

DOI: 10.21802/artm.2021.2.18.71.
УДК 611-092.4/9:616.71

ОЦІНКА МІНЕРАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ВЕЛИКОГОМІЛКОВОЇ КІСТКИ ЩУРІВ ЗА УМОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ШТУЧНОЇ МЕНОПАУЗИ ТА ВПЛИВУ ЗАГАЛЬНОЇ ВІБРАЦІЇ

Н.М. Костишин

*Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького,
кафедра нормальної фізіології, м. Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0341-5853, e-mail: kostyshyn.nm@gmail.com*

Резюме. Ранній дефіцит жіночих статевих гормонів провокує втрату кісткової тканини у різних ділянках скелету, що в подальшому вимагає терапевтичної корекції.

Мета. Оцінити стан та мінеральну щільність тканини великогомілкової кістки за умови штучно створеної менопаузи та впливу нефізіологічної загальної вібрації.

Матеріали та методи. Досліди проводились на 54-х статевозрілих щурах-самках Wistar. Щурів розділяли на три групи по 18 особин в кожній: контрольна група – хибнооперовані щури, дослідна група I – щури з проведеною оваріектомією, дослідна група II – щури після оваріектомії + загальна вібрація. Експериментальних щурів всіх груп піддавали загальній вібрації з віброприскоренням 0,3 g протягом 24 тижнів. На 8-й, 16-й та 24-й тижні експерименту проводили КТ-денситометрію кісткової тканини великогомілкової кістки.

Результати. Найбільша втрата кісткової тканини спостерігалася в дослідній групі I на 24-й тиждень експерименту, яка зменшилася на 23,5% порівняно з групою контролю. На 8-й тиждень дослідження показник не змінювався статистично, а на 16-й – знизився на 8,1%. У дослідній групі II показник кісткової щільності статистично не знизився на 8-й та 16-й тижні нашого дослідження, проте, на 24-й тиждень зменшився на -16 % до групи контролю, а порівнюючи з групою I, збільшився на +11,2% на 24-у добу. Кортикальний шар кісткової тканини великогомілкової кістки не змінювався статистично в дослідних групах по відношенню до групи контролю.

Висновки. Загальна вібрація гальмує прискорене ремоделювання після оваріектомії та не допускає стрімкої втрати кісткової тканини протягом тривалого часу.

Ключові слова: остеопороз, мінеральна щільність кісткової тканини, ремоделювання кістки, загальна вібрація.

Вступ. Остеопороз є одним із найпоширеніших метаболічних захворювань опорно-рухового апарату і характеризується зниженою мінеральною щільністю кісткової тканини. Частою причиною остеопорозу є втрата мінеральної маси, що пов'язана з дефіцитом жіночих статевих гормонів у жінок в період менопаузи [1-3]. Збільшення захворюваності на постменопаузальний остеопороз та пов'язані з ним переломи стали важливим завданням сучасної медицини [2-5]. Проте дефіцит естрогену може спостерігатися не тільки в період фізіологічної менопаузи, а й наступати передчасно після хірургічних втручань з приводу патології жіночих статевих органів.

Обґрунтування дослідження. Ряд плацебо-контрольованих досліджень показав, що замісна гормональна терапія запобігає втраті кісткової маси у жінок у періоди ранньої та пізньої менопаузи. Дослідження показали, що замісна терапія дозволила запобігти остеопоротичним переломам стегна, хребта та зап'ястя на 30-50% [6-8]. Хоча це і позитивно впливає на стан скелету для запобігання втраті кісткової маси в цілому, багатьом жінкам вона протипоказана через ряд побічних ефектів. Тому важливим є пошук сучасних методів як медикаментозного, так і немедикаментозного лікування, які не тільки покращували б стан кісткової тканини, але й мали мінімальні побічні ефекти на організм. У літературі повідомляється також, що загальна вібрація сприяє мінералізації та

ремоделюванню кісток [9-13] ймовірно через його сповільнення. Нами раніше були описані ефекти вібрації з різним рівнем віброприскорення та його руйнівний вплив на кісткову тканину. Проте, в даному дослідженні ми використовували безпечний рівень вібрації, який максимально відповідає тим параметрам, що зустрічаються під час фізичних навантажень. Ми провели аналіз мінеральної щільності гомілкової кістки у щурів за умови моделювання оваріектомії, щоб оцінити ефективність загальної вібрації всього тіла для запобігання індукованому менопаузою остеопорозу. Важливим при цьому є недопущення втрати мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ), тому ми піддавали оваріектомізованих щурів вібрації ще до розвитку остеопорозу, щоб оцінити ефективність підтримання сталого механізму ремоделювання.

Мета дослідження. Оцінити зміну мінеральної щільності кісткової тканини за умови моделювання штучної менопаузи після оваріектомії у щурів, а також немедикаментозну корекцію стану кістки за допомогою нефізіологічної вібрації.

Матеріали і методи. Експериментальне дослідження проводили на 54-х самцях щурів лінії Wistar масою 180-200 г. Усі експерименти на тваринах проводилися відповідно до біоетичних принципів та положень Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших наукових цілей, а також схвалено

етичною комісією Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького (звіт комісії з етики № 10 від 16.12. 2019 р). Тварини перебували при постійному 12-ти годинному циклі світла і темряви, температурі повітря 21-23° С та відносній вологості 60 ± 10%. Всіх тварин утримували у піднятих клітках зі сітчастим днищем для запобігання копрофагії.

Експериментальні щурі були розділені на 3 групи по 18 особин у кожній: контрольна група – щурі, що перебували за стандартних умов віварію та вживали стандартний раціон і воду *ad libitum*; I експериментальна група – оварієктомізовані щурі, II експериментальна група – оварієктомізовані щурі + загальна вібрація всього тіла. Всіх експериментальних тварин зважували кожні два тижні.



Рис. 1. Вимірювання МЦКТ гомілкових кісток щурів. Трабекулярний шар проксимального кінця великогомілкової кістки знаходився від ділянки метафізу до дистальної зони діафізу (визначена на рівні 30 % від загальної довжини кістки). Трабекулярний шар був відокремлений від кортикального шару автоматично визначеними контурними лініями під час аналізу отриманих сканів.

А – 3D-модель гомілкових кісток

Б – КТ-скан кістки, використаний для денситометричного аналізу

Для проведення оварієктомії тварин фіксували у спинному положенні. Перед операцією вводили 1 мл 10% розчину глюкози з метою профілактики гіпоглікемії, а для загальної анестезії використовували розчин уретану в дозі 0,3 г/кг. Через день після лапаротомії з оварієктомією тваринам давали стандартний раціон харчування та утримували в індивідуальній пластиковій клітці протягом семи днів.

Вертикальні вібраційні коливання моделювалися з використанням вібраційної помпи APC Rain-60 потужністю 250 Вт, максимальним тиском 7 бар та регулятора частоти напруги моделі AFC-120. До штока вібраційного насоса кріпилася вібраційна платформа з контейнером, де перебувала дослідна група щурів [14]. В усіх випадках вона дорівнювала 1,2 мм, а рівень віброприскорення становив 0,3 g. Вплив загальної вібрації всього тіла застосовували по 30 хв. 5 днів на тиждень, протягом 24-х тижнів. Після 8-го, 16-го та 24-го тижнів шістьом тваринам з кожної групи проводили евтаназію під загальним внутрішньочеревинним уретановим наркозом у дозі 0,3 г/кг.

Дослідження мінеральної щільності кісткової тканини трабекулярного шару гомілки проводили методом кількісної комп'ютерної томографії (qCT): Toshiba TSX-101 A, Aquilion 16, 2004 р., датчик з товщиною зрізу 0,5 мм, 120.0 kV, 50 mA (рис. 1). Обробка даних проводилась з використанням програми IQ view-3D, 3D post-processing workstation, certification CE 0482 and FDA 510 (k), London, United Kingdom на операційній платформі Windows 7 Professional SP 1, 32 bit (Microsoft, USA, 2009). Коефіцієнт варіації (CV) становив 0,5 % при оцінці *phantom* та 2% *in vivo*. Точність оцінки були 1% та 2,5% відповідно [15-18]. Отримані дані були виражені як середнє значення $M \pm SD$. Групи порівнювали за допомогою t-критерію Стьюдента.

Результати дослідження. У результаті проведеної рентгенівської денситометрії кісткової тканини щурів всіх дослідних груп встановлено статистично значиму зміну мінеральної щільності протягом всього експерименту. Мінеральна щільність трабекулярного шару зон інтересу гомілкових кісток контрольної групи була в межах від 268,2±26,5 до 290,7±36,1 мг/см³ (рис. 2А). Нами спостерігалось зниження МЦКТ трабекулярного шару гомілки після оварієктомії (рис. 2Б). Проте у групі II, де додатково застосовували вібрацію всього тіла (0,3 g), мінеральна щільність була значно вищою за дослідну групу I, хоча показник не досягав рівня контролю (рис. 2В).

Варто зазначити, що найбільша втрата кісткової тканини спостерігалася в дослідній групі I на 24-й тиждень експерименту, яка зменшилася на 23,5% ($p < 0,05$) порівняно з групою контролю. На 8-й тиждень дослідження показник не змінювався статистично, а на 16-й – знизився на 8,1%. У дослідній групі II показник кісткової щільності статистично не знижувався на 8-й та 16-й тижні нашого дослідження, проте на 24-й тиждень зменшився на -16% до групи контролю, порівнюючи з групою I, збільшився на +11,2 % на 24-у добу. (рис. 2В).

Щільність кортикального шару кісткової тканини не змінювалася статистично в дослідних групах по відношенню до групи контролю та коливалася в межах 621±52,0 – 682±48,2 мг/см³. Зокрема, у дослідній групі I на 8-й, 16-й та 24-й тижні вона відповідно становила 643,7±46,1 – 631,0±38,7 – 651,3±41,9 мг/см³, а в дослідній групі II – 626±57,2 – 640±54,8 – 652±58,1 мг/см³.

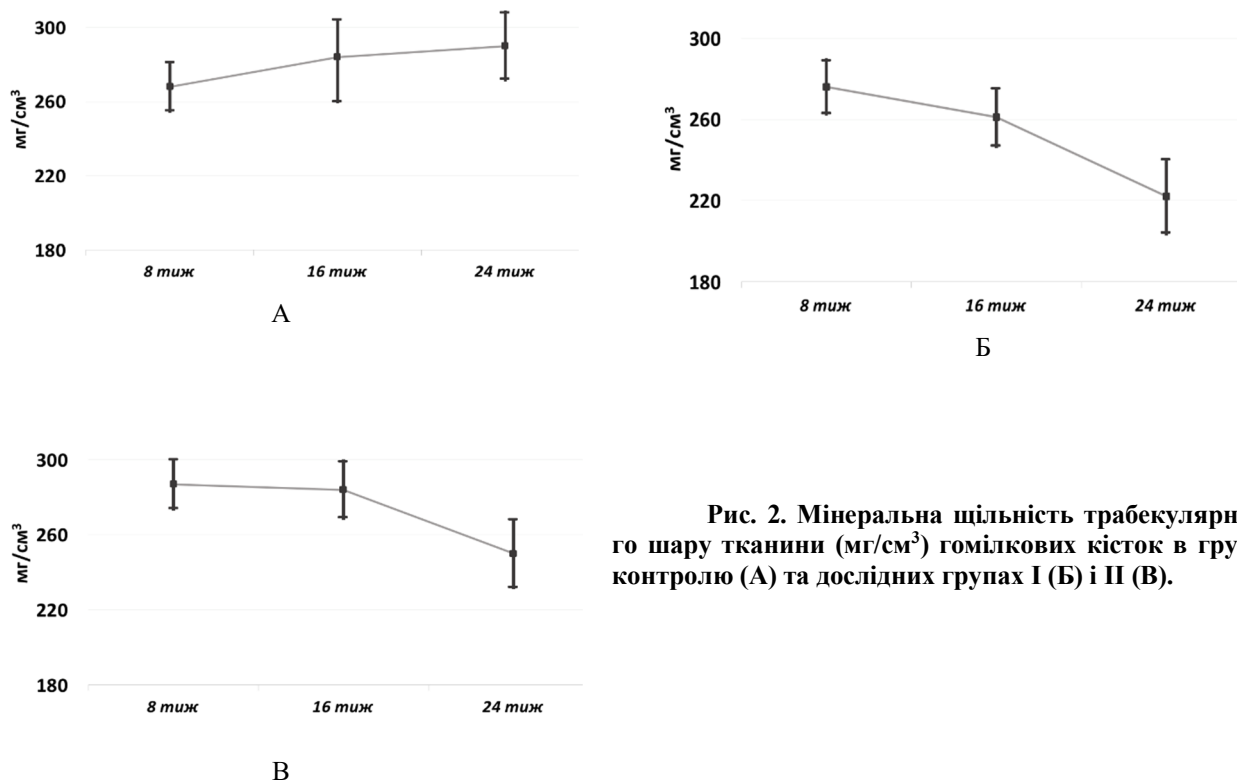


Рис. 2. Мінеральна щільність трабекулярно-го шару тканини (мг/см³) гомілкових кісток в групі контролю (А) та дослідних групах І (Б) і ІІ (В).

Обговорення результатів. Варто зазначити, що менопауза пов'язана з дисбалансом у кістковому метаболізмі, і перші п'ять-десять років після неї – це період прискореного кісткового обміну та втрати кісткової маси. Приблизно у 35% жінок у постменопаузі спостерігається втрата значної кількості мінеральних речовин в кістках протягом цього періоду і більш високий ризик розвитку переломів [7, 8]. Зниження вироблення естрогену після оварієктомії є головним фактором, що визначає цей дисбаланс, проте рівні статевих гормонів в сироватці крові не до кінця пояснюють втрату МЦКТ та збільшення ризику розвитку переломів. Отже, є інші фактори, які визначають стан кістки, зокрема це мікроструктура та стан органічного компоненту, що представлені білковими речовинами.

У нашому експериментальному дослідженні ми відзначали зниження мінеральної щільності у щурів з оварієктомією, порівнюючи зі щурами, які піддавалися вібрації. Ця позитивна кореляція між вібрацією та кістковою масою може бути зумовлена впливом підвищеного механічного навантаження на скелет. Ми також продемонстрували «негативний вплив часу» на кісткову щільність після оварієктомії у дослідних щурів. Застосування вібрації підтримувало нормальну МЦКТ протягом тривалого часу, а ж до 16-го тижня експерименту, проте на 24-й тиждень цей показник значно знижувався, але був вищим, ніж у групі І. Тому важливим є раннє виявлення остеопенії та вчасне належне лікування, яке, окрім медикаментозного антирезорбтивного лікування, має включати зміну способу життя та фізичне навантаження.

У подібних дослідженнях Dai et al. 2014, продемонстровано зниження мінеральної маси у верхньощелепній кістці щурів після проведеної оварієк-

томії [19]. Через дванадцять тижнів після операції за допомогою мікро-КТ аналізували кісткову тканину верхньощелепних кісток у 16-ти щурів, з яких 8 осіб – контрольна група, а 8 – з штучно створеною менопаузою після оварієктомії. Кісткова тканина у щурів з оварієктомією мала порушену мікроархітектуру, що включала зменшену кісткову масу, особливо трабекулярного шару. Був зроблений висновок, що оварієктомія індукує остеопороз у кістковій тканині щурів, який, можливо, пов'язаний зі збільшенням активності остеокластів. He et al. 2011, досліджували ремоделювання та регенерацію кісткової тканини після нанесення дефекту в стегновій кістці у здорових та оварієктомізованих мишей [20]. Після 6-ти тижнів у мишей з штучною менопаузою спостерігалася зниження мінеральної щільності кісткової тканини, яку вимірювали за допомогою мікро-КТ, а також погіршувалося загоєння дефекту кістки. Tao et al. у 2019 році провели дослідження, яке полягало у введенні антирезорбтивних препаратів, таких як стронцію ранелат (СР), паратиреоїдного гормону (ПТГ) та золедронові кислоти (Зол.) [21] для вивчення корекції стану кісткової тканини. Після двосторонньої оварієктомії щурі рандомно отримували носій-плацебо, СР (500 мг/кг маси тіла/день, перорально), ПТГ (20 мкг/кг/день, підшкірно) або одноразове введення Зол. (0,1 мг/кг, в/в) протягом 12-ти тижнів. Дистальні відділи стегнової кістки збирали для оцінки мінеральної щільності кісток. У щурів, які отримували Зол., спостерігалися найвищі рівні мінеральної щільності кісток, оцінені мікрокомп'ютерною томографією, біомеханічної міцності, стабілізувався метаболізм кісток. Крім того, ПТГ та СР виявляли позитивний вплив на поліпшення трабекулярної маси кістки через 12 тижнів. Результати цього дослідження

демонструють, що системне введення ПТГ, СР та Зол. може запобігти втраті кісткової маси, тоді як одна доза Зол. має кращий вплив на профілактику індукованого оваріектомією остеопорозу, ніж ПТГ або СР. Butezloff, et al., 2015 досліджували немедикаментозний вплив вібраційної терапії на формування кісткового мозоля після переломів стегнової кістки та порівнювали з якістю інтактних стегнових кісток у щурів та у щурів після оваріектомії [22]. Щурі піддавалися вібрації всього тіла (1 мм, 60 Гц протягом 20 хв. 3 рази на тиждень, протягом 14-х та 28-ми днів). Якість кістки оцінювали за допомогою денситометрії та біомеханічних параметрів. Оваріектомізовані щурі демонстрували значну втрату кісткової маси та серйозні порушення в мікроархітектурі кісток як у інтактній стегновій кістці, так і в кістковому мозолі. Вібраційна терапія всього тіла покращувала структурні параметри кісткової тканини в обох випадках.

У наших попередніх дослідженнях ми оцінювали мінеральну щільність кісткової тканини за умов ожиріння та малорухомого способу життя та корекцію стану нефізіологічною вібрацією. Механічні коливання дозволяти зберегти достатню кількість мінеральної маси протягом тривалого часу. Нефізіологічні механічні коливання з рівнем віброприскорення 0,3 g змінюють ремоделювання кісток у щурів за умови моделювання ожиріння та малорухомого способу життя [12-13]. Ці навантаження не призводили до гострого ушкодження кісткової тканини трабекулярного та кортикального шарів гомілки та сповільнювали втрату мінеральної маси в період менопаузи. Дані ефекти є корисними для профілактики та доповнення до медикаментозної терапії остеопенії та втрати мінеральної щільності великогомілкової кістки, що досліджено на тваринній моделі.

Висновки:

1. Передчасна менопауза призводить до зниження мінеральної щільності кісткової тканини гомілкової кістки у щурів.
2. Загальна вібрація з рівнем віброприскорення 0,3 g гальмує прискорене ремоделювання кістки за експериментальної моделі оваріектомії, не допускаючи втрати мінеральної щільності.

References:

1. Sözen T, Özişik L, Başaran NÇ. An overview and management of osteoporosis. *European journal of rheumatology*. 2017; 4(1):46.
2. Lobo RA. Menopause and aging. In Yen and Jaffe's reproductive endocrinology. 2019. P.322-356.
3. Khosla S, Monroe DG. Regulation of bone metabolism by sex steroids. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*. 2018; 8(1):a031211.
4. Ohnaka K. Aging and homeostasis. Sex hormones and aging. *Clinical calcium*. 2017; 27(7):947-954.
5. Povoroznyuk VV, Dzerovich NI, Karasevskaya TA. Bone mineral density in Ukrainian women of different age. *Annals-new york academy of sciences*. 2007; 1119:243.
6. Fistarol M, Rezende CR, Figueiredo Campos AL, Kakehasi AM, Geber, S. Time since menopause, but not age, is associated with increased risk of osteoporosis. *Climacteric*. 2019; 22(5):523-526.

7. Ji MX, Yu Q. Primary osteoporosis in postmenopausal women. *Chronic diseases and translational medicine*. 2015; 1(1):9.
8. Thulker J, Singh S, Sharma S, Thulker T. Preventable risk factors for osteoporosis in postmenopausal women: Systematic review and meta-analysis. *Journal of mid-life health*. 2016; 7(3):108.
9. Lam TP, Ng BW, Cheung LH, Lee KM, Qin L, Cheng JY. Effect of whole body vibration (WBV) therapy on bone density and bone quality in osteopenic girls with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized, controlled trial. *Osteoporosis international*. 2013; 24(5):1623-1636.
10. Huang CC, Tseng TL, Huang WC, Chung YH, Chuang HL, Wu JH. Whole-body vibration training effect on physical performance and obesity in mice. *International journal of medical sciences*. 2014; 11(12):1218.
11. Minematsu A, Nishii Y, Imagita H, Sakata S. Whole body vibration at low-frequency can increase trabecular thickness and width in adult rats. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions* 2019; 19(2):169.
12. Kostyshyn NM, Gzhegotskyi MR. Influence of whole body vibration on structural properties of bone in conditions of obesity and limited mobility. *Experimental and Clinical Physiology and Biochemistry*. 2020; 90(2):14-20
13. Kostyshyn N, Kulyk Y, Kostyshyn L, Gzhegotskyi M. Metabolic and Structural Response of Bone to Whole-Body Vibration in Obesity and Sedentary Rat Models for Osteopenia. *Romanian Journal of Diabetes Nutrition and Metabolic Diseases*. 2020; 27:200-208.
14. Kostyshyn NM, Grzegotsky MR, Servetnyk MI. Assessment of structural and functional condition of rats bone tissue under the influence of various parameters of vibration. *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*, 2018; 31(3):148-153.
15. De Souza Balbinot G, Leitune VB, Ponzoni D, Collares FM. Bone healing with niobium-containing bioactive glass composition in rat femur model: A micro-CT study. *Dental Materials*. 2019; 35(10):1490-1497.
16. Cory E, Nazarian A, Entezari V, Vartanians V, Müller R, et al. Compressive axial mechanical properties of rat bone as functions of bone volume fraction, apparent density and micro-ct based mineral density. *Journal of biomechanics*. 2010; 43(5):953-960.
17. Bagi CM, Hanson N, Andresen C, Pero R, Lariviere R, Turner CH, et al. The use of micro-CT to evaluate cortical bone geometry and strength in nude rats: correlation with mechanical testing, pQCT and DXA. *Bone*. 2006; 38(1):136-144.
18. Parsa A, Ibrahim N, Hassan B, van der Stelt P, Wismeijer D. Bone quality evaluation at dental implant site using multislice CT, micro-CT, and cone beam CT. *Clinical oral implants research*. 2015; 26(1):e1-e7.
19. Dai QG, Zhang P, Wu YQ, Ma XH, Pang J, Jiang LY, Fang B. Ovariectomy induces osteoporosis in the maxillary alveolar bone: an in vivo micro-CT and histomorphometric analysis in rats. *Oral diseases*. 2014; 20(5):514-520.

20. He YX, Zhang G, Pan XH, Liu Z, Zheng LZ, Chan CW, et al. Impaired bone healing pattern in mice with ovariectomy-induced osteoporosis: A drill-hole defect model. *Bone*. 2011; 48(6):1388-1400.
21. Tao ZS, Zhou WS, Wu XJ, Zhang X, Wang L, Xie JB, et al. Prevention of ovariectomy-induced osteoporosis in rats. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*. 2019; 52(2):139-147.
22. Butezloff MM, Zamarioli A, Leoni GB, Sousa-Neto MD, Volpon JB. Whole-body vibration improves fracture healing and bone quality in rats with ovariectomy-induced osteoporosis. *Acta cirurgica brasileira*. 2015; 30(11):727-735.

УДК 611-092.4/9:616.71

**ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ
БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ КРЫС В
УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ИСКУССТВЕННОЙ МЕНОПАУЗЫ И ВЛИЯНИИ
ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ**

Н.М. Костишин

*Львовский национальный медицинский университет
им. Данила Галицкого, кафедра нормальной
физиологии, г. Львов, Украина,
ORCID ID: 0000-0003-0341-5853,
e-mail: kostyshyn.nm@gmail.com*

Резюме. Ранний дефицит женских половых гормонов провоцирует потерю костной ткани в различных участках скелета, которое в дальнейшем требует терапевтической коррекции.

Цель. Оценить состояние и минеральную плотность ткани большеберцовой кости при искусственно созданной менопаузе и влиянии общей вибрации.

Материалы и методы. Опыты проводились на 54-х половозрелых крысах-самках Wistar. Крыс разделяли на три группы по 18 особей в каждой: контрольная группа – ложнооперированные крысы, экспериментальная группа I – крысы из проведенной овариэктомии, экспериментальная группа II – крысы после овариэктомии + общая вибрация. Экспериментальных крыс всех групп подвергали общей вибрации с виброускорением 0,3 г в течении 24-х недель. На 8-й, 16-й и 24-й неделе эксперимента проводили КТ-денситометрию костной ткани большеберцовой кости.

Результаты. Наибольшая потеря костной ткани наблюдалась в опытной группе I на 24-й неделе эксперимента, которая уменьшилась на 23,5% по сравнению с группой контроля. На 8-й неделе исследования показатель не менялся статистически, а на 16-й – снизился на 8,1%. В опытной группе II показатель костной плотности статистически не снижался на 8-й и 16-й неделе нашего исследования, однако, на 24-й неделе уменьшился на 16% к группе контроля, а по сравнению с группой I увеличился на +11,2 % на 24-е сутки. Кортикальный слой костной ткани большеберцовой кости не менялся статистически во всех опытных группах по отношению к группе контроля.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что общая вибрация тормозит ускорение ремоделирования после овариэктомии и не допускает стремительной потери костной ткани в течение длительного времени.

Ключевые слова: остеопороз, минеральная плотность костной ткани, ремоделирование кости, общая вибрация.

UDC 611-092.4/9:616.71

**BONE MINERAL DENSITY OF THE RATS TIBIA
AFTER MODELING OF ARTIFICIAL
MENOPAUSE AND INFLUENCE OF WHOLE
BODY VIBRATION**

N.M. Kostyshyn

*Danylo Halytsky Lviv National Medical University,
Department of Normal Physiology, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0341-5853,
e-mail: kostyshyn.nm@gmail.com*

Abstract. Early deficiency of female sex hormones provokes bone loss in various parts of the skeleton, which further requires therapeutic correction. However, it is known that vibrational oscillations are anabolic for the trabecular layer of bone, which have been studied in both animal models and humans under physiological norms. It is likely that this anabolic reaction does not occur evenly throughout the skeleton, on the one hand, due to the cushioning properties of muscle tissue, ligaments, joints, and resonance, on the other.

The aim is to assess the condition and mineral density of the tibia under the condition of artificial menopause and the influence of non-physiological whole body vibration (WBV) with acceleration 0,3 g.

Materials and methods. The experiments were performed on 54 adult female Wistar rats. Rats were divided into three groups: control group (n=18) – SHAM surgery, experimental group I (n=18) - rats with ovariectomy, experimental group II (n=18) - rats after ovariectomy + WBV. Rats of were subjected to total vibration with acceleration of 0,3 g for 30 minutes 5 days a week for 24 weeks. At the 8th, 16th and 24th week of the experiment CT-densitometry of the tibia was performed.

Results. The greatest loss of bone tissue was observed in experimental group I at the 24th week of the experiment, which decreased by 23.5% compared with the control group. At the 8th week of the study, the rate did not change statistically, and at the 16th - decreased to 8.1%. In experimental group II, bone density did not decrease statistically at the 8th and 16th week of our study, however, at the 24th week decreased by -16% to the control group, and compared with group I, increased by +11,2 % on the 24th day. The cortical layer of the tibial bone tissue did not change statistically in the experimental groups in relation to the control group. Factors that can affect the anabolic response in the tissues of the musculoskeletal system are the parameters of

vibration, in particular the frequency and level of vibration acceleration. In our experimental study, we observed a decrease in bone mineral density in rats with ovariectomy and compared with ovariectomized rats subjected to vibration. We observed a positive correlation between whole body vibration and bone mass increase, which may be due to the effect of increased mechanical stress on the skeleton. We also demonstrated the negative effect of time after ovariectomy on bone density in experimental rats. The use of vibration maintained normal bone mineral density for a long time, and until the 16th week of the experiment, but at the 24th week, rate decreased significantly compared with the control group, but was higher than in group I. Analysis of CT scans showed high values of mineral density in experimental

group II (ovariectomy + WBV) compared with experimental group I.

Conclusions. The obtained results allow us to conclude that the WBV inhibits the accelerated remodeling after ovariectomy and prevents the rapid loss of bone tissue for a long time. To this end, mechanical vibrations should be used in the early menopause to maintain normal bone mineral mass. This therapy can be used alone and as an adjunct to osteoporosis medication. Therefore, early detection of osteopenia and timely appropriate treatment is important, which, in addition to antiresorptive drug treatment, should include lifestyle changes and exercise.

Keywords: osteoporosis, bone mineral density, bone remodeling, whole body vibration.

Стаття надійшла в редакцію 18.03.2021 р.