

УДК 616-092:615.356[611.018.4+59.085]
DOI <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2025.2.7>

С.А. Шнайдер,

доктор медичних наук, професор,
Державна установа «Інститут стоматології
та щелепно-лицевої хірургії
Національної академії медичних наук України»,
вул. Рішельєвська, 11, м. Одеса, Україна, індекс 65026
androdental@gmail.com

А.О. Савцова,

асистент,
Одеський національний медичний університет,
Валіховський провулок, 2, м. Одеса, Україна,
індекс 65082, labbiachimstomat@gmail.com

ЗАХИСНИЙ ВПЛИВ БІЛКОВО-ВІТАМІННО-МІНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ НА СТАН АЛЬВЕОЛЯРНОЇ КІСТКИ ЩЕЛЕП ЩУРІВ НА ТЛІ ДІЄТИ З АЛІМЕНТАРНОЮ НЕПОВНОЦІННІСТЮ

Неповноцінне харчування з дефіцитом важливих речовин може бути чинником зсуву процесів ремоделювання у бік резорбції кісткових тканин ротової порожнини, наслідком чого може бути втрата маси та об'єму альвеолярних кісток. Для нормалізації кісткового метаболізму перспективними можуть бути комплексні лікувально-профілактичні препарати, складові яких мають виражений вплив на регуляцію процесів ремоделювання кісток. Серед них протеїни, вітаміни групи В, мікроелементи, поліненасичені довголанцюгові жирні кислоти, що приймають участь у мінералізації та синтезі кісткових тканин. **Мета дослідження:** дослідити вплив лікувально-профілактичного комплексу на основі альбуміну і препарату Orthomol Veg One, що містить вітаміни B₂, B₆, B₁₂, D₃, мікроелементи Fe, Zn, Se та докозагексаєнову жирну кислоту (ДГК), на стан кісткової тканини альвеолярного відростка (АВ) щелеп щурів за умов гострої аліментарної недостатності. **Матеріали та методи.** Самці білих щурів віком 2 місяці розподілили по 10 особин у три групи: 1) інтактна, що споживала повноцінну дієту; 2) зерно-овочева дієта (ЗОД) (зерно кукурудзи, буряк, капуста); 3) ЗОД з додаванням білково-вітамінно-мінерального комплексу (БВМК) (альбумін, Orthomol Veg One) у дозі 1,055 г/кг маси тіла щурів. Тривалість експерименту – 61 доба. По закінченні експерименту в щурів у АВ визначали: атрофію, активність лужної, кислої фосфатаз, еластази, каталази, вміст МДА та визначали мінералізуючий й антиоксидантно-прооксидантний індекси. **Результати.** Утримання щурів на ЗОД призвело до вірогідного підвищення ступеня атрофії альвеолярного відростка на 18,5%, активності еластази на 37,0%, кислої фосфатази на 31,8%, зниження активності лужної фосфатази на 20,2%, каталази на 25,6%, підвищення вмісту МДА на 47,3%, що свідчить про посилення процесів резорбції кісткової тканин та зни-

ження антиоксидантного захисту кісток. Додавання БВМК до ЗОД спрямо утриманню значень показників ремоделювання та антиоксидантного захисту на рівні, що статистично не відрізнявся від інтактного.

Висновки. Додавання до раціону БВМК з вираженою остеопротекторною дією, ефективно сприяло нормалізації функціонування кісткової тканини ротової порожнини за умов неповноцінного харчування.

Ключові слова: щури, зерно-овочева дієта, білково-вітамінно-мінеральний комплекс, атрофія альвеолярного відростка, лужна фосфатаза, кисла фосфатаза, еластаза, каталаза, МДА.

S.A. Shnaider,

Doctor of Medical Sciences, Professor,
State Establishment "The Institute of Stomatology
and Maxillo-facial Surgery
National Academy of Medical Sciences of Ukraine",
11 Risheliyevska street, Odesa, Ukraine, postal code 65026,
androdental@gmail.com

A.O. Savvova

assistant,
Odesa National Medical University,
2 Valikhovsky lane, Odesa, Ukraine, postal code 65082,
labbiachimstomat@gmail.com

PROTECTIVE EFFECT OF PROTEIN-VITAMIN-MINERAL COMPLEX ON JAW ALVEOLAR BONE STATE IN RATS ON THE BACKGROUND OF ALIMENTARY DEFICIENCY DIET

Malnutrition with a deficiency of important substances can be a factor in shifting the remodeling processes towards resorption of the oral bone tissue, which can result in loss of alveolar bone mass and volume. To normalize bone metabolism, complex therapeutic and prophylactic drugs, the components of which have a pronounced effect on the regulation of bone remodeling processes, may be promising. These include proteins, B vitamins, microelements, polyunsaturated long-chain fatty acids, which are involved in mineralization and synthesis in bone tissue. **The purpose of the study.** To investigate the effect of a therapeutic and prophylactic complex based on albumin and Orthomol Veg One containing vitamins B₂, B₆, B₁₂, D₃, microelements Fe, Zn, Se and docosahexaenoic fatty acid on the bone tissue in the jaw alveolar process (AP) in rats under conditions of acute nutritional deficiency. **Materials and methods.** Male white rats aged 2 months were divided into three groups of 10 animals each: 1) intact, consuming a complete diet; 2) grain and vegetable diet (GVD) (corn grain, beets, cabbage); 3) GVD with the addition of a protein-vitamin-mineral complex (PVMC) (albumin, Orthomol Veg One) at a dose of 1,055 g/kg body weight. The duration of the experiment was 61 days. At the end of the experiment, atrophy, activity of alkaline and acid phosphatases, elastase, catalase, MDA content, and mineralizing and antioxidant-prooxidant indices were determined in AP. **Results.** The maintenance of rats on GVD led to a significant increase in the degree of atrophy of AP

by 18.5%, elastase activity by 37.0%, acid phosphatase by 31.8%, a decrease in the activity of alkaline phosphatase by 20.2%, catalase by 25.6%, and an increase in the content of MDA by 47.3%, indicating an increase in bone resorption and a decrease in antioxidant protection of bones. The addition of PVMC to the diet helped to maintain the values of remodeling and antioxidant protection at a level that did not differ statistically from the intact level.

Conclusions. The addition of PVMC with a pronounced osteoprotective effect to the diet effectively contributed to the normalization of the functioning of oral bone tissue in conditions of malnutrition.

Key words: rats, grain and vegetable diet, protein-vitamin-mineral complex, alveolar atrophy, alkaline phosphatase, acid phosphatase, elastase, catalase, MDA.

Постановка проблеми. Одним з чинників виникнення чи посилення захворювань ротової порожнини може бути неповноцінне харчування з дефіцитом або відсутністю важливих для функціонування різних систем організму речовин. Дотримання спеціальних чи вегетаріанських дієт, або внаслідок тривалих змін умов існування з погіршенням харчування, наприклад, за участі людини у бойових діях або мешкання у районах, що потерпають від регулярних обстрілів, призводить до погіршення стану організму, зокрема кісткових тканин ротової порожнини.

Тісний зв'язок між складом їжі та розвитком стоматологічної патології переконливо демонструють дослідження з використанням дієт з нестачею білка, кальцію та важливих вітамінів і мікроелементів [1]. Одним з проявів впливу неповноцінного харчування є зсув процесів ремоделювання кісткової тканини щелеп у бік резорбції, наслідком чого може бути втрата маси та об'єму альвеолярних кісток, що призводить до оголення коренів зубів.

Дослідження на тваринах з додаванням до неповноцінного раціону комплексних препаратів, призначених доповнювати нестачу окремих важливих речовин у раціоні, виявили, що такі препарати здатні проявляти високу ефективність у збереженні кісткової маси і ступеня мінералізації кісток навіть за часткової компенсації есенціальних речовин, у тому числі за низького надходження кальцію в організм [2]. Як показує аналіз сучасних досліджень, перспективними складовими таких препаратів можуть стати вітаміни, мікроелементи й поліненасичені жирні кислоти з вираженим позитивним впливом на регулювання метаболізму кісткових тканин. Серед них вітаміни групи В, нестача яких суттєво порушують функціонування остеобластів й посилює активність остеокластів, низка мікроелементів, що має безпосереднє відношення до синтезу та мінералі-

зації кісткових тканин, та поліненасичені довголанцюгові жирні кислоти, захисна остеотропна дія яких демонструвалася у сучасних дослідженнях [3–9].

Звідси, актуальною є розробка остеопротекторних комплексних препаратів, здатних ефективно запобігати розвитку стоматологічних захворювань, пов'язаних з деградацією кісткової тканини щелеп, за умов споживання раціонів з дефіцитом важливих речовин.

Мета дослідження. Дослідити вплив лікувально-профілактичного комплексу на основі альбуміну і препарату Orthomol Veg One, що містить вітаміни B₂, B₆, B₁₂, D₃, мікроелементи Fe, Zn, Se та докозагексаєнову жирну кислоту, на стан альвеолярної кістки щелеп щурів за умов гострої аліментарної недостатності.

Матеріали та методи дослідження. В експерименті використали 30 самців білих щурів лінії Wistar віком 2 місяці з початковою середньою масою тіла $117,5 \pm 2,3$ г. Тварин розподілили у три дослідні групи по 10 особин у кожній:

1. Інтактна – повноцінний корм.
2. Зерно-овочева дієта (ЗОД).
3. Зерно-овочева дієта з додаванням білково-вітамінно-мінерального комплексу (ЗОД + БВМК).

Тривалість експерименту – 61 доба.

Тварин інтактною групи годували повнораціонною гранульованою зерновою сумішшю, яка складалася з компонентів: висівки пшеничні, зерно пшениці, ячменя, кукурудзи, вівса, борошно люцерни, шрот соняшнику, вітамінно-мінеральний премікс.

Для порушення стану кісткової тканини альвеолярного відростку щелеп, щурів утримували на ЗОД, яка мала наступний склад [1]:

- подрібнене кукурудзяне зерно (або крупа) – 69,0%
- буряк – 20,7%
- капуста білокачанна – 10,3%

Щодобово визначали кількість корму, який був з'їдений щурами, у всіх клітках. Для цього корм видавали щурам завжди в один і той же час на початку кожної доби. Усі компоненти свіжого корму та залишків попереднього зважували з точністю до 1 г.

БВМК був складений з двох компонентів: альбумін яєчний (НВА «Одеська біотехнологія», Україна, м. Одеса) та препарат Orthomol Veg One (Orthomol Pharmazeutische Vertriebs GmbH, Langenfeld, Germany). Дози компонентів БВМК для щурів третьої групи наступні:

- альбумін яєчний – 1 г/кг маси тіла;
- Orthomol Veg One – 0,055 г/кг маси тіла

Тобто, сумарна доза БВМК – 1,055 г/кг маси тіла щурів. Тварин зважували щотижнево для розрахунку наважки БВМК, необхідної для надходження до організму.

Величину дози Orthomol Veg One для щурів розраховували з терапевтичної дози для дорослої людини за методом Ю.Р. Риболовлева та Р.С. Риболовлева (1979) з використанням константи біологічної активності для щурів [10].

Згідно інформації виробника Orthomol Veg One [11], кожна капсула цього препарату містить вітаміни D₃, B₂, B₆, B₁₂, мікроелементи Fe, Zn, Se, а також олію водоростей із вмістом докозагексаєнової жирної кислоти (ДКГ) не менш 35% у вигляді тригліцеридів. Тому для порівняння складу повноцінного корму та ЗОД враховували вміст складових компонентів Orthomol Veg One, а також протеїну, жиру, кальцію, фосфору та вітаміну А, вміст яких у компонентах повноцінного корму та корму ЗОД визнали з джерел [12, 13].

Зерно-овочева суміш ЗОД, у порівнянні з повноцінним кормом, містила в меншій кількості всі враховані речовини: протеїну – у 2,25, жиру – в 1,05, Ca – у 14,91, P – у 2,24, A – у 32,62, B2 – у 6,14, B6 – у 21,55, Zn – у 1,66, Fe – у 2,59, Se – 3,32 рази. Вітаміни D₃, B₁₂ та ДГК у складі ЗОД відсутні.

Щурів утримували в експерименті з мінімальним стресовим навантаженням, що було пов'язано виключно з вводом БВМК *per os*, під час якого щурів короткочасно фіксували руками. Тваринам був забезпечений вільний доступ до води та їжі при температурі повітря у приміщенні 19–22 °С, вологістю 65–75% з восьми годинним світловим днем при штучному освітленні, згідно вимог до умов утримання лабораторних щурів [14]. Кількість тварин у кожній клітці – 5 особин.

Маніпуляції з тваринами під час експерименту проводили відповідно науково-практичних рекомендацій [14], положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та наукових цілей» (Страсбург, 1986) [15] та закону України від 21 лютого 2006 р. № 3447-IV «Про захист тварин від жорсткого поводження» (2006) [16].

Виведення тварин по закінченні експерименту здійснювали тотальним знекровлюванням відсіканням від серця магістральних кровоносних судин під тіопенталовим наркозом (40 мг тіопенталу на 1 кг маси тіла тварин) з подальшим відбором біоматеріалу для дослідження [17].

У щурів вилучали з щелеп частини з альвеолярною кісткою з зубами та ретельно очищували їх від сухожилля. Визначали ступінь атрофії альвеолярного відростку за методом А.В. Ніколаєвої (1967) [17]. У гомогенатах альвеолярного відростку визначали маркери ремоделювання кісткової тканини: активність кислотної фосфатази (КФ), еластази та лужної фосфатази (ЛФ). Із співвідношення ЛФ/КФ визначали мінералізуючий індекс (МІ). Визначали також показники антиоксидантного захисту кісткової тканини: вміст малонового діальдегіду (МДА) й активність каталази. Із співвідношення активності каталази й вмісту МДА обчислювали антиоксидантно-прооксидантний індекс (АПІ). Виготовлення гомогенатів зразків кісткової тканини та визначення вказаних біохімічних показників виконували за методами [17].

Для встановлення відмінностей між середніми показниками дослідних груп використовували параметричний t-критерій Стьюдента з поправкою Холма-Бонфероні для множинного порівняння показників після перевірки відповідності розподілу первинних даних нормальному закону. Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали за допомогою пакету програм MS Excel 2010 [18]. Різницю між середніми груповими показниками вважали статистично значущою при $p < 0,05$.

Роботу виконано на базі лабораторії біохімії та віварію Державної установи «Інститут стоматології та щелепно-лицевої хірургії Національної академії медичних наук України» (ДУ «ІСЦЛХ НАМН»).

Результати та їх обговорення. На рисунку 1 наведено показники атрофії альвеолярного відростка щелеп щурів інтактної групи за умов утримання тварин на ЗОД та споживання БВМК на тлі ЗОД. У щурів, що утримували на ЗОД, спостерігали підвищену атрофію альвеолярного відростка, яка перевищувала показник у щурів інтактної групи на 18,5% ($p < 0,01$) (рис. 1). Введення БВМК тваринам на тлі споживання ЗОД сприяло формуванню вірогідно нижчого показника атрофії альвеолярної кістки – на 25,3% ($p < 0,002$) – у порівнянні з показником у щурів, яких утримували на ЗОД без додавання БВМК. Показник за введення БВМК на тлі ЗОД не відрізнявся статистично від показника інтактної групи, але за значенням був навіть нижчим, ніж інтактний показник, на 11,5%, що підтверджує високу ефективність БВМК як профілактичного комплексу (рис. 1).

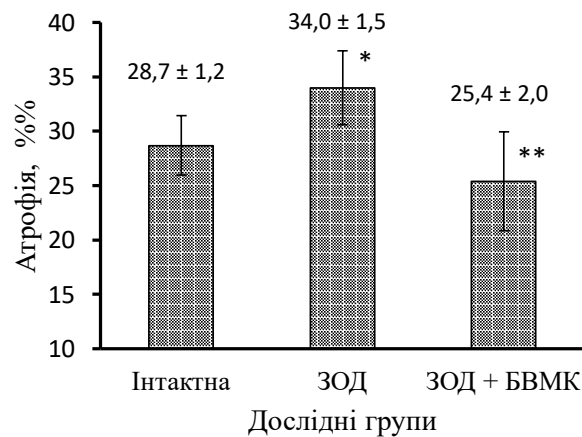


Рис. 1. Показники атрофії альвеолярного відростка щелеп щурів за умов утримання тварин на зерно-овочевій дієті (ЗОД) та споживання білково-вітамінно-мінерального комплексу препаратів (БВМК)

Примітка: статистично значущі відмінності від показника: * – інтактної групи ($p < 0,01$), ** – групи «ЗОД» ($p < 0,002$). Довірчі інтервали середніх надано при рівні значущості $\alpha = 0,05$ та кількості тварин у групах $n = 10$.

Результати визначення показників ремоделювання кісткової тканини альвеолярного відростка у щурів дослідних груп представлений у таблиці 1. Аналіз активності ферментів, пов'язаних з процесами формування та ремоделювання кісткової тканини, виявив суттєве збільшення активності маркерів деструкції кісткової тканини у щурів, яких утримували на ЗОД. Так, активність еластази у таких щурів була збільшена на 37,0%, активність кислої фосфатази – на 31,8%, що підтверджується на високому рівні значущості ($p < 0,002$) (табл. 1). В той же час, споживання ЗОД спричинила значне зниження активності маркера синтезу кісткової тканини – лужної фосфатази – на 20,2% ($p < 0,02$). Додавання БВМК до ЗОД сприяло утриманню наведених показників на рівні, що не мав статичної відмінності від інтактних показників ($p > 0,2-0,6$) (табл. 1). Слід зауважити, що введення тваринам БВМК за умов дотримання ЗОД у дозі, використаній у дослідженні, не призвело до абсолютної відповідності показників ремоделювання кісткової тканини альвеолярного відростку інтактним показникам. Так, за значенням, активність еластази за споживання БВМК на тлі ЗОД перевищувала інтактний показник на 13,9%, кислої фосфатази – на 4,6%, активність лужної фосфатази менше інтактного показника на 4,5%. Це підтверджується мінералізуючим індексом МІ – у щурів, що утримували на ЗОД, МІ був суттєво менше, ніж у інтактних тварин – на 39,1% ($p < 0,001$), з додаванням БВМК – статистично не відрізнявся від інтактного показника, але за значенням був нижчим на 8,6%. Індекс МІ, як інтегральний показник, що сумує активність маркерів синтезу та резорбції кістки, чітко свідчив

про зміщення процесів ремоделювання кісткової тканини альвеолярного відростка за споживання щурами ЗОД у бік резорбції, що підтверджується посиленням атрофії альвеолярної кістки, та про нормалізацію ремоделювання кісткової тканини за умов додавання до неповноцінного раціону БВМК (табл. 1, рис. 1).

У таблиці 2 наведено показники маркерів антиоксидантно-прооксидантної системи кісткових тканин альвеолярного відростка. При утриманні щурів на ЗОД відзначено вірогідне зниження активності каталази на 25,6% ($p < 0,002$) та суттєве підвищення вмісту МДА – на 47,3% ($p < 0,001$). Це свідчить про зниження ефективності антиоксидантної системи через надлишкову витрату антиоксидантів, зокрема, каталази, внаслідок підвищеного окислювального навантаження на тканин альвеолярної кістки за умов споживання неповноцінним зерно-овочевим кормом. Зниження антиоксидантних ферментів призводить до посилення вільно-радикального окиснення, результатом якого може бути посилення перекисного окиснення ліпідів і, як наслідок, збільшення вмісту МДА, що й спостерігали у даному дослідженні. Значне вірогідне зниження індексу АПІ у альвеолярній кістці на 59,2% ($p < 0,001$) за умов дотримання ЗОД чітко свідчить про пов'язаність зниження активності каталази і підвищення вмісту МДА та вказує на падіння ефективності антиоксидантного захисту кісткових тканин щелепи від чинників вільно радикального окиснення внаслідок тривалого споживання корму з аліментарною неповноцінністю (табл. 2).

Таблиця 1

Вплив білково-вітамінно-мінерального комплексу на показники ремоделювання кісткової тканини альвеолярного відростка щелеп щурів на тлі споживання повноцінного корму та зерно-овочевої дієти з аліментарною неповноцінністю, $M \pm m$.

№	Групи тварин	Активність еластази, мккат/кг	Активність лужної фосфатази (ЛФ), мккат/кг	Активність кислої фосфатази (КФ), мккат/кг	Мінералізуючий індекс (МІ) ЛФ/КФ
1	Інтактна	$17,12 \pm 1,04$	$69,3 \pm 4,7$	$6,6 \pm 0,4$	$10,5 \pm 0,8$
2	Зерно-овочева дієта	$23,45 \pm 1,77$ $p < 0,002$	$55,3 \pm 3,8$ $p < 0,02$	$8,7 \pm 0,5$ $p < 0,002$	$6,4 \pm 0,4$ $p < 0,001$
3	Зерно-овочева дієта + БВМК	$19,50 \pm 1,49$ $p > 0,2$ $p_1 > 0,1$	$66,2 \pm 3,5$ $p > 0,6$ $p_1 < 0,05$	$6,9 \pm 0,3$ $p > 0,5$ $p_1 < 0,001$	$9,6 \pm 0,6$ $p > 0,4$ $p_1 < 0,001$

Примітка: p – вірогідність відмінностей від інтактної групи; p_1 – вірогідності відмінностей від групи «Зерно-овочева дієта»; кількість тварин у групах $n = 10$.

Таблиця 2

Вплив білково-вітамінно-мінерального комплексу на показники антиоксидантно-прооксидантної системи альвеолярного відростка щелеп щурів на тлі споживання повноцінного корму та зерно-овочевої дієти з аліментарною неповноцінністю, $M \pm m$.

№	Групи тварин	Активність каталази (АК), мкат/кг	Вміст МДА, ммоль/кг	АПІ (АК/МДА)*10
1	Інтактна	$2,58 \pm 0,14$	$4,17 \pm 0,32$	$6,19 \pm 0,23$
2	Зерно-овочева дієта	$1,92 \pm 0,11$ $p < 0,002$	$7,56 \pm 0,53$ $p < 0,001$	$2,53 \pm 0,18$ $p < 0,001$
3	Зерно-овочева дієта + БВМК	$2,34 \pm 0,13$ $p > 0,25$ $p_1 < 0,02$	$5,26 \pm 0,43$ $p > 0,1$ $p_1 < 0,002$	$4,45 \pm 0,23$ $p < 0,001$ $p_1 < 0,001$

Примітка: p – вірогідність відмінностей від інтактної групи; p_1 – вірогідності відмінностей від групи «Зерно-овочева дієта»; МДА – малоновий діальдегід; АПІ – антиоксидантно-прооксидантний індекс; кількість тварин у групах $n = 10$.

Додавання БВМК до ЗОД сприяло втриманню показників активності каталази й вмісту МДА на рівнях, що не мали статистичної відмінності від аналогічних інтактних показників ($p > 0,1-0,25$). Разом з тим, введення БВМК на тлі утримання щурів на ЗОД не призвело до формування показників активності каталази та вмісту МДА таких, що не відрізнялися б від інтактних за значенням. Так, за умов дотримання ЗОД активність каталази була на 9,6% меншою за інтактну, а вміст МДА перевищував інтактний показник на 26,2% (табл. 2). Індекс АПІ, що сумує наявність каталази й МДА, більш контрастно вказує на неповну відповідність показників маркерів антиоксидантно-прооксидантної системи в щурів, що отримували зерно-овочевий корм з додаванням БВМК, аналогічним показникам інтактних щурів – АПІ вірогідно відрізнявся від інтактного і був на 28,2% нижчим ($p < 0,001$) (табл. 2).

Отримані результати свідчать про високу ефективність дослідного БВМК в обраних дозах впливати на стан кісткової тканини альвеолярного відростку щелеп щурів на тлі споживання дієти з тотальним дефіцитом важливих речовин й навіть відсутністю окремих вітамінів та жирних кислот. Але, порівняння надходження врахованих речовин до організму щурів різних груп з корму показало, що додавання БВМК до раціону ЗОД не компенсувало нестачу білка, вітамінів та мінералів. Після визначення середнього добового споживання кормів: повноцінного – 220 г на кг маси тіла щурів, ЗОД – 170 г/кг та ЗОД з додаванням БВМК – 190 г/кг – було обчислено, що до організмів щурів, яким вводили БВМК на тлі дотримання ЗОД, надходження всіх речовин, що враховували, було значно меншим за надходження в інтактній групі: протеїну – на 45,2%, жиру – на 16,4%, Са, вітамінів А, D, B₆, B₁₂ – майже на 100%, Р – на 61,5%, Zn – на 38,5%, Fe – на 63,5%,

Se – на 67,6%, B₂ – на 79,9%. Тобто, додавання БВМК до раціону ЗОД не компенсувало нестачу надходження до організму щурів означених речовин, але ж ця кількість та наявність у складі БВМК вітамінів D₃, B₁₂ і докозагексаєнової кислоти призвели до суттєвого остеопротекторного впливу в альвеолярному відростку, що відобразилося у зниженні ступеня атрофії та утриманні показників маркерів ремоделювання кісток і антиоксидантного захисту на рівні значень, що статистично не відрізнялися від інтактних. Схожі результати були отримані для стегнових кісток щурів за аналогічних умов проведення експерименту: додавання БВМК до раціону ЗОД також не компенсувало нестачу надходження до організму щурів дослідних речовин, але ефективно сприяло утриманню маси тіла щурів на рівні 91,2% від інтактного показника, щільності кісток – на рівні 97,9%, вмісту мінерального компоненту у кістках – на рівні 91,1% [2].

Виявлена ефективність БВМК ймовірно зумовлена складом компонентів, кожний з яких прямо чи опосередковано впливає на регуляцію кісткового метаболізму. Так, сучасні дані вказують на важливу роль вітамінів групи В та окремих мікроелементів і поліненасичених жирних кислот ω -3 у регуляції кісткового метаболізму. Відомо, що низьке надходження до організму вітамінів B₂, B₆ і B₁₂, що містилися у експериментальному БВМК, призводить до посилення остеокластогенезу, порушенню колагеноутворення та зниження щільності кісток [3, 4, 19, 20]. Мікроелементи, серед яких Fe, Zn і Se, що присутні у БВМК, визначають активність гідроксилаз, необхідних для формування колагену, впливають на інтенсивність мінералізації, інгібують остеокластогенез, підвищують активність остеобластів, входять до складу мінерального компонента кісток [5, 7, 8, 21]. Довголанцюгові поліненасичені жирні кислоти ω -3, до яких належить ДГК, що також входила до складу БВМК, знижують синтез прозапальних цитокінів: TNF- α , IL-1 β , IL-6, PGE2 та ін., підвищують абсорбцію Ca²⁺ у кишечнику і ниркову реабсорбцію, знижують інтенсивність резорбції [22, 23].

Таким чином, тривале дотримання дієт із суттєвим дефіцитом чи відсутністю життєво важливих або есенціальних речовин може призводити до спрямованого порушення метаболізму кісткових тканин, наслідком якого можуть бути виникнення та посилення стоматологічних захворювань, зокрема таких, як хронічна втрата маси альвеолярної кістки з прогресуючим оголенням коренів

зубів, що супроводжується зниженням антирадикального захисту кісткових тканин щелеп, одним із проявів якого може бути накопичення МДА, який є відомим мутагеном і виявляє цитотоксичну дію, що підтримує хронічне запалення тканин та ушкодження клітин. Додавання до раціону протеїну, комплексу вітамінів групи В, вітаміну D, мікроелементів Zn, Fe, Se та докозагексаєнової кислоти як речовин з вираженою остеопротекторною дією, може, про що свідчать результати даного дослідження, сприяти нормалізації функціонування кісткової тканини ротової порожнини за умов неповноцінного харчування завдяки стимуляції синтезу кісткових тканин і мінералізації, зниження втрат спожитого кальцію через виведення нирками, посилення засвоєння його у травній системі та гальмування процесів резорбції мінералізованої частки кісткової тканини.

Результати дослідження дозволяють також припускати, що використання саме комплексних білково-вітамінно-мінеральних препаратів з оптимально збалансованим вмістом складових може запобігати, наприклад, негативному впливу на організм довготривалого споживання вітаміну D через можливість зниження його надходження завдяки сумації дій інших вітамінів та мікроелементів у комплексних препаратах.

Висновки. 1. Споживання щурами зерно-овочевої дієти з аліментарною недостатністю протягом двох місяців призвело до вірогідного підвищення ступеня атрофії альвеолярного відростка на 18,5%, активності еластази на 37,0%, кислої фосфатази на 31,8%, зниження активності лужної фосфатази на 20,2%, каталази на 25,6%, підвищення вмісту МДА на 47,3%, що свідчить про посилення процесів резорбції кісткової тканин та зниження антиоксидантного захисту кісток.

2. Додавання до неповноцінного раціону БВМК, що містить альбумін, вітаміни B₂, B₆, B₁₂, D₃ мікроелементи Fe, Zn, Se та докозагексаєнову жирну кислоту у складі препарату Orthomol Veg One, сприяло утриманню значень показників ремоделювання та антиоксидантного захисту кісткової тканин альвеолярного відростка щелеп щурів на рівні, що статистично не відрізнявся від інтактного.

Література:

1. Железняк А.Д., Шнайдер С.А. Експериментальне обґрунтування лікувально-профілактичних заходів супроводу комплексного стоматологічного лікування спортсменів-підлітків при моделюванні дефіциту кальцію і білка. *Вісник стоматології*. 2022. Т. 121. № 4. С. 2–8. DOI: 10.35220/2078-8916-2022-46-4.1.

2. Шнайдер С.А., Савцова А.О. Вплив білково-вітамінно-мінерального комплексу на стан кісток щурів за умов порушення ремоделювання кісток дією з аліментарною неповноцінністю. *Інновації в стоматології*. 2025, № 1, с. 81–89.
3. Skalny A.V., Aschler M., Tsatsakis A., Rocha J.B.T., Santamaria A., Spandidos D.A., Martins A.C., Lu R., Korobeinikova T.V., Chen W., Chang J.-S., Chao J.C.J., Li C., Tinkov A.A. Role of vitamins beyond vitamin D₃ in bone health and osteoporosis (Review). *Intern. J. Molec. Medicine*. 2024. 53. 9. P. 1–21. DOI: 10.3892/ijmm.2023.5333.
4. Pitsanmi-Oylere B.L., Kruger M.C. B vitamins and homocystein as determinants of bone health: a literature review of human studies. *J. Hum. Nutr. Diet*. 2023, 36, P. 1031–1044. DOI: 10.1111/jhn.13080.
5. Brackel F.N., Oheim R. Iron and bones effects of iron overload, deficiency and anemia treatments on bone. *JBMR Plus*. 2024. V. 8. Issue 8. 9 p. DOI: 10.1093/jbmrpl/ziae064.
6. Balogh E., Paragh G., Jeney V. Influence of iron on bone homeostasis. *Pharmaceuticals*. 2018. 11. 107. P. 1–18. DOI: 10.3390/ph11040107.
7. Molenda M., Kolmas J. The role of zinc in bone tissue health and regeneration – a Review. *Biol. Trace Element Res*. 2023. 201. P. 5640–5651. DOI: 10.1007/s12011-023-03631-1.
8. Peng S., Zhang G., Wang D. Association of selenium intake with bone mineral density and osteoporosis: the national health and nutrition examination survey. *Frontiers in Endocrinology (open access)*. 2023. №14. P. 1251838. DOI: 10.3389/fendo.2023.1251838.
9. Ходаков І.І., Макаренко О.А., Хромагіна Л.М., Мудрик Л.М. Застосування препарату есенціальних жирних кислот «Ліпосан-Форте» на тлі тривалого введення преднізолону білим щурам. *Вісник стоматології*. 2020. № 4 (113). С. 9–16. DOI: 10.35220/2078-8916-2020-38-4-9-16.
10. Кошурба І.В., Гладких Ф.В., Чиж М.О. Оцінка антиульцерового ефекту кріоконсервованого екстракту плаценти на моделі спиртово-преднізолонового ураження шлунку. *Медична наука України*. 2022. Vol. 18. № 2, P. 3–9. DOI: 10.32345/2664-4738.2.2022.01.
11. Orthomol.life – Німецькі ортомоллекулярні вітамінні комплекси Orthomol. <https://orthomol.life/uk/orthomol-veg-one-kapsuly-30-dney.html>
12. Коцюмбас І.Я., Косенко Ю.М. Довідник кормових добавок та преміксів. – Львів: ТзОВ ВФ «Афіша», 2015. 1408 с.
13. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин / за заг. ред. І. І. Ібатуліна та О. М. Жукорського. Київ: Державне видавництво «Аграрна наука», 2016. 300 с. <http://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/804>.
14. Науково-практичні рекомендації з утримання лабораторних тварин та роботи з ними / Ю.М. Кожем'якін та ін. Київ : Авіценна, 2002. 155 с.
15. European convention for the protection of vertebral animals used for experimental and other scientific purposes. *Strasbourg. Council of Europe*. 1986. №123. P. 51.
16. Закон України «Про захист тварин від жорсткого поводження». *Відомості Верховної Ради України*. 2006. № 27. 230 с.
17. Методи дослідження стану кишечника та кісток у лабораторних щурів. Довідник / О.А. Макаренко та ін. Одеса: видавець С.Л. Назарчук, 2022. 81 с.
18. Талах В.І., Талах Т.А. Використання статистичних функцій EXCEL в аналітичних дослідженнях великих даних. *Економіка та суспільство*. 2023. №51. P. 15–21. DOI: 10.32782/2524-0072/2023-51-15.
19. Dai Z., Koh W.-P. B-vitamins and bone health – A review of the current evidence. *Nutrients*. 2015. №7. P. 3322–3346. DOI: 10.3390/nu7053322.
20. Bailey R.L., van Wijngaarden J.P. The role of B-vitamins in bone health and disease. *Curr. Osteoporos Rep*. 2015. №13. P. 256–261. DOI: 10.1007/s11914-015-0273-0.
21. Li H., Jia L., Deng Z., Sun X., Zhang H., Li H. The effects of selenium on the growth and bone development in the weaned rats. *Food Bioscience*. 2023. Vol. 55, 103018. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.103018.
22. Fazelnial F., Khodabandehlool N. Preventive and curative effect of omega-3 supplementation on bone mineral density in people aged 60 years and older: a systematic review. *Internal Medicine and Medical Investigation J*. 2019. Vol. 4. Issue 1. P. 9–15. DOI: 10.24200/imminv.v3i4.8.
23. Sharma T., Mandal C.C. Omega-3 fatty acids in pathological calcification and bone health. *J Food Biochem*. 2020. №44(8). P. e13333. DOI: 10.1111/jfbc.13333.

References:

1. Zhelezniak, A.D. & Shnaider, S.A. (2022) Eksperymentalne obgruntuvannya likuvalno-profilaktychnykh zakhodiv suprovodu kompleksnogo stomatologichnogo likuvannya sportsmeniv-pidlitkiv pry modeluvanni deficitu kaltsiu i bilka [Experimental substantiation of treatment-and-prophylactic measures of support of complex dental treatment of teenage athletes at modeling of calcium and protein deficiency]. *Visnyk stomatologii – Stomatological bulletin*, 121, 4, 2–8. DOI: 10.35220/2078-8916-2022-46-4.1 [in Ukrainian].
2. Shnaider, S.A. & Savvova, A.O. (2025) Vplyv bilkovo-vitaminno-mineralnogo kompleksu na stan kistok shchuriv za umov porushennia remodeluvannia kistok diyetoyu z alimentanoyu nepovnotsinnistu. [The effect of protein-vitamin-mineral complex on bone condition in rats with impaired bone remodeling by alimentary deficient diet]. *Innovatsii v stomatology – Innovations in Stomatology*, 1, 81–89. DOI: 10.35220/2523-420X/2025.1.15 [in Ukrainian].

3. Skalny, A.V., Aschler, M., Tsatsakis, A., Rocha, J.B.T., Santamaria, A., Spandidos, D.A., Martins, A.C., Lu, R., Korobeinikova, T.V., Chen, W., Chang, J.-S., Chao, J.C.J., Li, C. & Tinkov, A.A. (2024). Role of vitamins beyond vitamin D₃ in bone health and osteoporosis (Review). *Intern. J. Molec. Medicine*, 53, 9, 1–21. DOI: 10.3892/ijmm.2023.5333.
4. Iletsanmi-Oylere, B.L. & Kruger, M.C. (2023). B vitamins and homocystein as determinants of bone health: a literature review of human studies. *J. Hum. Nutr. Diet*, 36, 1031–1044. DOI: 10.1111/jhn.13080.
5. Brackel, F.N. & Oheim, R. (2024). Iron and bones effects of iron overload, deficiency and anemia treatments on bone. *JBMR Plus.*, 8, 8, 9. DOI: 10.1093/jbmrpl/ziae064.
6. Balogh, E., Paragh, G. & Jeney V. (2018). Influence of iron on bone homeostasis. *Pharmaceuticals*, 11, 107, 1–18. DOI: 10.3390/ph11040107.
7. Molenda, M. & Kolmas, J. (2023). The role of zinc in bone tissue health and regeneration – a Review. *Biol. Trace Element Res.*, 201, 5640–5651. DOI: 10.1007/s12011-023-03631-1.
8. Peng, S., Zhang, G. & Wang, D. (2023). Association of selenium intake with bone mineral density and osteoporosis: the national health and nutrition examination survey. *Frontiers in Endocrinology (open access)*, 14: 1251838, 11. DOI: 10.3389/fendo.2023.1251838.
9. Khodakov, I.V., Makarenko, O.A., Khromagina, L.M. & Mudryk, L.M. (2020). Zastosuvannia preparatu essentsialnykh zhyrnykh kyslot «Liposan-Forte» na tli tryvalogo vvedennia prednisolonu bilym shchuram [Application of the essential fatty acid's preparation “Liposan-Forte” against background of long-term administration of prednisolone in white rats]. *Visnyk stomatologii – Stomatological bulletin*, 38, 4(113), DOI: 10.35220/2078-8916-2020-38-4-9-16 [in Ukrainian].
10. Koshurba, I.V., Hladkykh, F.V. & Chyzh, M.O. (2022). Otsinka antyultserogennogo efektu kriokonservovanogo ekstraktu platsenty na modeli spyrtovo-prednisolonovogo urazhennia shlunku [Evaluation of antiulcerogenic effect of cryoconserved placenta extract on the model of ethanol-prednisolonic lesions of the gastric mucosa]. *Medychna nauka Ukrainy – Medical science of Ukraine*, 18, 2, 3–9. DOI: 10.32345/2664-4738.2.2022.01 [in Ukrainian].
11. Orthomollife – German orthomolecular vitamin complexes Orthomol. <https://orthomol.life/uk/orthomol-veg-one-kapsuly-30-dney.html>
12. Kotsiumbas, I.Ia. & Kosenko, Iu.M. (2015). *Dovidnyk kormovykh dobavok i premiksiv [Guide to feed additives and premixes]*. Lviv: TzOV VF «Afisha» Lviv: PF «Afisha» Ltd. [in Ukrainian].
13. Ibatulin, I.I., & Zhukorskyi, O.M. (Eds.) (2016). *Dovidnyk z povnotsinnoi hodivli silskohospodarskykh tvaryn [Handbook on complete feeding of farm animals]*. Kyiv: Publishing House “Agrarian Science”. <http://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/804> [in Ukrainian].
14. Kozhemyakin, Iu.M., Khromov, O.C., Filonenko, M.A. & Saifetdinova, H.A. (2002). *Nauko-vo-praktychni rekomendatsii z utrymannia laboratornykh tvaryn ta roboty z nymy [Scientific and practical recommendations for keeping and handling laboratory animals]*. Kyiv: Avitsenna. [in Ukrainian].
15. European convention for the protection of vertebral animals used for experimental and other scientific purposes. (1986). *Strasbourg. Council of Europe*, 123, 51.
16. Zakon Ukrainy «Pro zakhyst tvaryn vid zhorstokogo povodzhennia» (2006). [The Law of Ukraine «On the protection of animals from cruelty»]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy – Bulletins of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 27, 230. [in Ukrainian].
17. Makarenko, O.A., Khromagina, L.M., Khodakov, I.V., Maikova, H.V., Mudryk, L.M., Kika, V.V. & Mogilevs'ka, T.V. (2022). Metody doslidzhennia stanu kyshechnyku ta kistok u laboratornykh shchuriv. *Dovidnyk. [The methods of studying the state of the intestine and bones in laboratory rats. Guide]*. Odesa: vydavets S.L.Nazarchuk Odesa: publisher S.L. Nazarchuk.
18. Talakh, V.I. & Talakh, T.A. (2023) Vykorystannia statystychnykh funktsiy EXCEL v analitychnykh doslidzhenniakh velykykh danykh [Use of EXCEL statistical functions in analytical research of big data]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, 51, 15–21. DOI: 10.32782/2524-0072/2023-51-15 [in Ukrainian].
19. Dai, Z. & Koh, W.-P. (2015). B-vitamins and bone health – A review of the current evidence. *Nutrients*, 7, 3322–3346. DOI: 10.3390/nu7053322.
20. Bailey, R.L. & van Wijngaarden, J.P. (2015). The role of B-vitamins in bone health and disease. *Curr. Osteoporos Rep.*, 13, 256–261. DOI: 10.1007/s11914-015-0273-0.
21. Li, H., Jia, L., Deng, Z., Sun, X., Zhang, H. & Li H. (2023). The effects of selenium on the growth and bone development in the weaned rats. *Food Bioscience*, 55, 103018. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.103018.
22. Fazelnial, F. & Khodabandehloul, N. (2019). Preventive and curative effect of omega-3 supplementation on bone mineral density in people aged 60 years and older: a systematic review. *Internal Medicine and Medical Investigation J.*, 4, 1, 9–15. DOI: 10.24200/imminv.v3i4.8.
23. Sharma, T., Mandal, C.C. (2020). Omega-3 fatty acids in pathological calcification and bone health. *J Food Biochem*, №44(8), e13333. DOI: 10.1111/jfbc.13333.