supplementation on glutathione peroxidase activity and selenium concentration in the serum, liver and kidney of rats chronically exposed to cadmium. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2012; 26: 46–52.
 17. Skalny A.A., Tinkov A.A., Medvedeva Y.S., Alchinova I.B., Karganov M.Y., Skalny A.V., Nikonov A.A. Effect of short-term zinc supplementation on zinc and selenium tissue distribution and serum antioxidant enzymes. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 2015; 14: 269–276.
 18. Chmielnicka J., Zareba G., Witasik M., Brzezniacka E., Fons C., Fedou C., Micallef J., Fussellier M., Bardet L., Orsetti A. Zinc-selenium interaction in the rat. *Biol. Trace Elem. Res.* 1988; 15: 267–276.
 19. Eybl V., Sýkora J., Mertl F. In vivo interaction of selenium with zinc. *Acta Pharmacol. Tox.* 1986; 59: 547–548.
 20. Powers S.K., Jackson M.J. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol. Rev.* 2008; 88: 1243–1276.
 21. Tapiero H., Townsend D.M., Tew K.D. The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. *Biomed. Pharmacother.* 2003; 57: 134–144.

Поступила 18 февраля 2021 г.

THE RELATIONSHIP OF PHYSICAL ACTIVITY WITH THE INDICATORS OF ZINC AND SELENIUM METABOLISM IN EXPERIMENTAL ANIMALS

© A.A. Skalny, 2021

A.A. Skalny

Assistant, Department of Medical Elementology, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russia)

The aim of the study. To study the effect of physical activity and additional administration of zinc on the level of zinc and selenium in rats.

Material and Methods. The study was performed on 32 males of the Wistar line were divided into four groups: a control group, exposed to physical activity, receiving zinc (15 mg/kg of weight in the form of zinc asparaginate), exposed to physical activity and receiving zinc. The content of zinc and selenium in organs and tissues was evaluated by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Results. Physical activity significantly reduced the concentration of zinc in skeletal muscle, kidneys, and liver, and selenium in the liver, heart muscle, skeletal muscle, and kidneys of rats. At the same time, physical activity led to an increase in the content of zinc in the liver, and selenium - in the blood serum and hair of rats.

The additional administration of zinc reduced the increased zinc content in the liver, kidneys, heart muscle, and liver in the rats exposed to physical exertion. With the additional introduction of zinc, selenium reserves began to increase in the group of animals with physical activity.

Conclusions. The additional administration of zinc had a positive effect on the body of rats during physical exertion. This may be due not only to changes in zinc metabolism, but also to the regulation of selenium metabolism, as well as their biological effects.

Key words: zinc, selenium, physical activity, asparaginate, ICP-MS.

For citation: Skalny A.A. The relationship of physical activity with the indicators of zinc and selenium metabolism in experimental animals. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry.* 2021;24(4):45-50. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-04-07>