DOI: 10.26693/jmbs06.06.239

УДК: 577.118:591.147

Гложик І. З.

ВМІСТ МІНЕРАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ТКАНИНІ ПЕЧІНКИ ЩУРІВ ЗА НАБУТОЇ ІНСУЛІНОРЕЗИСТЕНТНОСТІ ТА ОЖИРІННЯ НА ТЛІ ЙОДОДЕФІЦИТУ

Львівський державний університет фізичної культури ім. Івана Боберського,
Україна

Мета – визначення вмісту мінеральних елементів у гепатоцитах щурів з інсулінорезистентністю, ожирінням, йододефіцитом, інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом та ожирінням у поєднанні з йододефіцитом.

Матеріали та методи. Дослідження проведено на 90 білих неплінних щурах масою 120–180 г, яких розділили на п'ять дослідних груп: щури з інсулінорезистентністю (Ір) (1-га дослідна група, n=15), тварини з йододефіцитом (Йд) (2-га дослідна група), тварини з інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом (Ір + Йд) (3-я дослідна група, n=15), тварини з ожирінням (О) (4-та дослідна група, n=15), тварини з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом (О + Йд) (5-а дослідна група, n=15). Контрольну групу складали 15 інтактних щурів. У гомогенаті печінки щурів визначали вміст Fe, Ca, Cu, Mg, Zn, Mn, Cr методом атомноабсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі SPECORD M 40 (Німеччина).

Результати. Виявлено збільшення вмісту міді в усіх дослідних групах, за винятком групи тварин з інсулінорезистентністю. Там цей показник знизився на 26,9%. Вміст заліза та кальцію зріс у всіх дослідних групах, показники вмісту Магнію, Мангану, Цинку та Хрому були нижчими порівняно з контролем. Найбільша різниця щодо вмісту Магнію виявлена між контрольною групою і тваринами групи з інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом. Щодо Цинку, то суттєвих коливань вмісту даного мікроелементу виявлено не було, у тварин 4-ї та 5-ї дослідних груп він нижчий порівняно з контролем на 18,4% та 23,5% відповідно. Вміст Мангану у групі тварин з ожирінням знизився на 14,8%, а у групі ожирінням у поєднанні з йододефіцитом вміст даного мікроелементу знизився на 16,2% порівняно з контролем. Щодо Хрому, то нами виявлено вірогідне зниження концентрації даного мікроелементу у тварин групи з ожирінням на 58,1% та у групі тварин з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом на 56,2%.

Висновки. Отримані результати демонструють зміни вмісту мінеральних елементів у групах тварин з інсулінорезистентністю, йододефіцитом, інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіци-

том, ожирінням та ожирінням у поєднанні з йододефіцитом.

Ключові слова: макроелементи, мікроелементи, інсулін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота є фрагментом планових науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного медичного університету: кафедри фізіології на тему «Метаболічні основи впливу есенціальних мікроелементів на забезпечення структурного і функціонального гомеостазу щитоподібної залози», № державної реєстрації 0111U000871.

Вступ. Інсулінорезистентність (Ір) визначають як стан, що супроводжується зниженням поглинання глюкози тканинами організму під впливом інсуліну. У розвитку Ір чітко простежується наявність двох її компонентів: спадкового та набутого, але досі не ідентифіковані точні генетичні порушення, що лежать в основі її наявності. Чинниками розвитку Ір є дуже багато захворювань та фізіологічних станів, зокрема йододефіцитні стани, ожиріння [1]. Надлишкова продукція вільних жирних кислот вісцеральною жировою тканиною на тлі Ір призводить до зниження чутливості печінки до блокуючої дії інсуліну на процеси глюконеогенезу, наслідком чого є гіперглікемія. Відомо, що за умови тривалого високого вмісту насичених жирних кислот у крові активуються внутрішньоклітинні шляхи пошкодження клітин за рахунок оксидативного стресу [2]. У патогенезі багатьох захворювань печінки важливу роль відіграє апоптична загибель гепатоцитів [3]. На клітинному рівні передумовою для формування стану Ір слугують відхилення у функціонуванні будь-якого з компонентів інсулінового сигнального каскаду. Важлива роль у формуванні порушень функціонування будь-якого з компонентів інсулінового сигнального каскаду відводиться мінеральним елементам. Зокрема, дефіцит Магнію негативно впливає на секрецію та активність інсуліну, що призводить до формування Ір [4]. Дефіцит Цинку призводить до порушення синтезу та секреції нормальної фізіологічної молекули інсуліну [5]. Важливим мікроелементом, який забезпечує реалізацію інсулінового сигналу є Хром. Серед

численних біохімічних ефектів Cr^{3+} найважливішим є його взаємодія з молекулою інсуліну в ході ампліфікації гормонального сигналу. Мідь потенціює гіпоглікемічний ефект інсуліну, прискорює процеси окислення глюкози, гальмує розпад глікогену та сприяє його накопиченню у печінці. Манган є компонентом багатьох ферментів і виконує в організмі ряд важливих функцій, однією з яких є підсилення гіпоглікемічного ефекту інсуліну [6]. Мінеральні елементи відіграють велику роль у процесах вільнорадикального окиснення та у регуляції апоптозу. Так, залізо й мідь, з однієї сторони, виступають ланцюгами вільнорадикальних реакцій, а Цинк і Манган – антиоксидантами, які контролюють окисні процеси. Цинк є селективним інгібітором апоптозу, Манган, Кадмій, свинець – модуляторами апоптозу, Кобальт, Ферум запускають апоптоз [7].

Отже, вивчення патогенезу Ір та ожиріння у контексті стану макро- та мікроелементного забезпечення, розуміння особливостей патогенетичної та терапевтичної значущості рівня макро- та мікроелементів може стати підґрунтям для доопрацювання нових методів профілактики та лікування даних патологій.

Мета дослідження. Визначити вміст мінеральних елементів у гепатоцитах щурів з інсулінорезистентністю, ожирінням, йододефіцитом, інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом та ожирінням у поєднанні з йододефіцитом.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження проведено на 90 білих нелінійних щурах масою 120–180 г, яких розділили на п'ять дослідних груп: щури з інсулінорезистентністю (Ір) (1-га дослідна група, $n=15$), тварини з йододефіцитом (Йд) (2-га дослідна група), тварини з інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом (Ір + Йд) (3-я дослідна група, $n=15$), тварини з ожирінням (О) (4-та дослідна група, $n=15$), тварини з ожирінням у поєднанні з йододефіцитом (О + Йд) (5-а дослідна група, $n=15$). Контрольну групу складали 15 інтактних щурів. Розвиток набутої Ір у дослідних тварин відтворювали шляхом додавання до питної води 10% розчину фруктози впродовж 8-тижнів. Розвиток ожиріння та йододефіциту моделювали за допомогою спеціальної дієти. Контрольну групу складали 15 інтактних щурів.

Утримання тварин та експерименти на базі віварію Львівського державного університету фізичної культури ім. Івана Боберського проводилися відповідно до положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментів та інших наукових цілей» (Страсбург, 2005), Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2006, ст. 26), «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених П'ятим національним кон-

гресом з біоетики (Київ, 2013). Евтаназію здійснювали шляхом декапітації під кетаміновим наркозом (100 мг/кг маси тіла).

У гомогенаті печінки визначали вміст Fe, Ca, Cu, Mg, Zn, Mn, Cr методом атомноабсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрії SPECORD M 40 (Німеччина)[8].

Отримані дані опрацьовані статистично за допомогою програмного забезпечення Excel ("Microsoft", США) і Statisticav.10.1. ("Statsoft", США), методом варіаційної статистики з використанням U-критерію Манна-Уїтні та критерію Стюдента. Статистично достовірно вважали різницю при $p < 0,05$.

Результати дослідження. У тварин з Ір встановлено зниження вмісту міді в печінці на 26,9%, у тварин з Йд вміст даного мікроелементу зростає на 20,5%, а у групі тварин з Ір+Йд зростає на 10,1%. Вміст заліза в групі тварин з Ір вищий по відношенню до контролю на 33,7%, у групі тварин з Йд на 38,5%, у тварин з Ір+Йд на 40,8%. Щодо вмісту Кальцію, то у гомогенаті печінки тварин з Ір він вищий порівняно з контролем на 24%, у тварин другої дослідної групи на 26,4%, у тварин 3-ї дослідної групи на 22%. Вміст Магнію у тварин з Ір нижчий порівняно з контролем на 19%, у тварин з Йд на 25,5%, у тварин з Ір+Йд на 29%. Щодо Цинку, то суттєвих коливань вмісту даного мікроелементу не було виявлено. У тварин 1-ї, 2-ї та 3-ї дослідних груп він нижчий порівняно з контролем на 10%, 15% і 11,1% відповідно. Вміст Мангану у тварин з Ір нижчий порівняно з контролем на 13,6%, у тварин з Йд на 18,2%, у тварин з Ір+Йд на 14,8%. Щодо Хрому, то нами виявлено вірогідне зниження концентрації даного мікроелементу у тварин групи з Ір на 48%, у тварин 2-ї дослідної групи на 57,5%, у тварин 3-ї дослідної групи на 58%. У групі тварин з О та О+Йд виявили збільшення вмісту міді порівняно з контролем на 27,4% та 36,2% відповідно. Вміст заліза у тварин з О перевищує контроль на 34,8%, у групі тварин з О+Йд на 38,4%. Щодо вмісту Кальцію, то у тварин з О він вищий на 25,7%, а у тварин з О+Йд на 28,4% порівняно з контролем. Показники вмісту Магнію у тварин з О нижчі на 27,3% порівняно з показниками контрольної групи, а у тварин з О+Йд на 28,4%. Щодо Цинку, то суттєвих коливань вмісту даного мікроелементу виявлено не було, у тварин 4-ї та 5-ї дослідних груп він нижчий порівняно з контролем на 18,4% та 23,5% відповідно. Вміст Мангану у групі тварин з О знизився на 14,8%, а у групі О+Йд вміст даного мікроелементу знизився на 16,2% порівняно з контролем. Щодо Хрому, то нами виявлено вірогідне зниження концентрації даного мікроелементу у тварин групи з О на 58,1% та у групі тварин з О+Йд на 56,2% (табл. 1).

Таблиця 1 – вміст біоелементів у печінці щурів з інсулінорезистентністю (Ір), йододефіцитом (Йд), інсулінорезистентністю у поєднанні йододефіцитом (Ір + Йд), ожирінням у поєднанні з йододефіцитом (О+Йд) та ожирінням (О) ($M \pm m$; $n=15$)

МЕ	Контроль	Ір	Ір + Йд	О + Йд	О
Cu, мг/кг	3,27±0,52	2,39±0,5*	3,6±0,65	4,46±0,23*	4,17±0,20
Fe, мг/кг	55,12±3,60	73,70±10,89*	77,62±9,13*	74,21±12,82*	73,93±11,69*
Ca, мг/кг	30,13±3,43	37,36±3,45*	36,73±3,35*	38,68±4,29*	37,86±4,06*
Mg, мг/кг	180,46±15,39	146,17±13,44*	128,18±24,19*	129,24±8,55*	131,20±5*
Zn, мг/кг	23,32±2,58	20,99±2,78	20,73±3,56	17,84±1,36	19,02±0,88
Mn, мг/кг	1,83±0,30	1,58±0,27	1,56±0,18	1,53±0,38	1,56±0,21
Cr, мг/кг	0,05±0,02	0,024±0,005*	0,029±0,006	0,022±0,004	0,021±0,02

Примітка: * – достовірна різниця між показниками дослідних груп і контролем ($p < 0,05$).

Обговорення отриманих результатів. Зниження вмісту міді у групі тварин з Ір, ймовірно, можна пояснити розвитком патологічного процесу в печінці, котрий супроводжується руйнуванням гепатоцитів і виходом у кров речовин, котрі містять мідь. Зниження вмісту міді може призводити до зниження активності мідьзалежних металопероксидаз, і, як результат, до посилення процесів перекисного окиснення ліпідів, окисної модифікації білків, деструкції нуклеїнових кислот, вивільнення цитокінів, порушень функціонального стану та розвитку патологічного процесу. А зростання вмісту міді у групах тварин з Йд, Ір+Йд, О та О+Йд ймовірно пов'язано з експресією Zn, Сувмісних супероксиддисмутази і металотіонеїнів [9]. З літературних джерел відомо, що патологічний процес у печінці може спричиняти зміни метаболізму заліза. Враховуючи, що основною функцією заліза є його участь в окисно-відновних реакціях, отриманий результат можна пояснити посиленням окисних процесів у гепатоцитах [10]. Підвищення рівня Кальцію у гепатоцитах, можливо, пов'язане із запуском мітохондріального апоптозного сигнального каскаду, оскільки даний катіон відіграє важливу роль у механізмах загибелі клітин печінки [11]. Як відомо з літературних джерел, розвиток інсулінорезистентності асоціюється, перш за все, з дефіцитом Магнію. За даними клінічних і фундаментальних досліджень, Магній проявляє гепатопротекторну

дію. Видалення Магнію з гепатоцитів може бути пов'язано зі зниженням вмісту АТФ. Досліджено, що іони Магнію виступають есенційними кофакторами багатьох ферментів, які беруть участь в обміні вуглеводів і жирів, а низький його рівень підвищує індекс атерогенності, що є фактором аліментарного ожиріння [12]. Порушення метаболізму гепатоцитів веде до генерування АФК, які спричиняють вивільнення Цинку з білків, призводячи до їх дисфункції. Зниження вмісту даного мікроелементу порівняно до контролю було незначним у гепатоцитах тварин п'яти дослідних груп [13]. Манган є важливим біоелементом, котрий підсилює гіпоглікемічний ефект інсуліну, протидіє жировій дегенерації печінки. Тенденцію до зниження його вмісту у тварин всіх дослідних груп можна пояснити розвитком патологічного процесу у гепатоцитах. Порушення метаболізму в печінці зумовлює різке зниження вмісту Хрому [14].

Висновки. Отримані результати демонструють зміни вмісту мінеральних елементів у групах тварин з інсулінорезистентністю, йододефіцитом, інсулінорезистентністю у поєднанні з йододефіцитом, ожирінням та ожирінням у поєднанні з йододефіцитом.

Перспективою подальших досліджень є дослідження особливостей метаболізму біоелементів, з метою поглибленого розуміння біохімічних механізмів розвитку даних патологій.

References

1. Mayorov AYU. Insulinorezistentnost' v patogeneze sakharnogo diabeta 2 tipa [Insulin resistance in the pathogenesis of type 2 diabetes mellitus]. *Sakharnyy diabet*. 2011;1:35-43. [Russian]
2. Kobylak NM, Mykhal'chysyn HP, Savchynuk OA, Falalyeyeva TM. Patofiziologichna rol' adyponektynu v rozvytku ozhyrinnya ta suputnykh zakhvoryuvan' [Pathophysiological role of adiponectin in the development of obesity and comorbidities]. *Myr medytsyny y byolohyy*. 2013;2-3(40):81-87. [Ukrainian]
3. Marushchak MI, Antonyshyn IV, Habor HH, Brzhys'kyi AV. Vplyv dysbalansu mikroelementiv na rehulyatsiyu apoptozu v shchuriv z alimentarnym ozhyrinnyam [The effect of micronutrient imbalance on the regulation of apoptosis in rats with alimentary obesity]. *Visnyk naukovykh doslidzhen*. 2015;3:97-100. [Ukrainian]. doi: 10.11603/2415-8798.2015.3.5206

4. Sales CH, Pedrosa LF, Lima JG, Lemos TM, Colli C. Influence of magnesium status and magnesium intake on the blood glucose control in patients with type 2 diabetes. *Clin Nutr*. 2011 Jun;30(3):359-64. PMID: 21288611. doi: 10.1016/j.clnu.2010.12.011
5. Sørensen-Zender I, Beneke J, Schmidt BM, Menne J, Haller H, Schmitt R. Zincalpha 2glycoprotein in patients with acute and chronic kidney disease. *BMC Nephrol*. 2013 Jul 12;14:145. PMID: 23849457 PMCID: PMC3717003. doi: 10.1186/1471-2369-14-145
6. Suslyk HI, Kapustyn's'ka OS, Hyryavenko OYA. Rol' makro- ta mikroelementiv u patohenezi tsukrovoho diabetu 2-ho typu [The role of macro- and microelements in the pathogenesis of type 2 diabetes]. *Klinichna endokrynolohiya ta endokrynna khirurgiya*. 2014;2:19-24. [Ukrainian]
7. Tsuchiya H, Sakabe T, Akechi Y, Ikeda R, Nishio R, Terabayashi K, et al. A close association of abnormal iron metabolism with steatosis in the mice fed a choline-deficient diet. *Biol Pharm Bull*. 2010;33(7):1101-4. PMID: 20606296. doi: 10.1248/bpb.33.1101
8. Vlizlo VV, Fedoruk RS, Ratych IT. *Laboratorni metody doslidzhen' u biolohiyi, tvarynnystvi ta veterynarniy medytsyni* [Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine]. Lviv; 2012. 762 s.; s. 305-306. [Ukrainian]
9. Stepanets' IO, Kudryavtseva, AH, Kharchenko OI, Voytenko VV, Ostapchenko LI. Aktyvnist' alkohol'dehidrogenazy ta vmist bioelementiv u tkanynakh pechinky shchuriv za umov rozvytku alkohol'noyi intoksykatsiyi [Alcohol dehydrogenase activity and the content of bioelements in the liver tissues of rats under conditions of alcohol intoxication]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni VN Karazina. Seriya: Biolohiya*. 2013;17(1056):37-43. [Ukrainian]
10. Berezenko VS, Mostovenko RV, Dyba MB. Rol' porushen' obminu zaliza v prohresuvanni khronichnykh virusnykh hepatytiv [The role of iron metabolism disorders in the progression of chronic viral hepatitis]. *Suchasna pediatriya*. 2012;2(42):102-105. [Ukrainian]
11. Garcin I, Tordjmann T. Calcium signaling and liver regeneration. *Int J Hepatol*. 2012; 2012:630670. PMID: 23119169. PMCID: PMC3479951. doi: 10.1155/2012/630670
12. Gromova OA, Fedotova LE, Grishina TR. Rol' magniya v formirovanii metabolicheskogo sindroma, korrektsii izbytochnogo vesa i ozhireniya u detey i podrostkov [The role of magnesium in the formation of metabolic syndrome, correction of overweight and obesity in children and adolescents]. *Pediatriya*. 2014;93:2. [Russian]
13. García OP, Ronquillo D, Caamaño Mdel C, Camacho M, Long KZ, Rosado JL. Zinc, vitamin A, and vitamin C status are associated with leptin concentrations and obesity in Mexican women: results from a crosssectional study. *Nutr Metab (Lond)*. 2012 Jun 15;9(1):59. PMID: 22703731. PMCID: PMC3406981. doi: 10.1186/1743-7075-9-59
14. Zhao C, Wang H, Zhang J, Feng L. Correlations of trace elements, glucose and body compositions in type 2 diabetics. *Wei Sheng Yan Jiu*. 2009;37(5):600-601.
15. Massey VL, Arteel GE. Acute alcohol-induced liver injure. *Front Physiol*. 2012 Jun 12;3:193. PMID: 22701432. PMCID: PMC3372892. doi: 10.3389/fphys.2012.00193

УДК 577.118:591.147

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТКАНИ ПЕЧЕНИ КРЫС С ПРИОБРЕТЕННОЙ ИНСУЛИНОРЕЗИСТЕНТНОСТЬЮ И ОЖИРЕНИЕМ В СОЧЕТАНИИ С ЙОДОДЕФИЦИТОМ

Гложик И. З.

Резюме. Цель – определение содержания минеральных элементов в гепатоцитах крыс с инсулино-резистентностью, ожирением, йододефицитом, инсулинорезистентностью в сочетании с йододефицитом и ожирением в сочетании с йододефицитом.

Материалы и методы. В гомогенате печени определяли содержание Fe, Ca, Cu, Mg, Zn, Mn, Cr методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре SPECORD M 40 (Германия).

Результаты. Выявлено увеличение содержания меди во всех опытных группах, за исключением группы животных с инсулинорезистентностью. Там этот показатель снизился на 26,9%. Содержание железа и кальция выросло во всех опытных группах, показатели содержания Магния, Мангана, Цинка и Хрома были ниже по сравнению с контролем. Наибольшая разница по содержанию Магния обнаружена между контрольной группой и животными группы с инсулинорезистентностью в сочетании с йододефицитом. Что касается Цинка, то существенных колебаний содержания данного микроэлемента обнаружено не было, у животных 4-й и 5-й опытных групп он ниже по сравнению с контролем на 18,4% и 23,5% соответственно. Содержание Мангана в группе животных с ожирением снизилось на 14,8%, а в группе ожирением в сочетании с йододефицитом содержание данного микроэлемента снизилось на 16,2% по сравнению с контролем. Что касается Хрома, то мы выявили вероятное снижение концентрации

данного мікроелемента у животної групи з ожирінням на 58,1% і в групі животної з ожирінням в поєднанні з йододефіцитом на 56,2%.

Выводы. Полученные результаты показывают изменения содержания минеральных элементов в группах животных с инсулинорезистентностью, йододефицитом, инсулинорезистентностью в сочетании с йододефицитом, ожирением и ожирением в сочетании с йододефицитом.

Ключевые слова: макроэлементы, микроэлементы, инсулин.

UDC 577.118:591.147

Content of Mineral Elements in Rat Liver Tissue with Acquired Insulin Resistance and Obesity in Combination with Iodine

Hlozhyk I. Z.

Abstract. *The purpose of the study was to determine the content of mineral elements in the hepatocytes of rats with insulin resistance, obesity, iodine deficiency, insulin resistance in combination with iodine deficiency and obesity in combination with iodine deficiency.*

Materials and methods. The study was performed on 90 white nonlinear rats weighing 120-180 g, which were divided into five experimental groups: rats with insulin resistance (1st experimental group, n = 15), animals with iodine deficiency (2nd experimental group), animals with insulin resistance in combination with iodine deficiency (3rd experimental group, n = 15), obese animals (4th experimental group, n = 15), obese animals in combined with iodine deficiency (5th experimental group, n = 15). The control group consisted of 15 intact rats. The content of Fe, Ca, Cu, Mg, Zn, Mn, Cr in the liver homogenate was determined by atomic absorption spectrometry on a SPECORD M 40 spectrophotometer (Germany).

Results and discussion. In animals with insulin resistance, there was a decrease in the content of copper in the liver by 26.9%, in animals with iodine deficiency the content of this trace element increased by 20.5%, and in the group of animals with insulin resistance in combination with iodine deficiency it increased by 10.1%. The iron content in the group of animals with insulin resistance is higher in relation to the control by 33.7%, in the group of animals with iodine deficiency – by 38.5%, in animals with insulin resistance in combination with iodine deficiency – by 40.8%. Regarding the content of Calcium, in the liver homogenate of animals with insulin resistance it is higher compared to the control by 24%, in animals of the second experimental group – by 26.4%, in animals of the 3rd experimental group – by 22%. The Magnesium content in animals with insulin resistance is lower compared to the control by 19%, in animals with iodine deficiency – by 25.5%, in animals with insulin resistance in combination with iodine deficiency – by 29%. As for Zinc, no significant fluctuations in the content of this trace element were detected. In animals of the 1st, 2nd and 3rd experimental groups it is lower compared to the control by 10%, 15% and 11.1%, respectively. The Manganese content in animals with insulin resistance is lower compared to the control by 13.6%, in animals with iodine deficiency – by 18.2%, in animals with insulin resistance in combination with iodine deficiency – by 14.8%. With regard to chromium, we found a probable decrease in the concentration of this trace element in animals of the group with insulin resistance by 48%, in animals of the 2nd experimental group – by 57.5%, in animals of the 3rd experimental group – by 58%. In the group of animals with obesity and obesity in combined with iodine deficiency we found an increase in copper content compared to the control by 27.4% and 36.2%, respectively. The iron content in animals with obesity exceeds the control by 34.8%, in the group of animals with obesity in combined with iodine deficiency – by 38.4%. Regarding the content of Calcium, in animals with obesity it is higher by 25.7%, and in animals with obesity in combined with iodine deficiency – by 28.4% compared to the control. Magnesium content in animals with obesity is lower by 27.3% compared to the control group, and in animals with obesity in combined with iodine deficiency – by 28.4%. Regarding Zinc, no significant fluctuations in the content of this trace element were detected. In animals of the 4th and 5th experimental groups it is lower compared to the control by 18.4% and 23.5%, respectively. The content of Manganese in the group of animals with obesity decreased by 14.8%, and in the group with obesity in combined with iodine deficiency the content of this trace element decreased by 16.2% compared to the control. With regard to chromium, we found a probable decrease in the concentration of this trace element in animals of the group with obesity by 58.1% and in the group of animals with obesity in combined with iodine deficiency by 56.2%.

Conclusion. The obtained results demonstrate changes in the content of mineral elements in groups of animals with insulin resistance, iodine deficiency, insulin resistance in combination with iodine deficiency, obesity and obesity in combination with iodine deficiency.

Keywords: macronutrients, microelements, insulin.

ORCID and contributionship:

Iryna Z. Hlozhyk : 0000-0002-5467-9229 ^{A-F}

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis,
C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article,
E – Critical review, F – Final approval of the article

CORRESPONDING AUTHOR

Iryna Z. Hlozhyk

Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky,

Department of biochemistry and hygiene

11, Kostyushka Str., Lviv 79000, Ukraine

tel. +380677565516, e-mail: glozyk.ira@gmail.com

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 30.10.2021 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування