

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН ВМІСТУ МАКРОЕЛЕМЕНТІВ У КІСТКАХ КОЛІННОГО СУГЛОБА ПРИ ЙОГО ДІАБЕТИЧНОМУ УШКОДЖЕННІ**Тернопільський національний медичний університет ім. І. Я. Горбачевського МОЗ України
(м. Тернопіль, Україна)**

hnatjuk@tdmu.edu.ua

Діабетичні артропатії нерідко зустрічаються у клінічній практиці. При вказаних патологічних станах пошкоджуються також кістки, структурні зміни яких при цьому досліджені недостатньо. Виходячи з наведеного метою дослідження було вивчення макроелементного складу стегнової та великогомілкової кісток при діабетичній артропатії колінного суглоба.

За допомогою атомно-абсорбційного спектрального аналізу вивчено вміст кальцію, фосфору, магнію, натрію, відношення вмісту кальцію до фосфору у стегновій та великогомілковій кістках 45 білих щурів-самців, які були поділені на 3 групи. 1-а група включала 15 інтактних тварин, 2-а – 15 щурів з місячною діабетичною артропатією колінного суглоба, 3-я – 15 тварин з двомісячним діабетичним пошкодженням вказаного суглоба. З колінних суглобів, стегнової та великогомілкової кісток виготовляли гістологічні мікропрепарати, на яких гістостереометрично визначали відносні об'єми остеобластів, остеокластів, ушкоджених хондроцитів та синовіоцитів. Між гістостереометричними показниками та вмістом макроелементів проводився кореляційний аналіз. Експериментальну гіперглікемію моделювали внутрішньоочеревинним одноразовим введенням стрептозоцину фірми «Sigma» в дозі 50 мг/кг. Діабетична артропатія при цьому характеризувалася судинними розладами у синовіальній оболонці суглоба у вигляді вираженого розширення та повнокров'я переважно венозних судин, дегенеративними процесами у хрящових поверхнях стегнової та великогомілкової кісток. У останніх відмічалися осередки з деструктивними процесами, порожнини резорбції, порушення гістоструктури кісткової тканини, зниження числа остеобластів та зростання кількості остеокластів. Діабетична артропатія колінного суглоба супроводжувалася диспропорційним, нерівномірним зменшенням вмісту фосфору, кальцію, магнію, зростанням вмісту натрію, зміною відношення вмісту кальцію до фосфору в досліджуваних кістках. Виявлені зміни в колінному суглобі, стегновій і великогомілковій кістках призвели до порушення процесів хондрогенезу, мінералізації та остеогенезу. Дисбаланс між вмістом макроелементів найбільш вираженим виявився при двомісячній діабетичній артропатії колінного суглоба і у великогомілковій кістці.

Ключові слова: колінний суглоб, діабетична артропатія, макроелементи, стегнова, великогомілкова кістки.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. Робота є фрагментом науково-до-

слідної роботи Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України «Структурно-функціональні закономірності перебігу адаптаційно-компенсаторних процесів в органах та системах при оперативних втручаннях на органах черевної та грудної порожнин в умовах дії токсичних ендогенних та екзогенних факторів» (№ державної реєстрації 0121U4003149).

Вступ. Сьогодні цукровий діабет є розповсюдженим захворюванням, яке має тенденцію до зростання, нерідко призводить до інвалідності та смертності хворих і є важливою медичною та соціальною проблемою. Пошкодження суглобів у пацієнтів з гіперглікемією є нерідким ускладненням. За даними багатьох дослідників більш ніж у 50 % хворих на цукровий діабет 1 та 2 типу діагностують артропатію, тобто діабет-асоційований остеоартрит [1, 2]. При вказаній патології внаслідок енергетичного дефіциту порушуються вуглеводний, білковий, мінеральний обмін, виникають гормональні розлади, ангіо- і нейропатії, зміни реології і гемодинаміки у гемомікроциркуляторному руслі, що ускладнюється резорбцією кісткової тканини в результаті дисбалансу остеоластної і остеокластної активності [1, 2]. Внаслідок високої глікозотоксичності відбувається накопичення кінцевих продуктів гліколізу, активація оксидативного стресу, а також розвиток низькорівневого запалення на організменному рівні. Ці фактори обумовлюють аномальне ремоделювання хрящової, синовіальної, кісткової тканини та біохімічні зміни, що ускладнюється діабет-асоційованою артропатією [1, 3, 4].

Колінний суглоб, який є активним суглобом людського організму, утворюють стегнова, великогомілкова кістки та надколінник. Варто зазначити макроелементний склад стегнової та великогомілкової кісток при діабетичній артропатії колінного суглоба залишається маловивченими. У той же час, дослідження вмісту макроелементів у кістковій тканині є важливим для пояснень фізіологічного та репаративного остеогенезу [3].

Мета дослідження – визначити особливості макроелементного складу стегнової та великогомілкової кісток при діабетичній артропатії колінного суглоба.

Об'єкт і методи дослідження. Атомно-абсорбційним спектральним аналізом [5] досліджено вміст макроелементів у стегновій та великогомілковій кістках 45 лабораторних статевозрілих білих щурів-самців, які були розділені на 3 групи. 1-а група нараховувала 15 інтактних практично здорових тварин, 2-а – 15 щурів з місячною діабетичною артропатією колінного суглоба, 3-я – 15 тварин з двомісячною вказаною патологією. Цукровий діабет моделювали шляхом одноразового внутрішньоочеревинного вве-

дення стрептозоточину фірми «Sigma» у дозі 50 мг/кг. Евтаназію тварин здійснювали через місяць та два місяці кровопусканням в умовах тіопенталового наркозу. Стегнову та великогомілкову кістки очищали від м'яких тканин і атомно-абсорбційним спектральним аналізом у вказаних кістках визначали вміст кальцію, фосфору, магнію, натрію, відношення вмісту кальцію до фосфору. Із колінного суглоба, стегнової та великогомілкової кісток виготовляли також гістологічні мікропрепарати [6], на яких морфометрично визначали відносні об'єми ушкоджених синовіоцитів (ВОУС), зрілих хондроцитів (ВОЗХ), відносні об'єми остеокластів (ВООК) та остеобластів (ВООСБ) [7]. Морфометрію структур колінного суглоба, стегнової та великогомілкової кісток виконували за допомогою світлового мікроскопа Olimpus VX-23 з цифровою відеокамерою та пакетом прикладних програм «Відео-тест 5,0» та «Відео-розмір 5,0». Проводили кореляційний аналіз між вмістом макроелементів та досліджуваними гістостереометричними показниками суглоба і кісток із визначенням коефіцієнта (r) кореляції. Силу зв'язку оцінювали за чотирма ступенями: сильний (r=0,7-0,9), значний (r=0,5-0,7), помірний (r=0,3-0,5), слабкий (r<0,3) [7].

Отримані кількісні показники обробляли статистично. Обробку отриманих результатів виконано у відділі системних статистичних досліджень Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України у програмному пакеті STATISTIKA (Stat.Soft. Inc, США). Різницю між

Таблиця 1 – Вміст макроелементів у кістках колінного суглоба експериментальних тварин (M±m)

Показник	Група спостереження		
	1-а	2-а	3-я
Стегнова кістка			
Ca, мг/г	109,6±1,2	101,90±0,93**	98,40±0,84**
P, мг/г	83,90±0,72	75,10±0,66***	71,50±0,63***
Ca/P	1,30±0,02	1,36±0,02*	1,38±0,02*
Mg, мг/г	1,90±0,02	1,74±0,02***	1,58±0,02***
Na, мг/г	6,12±0,05	6,46±0,04**	6,70±0,06***
Великогомілкова кістка			
Ca, мг/г	109,8±1,2	97,90±0,93***	94,80±0,87***
P, мг/г	83,30±0,72	70,30±0,63***	66,56±0,63***
Ca/P	1,32±0,02	1,39±0,02**	1,42±0,02**
Mg, мг/г	1,92±0,02	1,68±0,02***	1,48±0,02***
Na, мг/г	6,12±0,04	6,52±0,05***	6,96±0,05***

Примітки: * – p<0,05, ** – p<0,01, *** – p<0,001 порівняно з 1-ю групою.

Таблиця 2 – Морфометрична характеристика структур колінного суглоба у експериментальних тварин (M±m)

Показник	Група спостереження		
	1-а	2-а	3-я
ВОУЗХ, %	2,12±0,02	14,68±0,15***	15,24±0,16***
ВОУС, %	2,16±0,02	17,14±0,15***	21,52±0,18***
ВООБС, %	28,22±0,18	22,43±0,16***	15,66±0,14***
ВООКС, %	2,10±0,02	6,66±0,03***	12,54±0,06***
ВООБВ, %	28,24±0,18	21,64±0,15***	13,42±0,15***
ВООКВ, %	2,10±0,02	7,72±0,04***	14,36±0,12***

Примітки: *** – p<0,001 порівняно з 1-ю групою. С-стегнова кістка, Вг-великогомілкова кістка.

порівнювальними показниками визначали за критеріями Стьюдента та Манна-Уїтні [8].

Варто вказати, що здійснені експериментальні дослідження та евтаназію дослідних тварин виконували із дотриманням «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим національним конгресом з біоетики (Київ, 2001) та відповідно до «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються в дослідних та інших цілях» [9].

Результати дослідження та їх обговорення. Отримані у результаті проведеного дослідження дані, показані у **таблицях 1, 2.** Усестороннім аналізом встановлено, що вміст досліджуваних макроелементів у неушкоджених стегнової та великогомілкової кістках та кількісні морфологічні показники їх структур були однаковими. При експериментальній гіперглікемії у всіх спостереженнях 2-ї та 3-ї груп виявлено артропатію колінного суглоба, яка підтверджувалася гістологічно (дегенеративні, дистрофічні та некробіотичні зміни у хрящовій тканині та синовіальній оболонці) та морфометрично (збільшення відносних об'ємів ушкоджених синовіоцитів та хондроцитів).

Проведеним усестороннім аналізом отриманих даних встановлено, що вже при місячній діабетичній артропатії вміст макроелементів суттєво змінювався. Так, у стегнової кістці вміст кальцію при місячній артропатії статистично достовірно (p<0,001) зменшився на 7,0%, а у великогомілковій – на 9,0% (p<0,001), при двомісячній артропатії досліджувані показники відповідно змінилися на 10,8% та 13,7% (p<0,001).

Вміст фосфору у досліджуваних кістках також змінювався. При місячній змодельованій патології вказаний макроелемент у стегнової кістці виявився зменшеним на 10,5% (p<0,001), у великогомілковій – на 16,4%, при двомісячному пошкодженні колінного суглоба в умовах експериментального цукрового діабету досліджувані показники виявилися зменшеними відповідно на 14,7% та 20,1% (p<0,001).

Відомо, що кальцій і фосфор є основними макроелементами кісткової тканини, які складають основу її твердої речовини [10, 11]. Зміни вмісту даних базових хімічних середників призводить до порушень мінералізації кістки та остеогенезу [3, 10, 11].

Отримані та проаналізовані показники свідчать, що вміст кальцію і фосфору в досліджуваних кістках зменшувався нерівномірно, диспропорційно, що адекватно відображало відношення між вмістом вказаних макроелементів. Так, при місячній діабетичній артропатії відношення кальцієм та фосфором у стегнової кістці статистично достовірно збільшилося на 4,6% (p<0,05), у великогомілковій – на 6,1% (p<0,01), при двомісячній артропатії наведені показники відповідно змінилися – на 5,3% та 7,6% (p<0,01) порівняно з аналогічним контролем.

Варто зазначити, що магній – один з поширених макроелементів у людському організмі. Відомо, що третина магнію локалізована в кістках і виконує функцію депо [10]. При місячній діабетичній артропатії колінного суглоба вміст магнію у стегнової кістці статистично достовірно (p<0,01), зменшився на 8,4%, при двомісячній вказаній патології – на 16,8% (p<0,001). Зменшення кількості магнію призводить до гіпокальцемії, сповільнення росту кісток, прискорення процесів резорбції, зменшення маси кісток, остеопорозу

[10, 11]. У великогомілковій кістці при змодельованому патологічному процесі вміст магнію зменшився відповідно на 12,6% та 22,9% ($p < 0,001$).

Вміст у досліджуваних кістках натрію при змодельованій експериментальній гіперглікемії зростає. Так, при місячній діабетичній артропатії колінного суглоба вміст вказаного хімічного середника у стегновій збільшився на 5,5% ($p < 0,01$). У великогомілковій кістці в умовах даного експерименту зростання вмісту натрію дорівнювало 6,5% ($p < 0,01$). При двомісячній діабетичній артропатії скронево-нижньощелепного суглоба вміст натрію у стегновій кістці з вираженою статистично достовірною різницею ($p < 0,001$) збільшився на 9,4%, а у великогомілковій – на 13,7% ($p < 0,001$).

Гістологічно відмічалися дегенеративні процеси у хрящах стегнової та великогомілкової кісток. У досліджуваних кістках спостерігалися порожнини резорбції, мозаїчно забарвлені ділянки з вираженим деструктивним процесом.

Виявлялося зменшення кількості остеобластів, зростання числа остеокластів, відмічалися зони патологічного кісткоутворення, що характеризувалися збільшенням кількості атипових кісткових балок з порушеною гістологічною структурою, що визначалося за розростанням клітинно-волокнистої тканини в міжбалкових просторах. Виявлені морфологічні зміни домінували у великогомілковій кістці. Наведене, а також вираженіший дисбаланс між вмістом макроелементів у вказаній кістці при змодельованій артропатії пояснюється дещо більшим навантаженням, яке припадає на неушкоджену великогомілкову кістку, а також при патологічних станах.

Проведеними дослідженнями встановлено, що діабетична артропатія колінного суглоба суттєво змінює вміст макроелементів у стегновій та великогомілкових кістках. Варто зазначити, що вміст основних макроелементів (кальцію і фосфору) у досліджуваних кістках знижується нерівномірно та диспропорційно, суттєво порушуючи баланс між ними, що адекватно підтверджувалося змінами відношень між вмістом вказаних хімічних речовин. Найвираженіше вміст досліджуваних макроелементів у стегновій та великогомілковій кістках виявився зміненим

при двохмісячній діабетичній артропатії колінного суглоба. Необхідно зазначити, що вміст натрію в умовах досліджуваного експерименту в досліджуваних кістках зростає, виражено порушуючи дисбаланс між кістковими макроелементами. Виявлені диспропорційні зміни макроелементів у стегновій та великогомілковій кістках при експериментальному цукровому діабеті свідчать про неоднорідність та порушення механізмів перебігу процесів остеогенезу та мінералізації у цих кістках [3, 10, 11].

Найбільш виражені кореляційні зв'язки виявлені у 3-й групі спостережень між досліджуваними макроелементами та морфометричними параметрами досліджуваних структур. Проведеним кореляційним аналізом встановлено наявність значних негативних кореляційних взаємозв'язків між відносними об'ємами остеокластів та вмістом у кістках кальцію і фосфору ($r = -0,66 \pm 0,03$). Більшої сили позитивні взаємозв'язки виявлені між вказаним гістостереометричним параметром та співвідношенням Ca/P ($r = +0,83 \pm 0,04$). Між відносними об'ємами пошкоджених синовіоцитів та хондроцитів у 3-й групі спостережень та вмістом натрію у досліджуваних кістках коефіцієнт кореляції коливався у межах від 0,53 до 0,65 (значні взаємозв'язки). Виявлені кореляційні зв'язки свідчили, що дисбаланс між вмістом основних макроелементів у кістковій тканині суттєво впливає на хондрогенез, мінералізацію і остеогенез.

Висновки. Змодельована діабетична артропатія колінного суглоба призводить до нерівномірного, диспропорційного зниження вмісту кальцію, фосфору, магнію та збільшення натрію у стегновій та великогомілковій кістках. Найвираженіший дисбаланс між вмістом досліджуваних макроелементів виявлений при двохмісячній діабетичній артропатії колінного суглоба та у великогомілковій кістці, який впливає на порушення процесів хондрогенезу, мінералізації та остеогенезу.

Перспективи подальших досліджень. Всестороннє вивчення вмісту макроелементів у кістковій тканині при діабетичних артропатіях дозволить при цьому суттєво покращити діагностику, корекцію та профілактику уражень кісток.

Література

1. Orlenko VL. Hormonalni kharakterystyky diabet-asotsiyovanykh osteoartrytiv. Visnyk problem biolohiyi ta medytsyny. 2020;2(159):138-143. [in Ukrainian].
2. Kryzyna OV. Trofichni porushennya tkanyn nyzhnikh kintsivok pry tsukrovomu diabeti 2 typu. Klinichna endokrynolohiya ta endokryнна khirurgiya. 2018;1(6):15-24. [in Ukrainian].
3. Luyantseva GV. Osobennosti khimicheskogo sostava kostey belykh kryv posle dvukhmesyachnogo upotrebleniya natriya benzola i vozmozhnosti yego korrektsii. Ukrainskiy morfologichniy almanakh. 2014;12(4):61-66. [in Russian].
4. Berenbaum F. Diabetes induced osteoarthritis from a new paradigm to a new phenotype. Ann.Rheum.Dis. 2011;70(8):1354-1356.
5. Britske EM. Atomno-absorbtsionnyy spektralnyy analiz. Moskva: Khimiya; 1982. 244 s. [in Russian].
6. Horalskiy LP, Khomych VP, Konopskiy OI. Osnovy histolohichnoyi tekhniki i morfofunktsionalni metody doslidzhennya v normi i pry patolohiyi. Zhytomyr: Polissia; 2011. 288 s. [in Ukrainian].
7. Avtandylov GG. Osnovy kolychestvennoy patolohicheskoy anatomii. Moskva: Medytsyna; 2002. 240 s. [in Russian].
8. Gzhibovskiy AI, Ivanov OI, GorbatoVA MA. Sravneniye kolichestvennykh dannykh dvukh parnykh vyborok s ispol'zovaniyem programmogo obespecheniya Statistika i SPSS: parametricheskiye i neparametricheskiye kriterii. Nauka i zdravookhraneniye. 2016;3:5-25. [in Russian].
9. Zaporozhan VM, Ariaiev ML. Bioetyka i biobezpeka. Kyiv: Zdorovia; 2013. 456 s. [in Ukrainian].
10. Husak YeV, Pohorelov MV, Tkach HF, Danylchenko SM. Mikroelementnyy sklad dovhykh ta mishanykh kistok skeleta v normi. Ukrain'skiy morfologichniy al'manakh. 2010;8(4):51-55. [in Ukrainian].
11. Luk'yantseva HV, Pastukhova VA, Kovalchuk OH, Dutchak UM. Zminy khimichnoho skladu kistok shchuriv pid vplyvom zhovtoho barvnyka tartrazynu. Svit medytsyny ta biolohiyi. 2019;4(70):203-208. [in Ukrainian].

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН ВМІСТУ МАКРОЕЛЕМЕНТІВ У КІСТКАХ КОЛІННОГО СУГЛОБА ПРИ ЙОГО ДІАБЕТИЧНОМУ УШКОДЖЕННІ**Татарчук Л. В., Гнатюк М. С., Монастирська Н. Я., Вадзюк Н. С.**

Резюме. Пошкодження суглобів у хворих на цукровий діабет є досить частим ускладненням. Особливості змін макроелементів у стегнової та великогомілкової кістках і структура колінного суглоба при цукровому діабеті вивчені недостатньо.

Мета дослідження – визначити особливості макроелементного складу стегнової та великогомілкової кісток при діабетичній артропатії колінного суглоба.

Об'єкт і методи дослідження. Атомно-абсорбційним спектральним аналізом досліджено вміст макроелементів (кальцію, фосфору, магнію, натрію), відношення вмісту кальцію до фосфору у стегнової та великогомілкової кістках 45 лабораторних статевозрілих білих щурів-самців, які були розділені на 3 групи. 1-а група нараховувала 15 інтактних практично здорових тварин, 2-а – 15 щурів з місячною діабетичною артропатією колінного суглоба, 3-я – 15 тварин з двомісячною вказаною патологією. Із суглоба, стегнової та великогомілкової кісток виготовляли також гістологічні мікропрепарати, на яких визначали відносні об'єми ушкоджених хондроцитів, синовіоцитів, у кістковій тканині – відносні об'єми остеобластів та остеокластів. Проводили кореляційний аналіз між досліджуваними морфометричними показниками та вмістом макроелементів. Цукровий діабет моделювали шляхом одноразового внутрішньоочеревинного введення стрептозотоцину фірми «Sigma» у дозі 50 мг/кг. Кількісні показники обробляли статистично.

Результати дослідження та їх обговорення. Встановлено, що при діабетичній артропатії колінного суглоба диспропорційно та нерівномірно зменшується вміст фосфору, кальцію, магнію, вміст натрію зростає у кістковій тканині стегнової та великогомілкової кістках. Виявлено, що вміст кальцію у стегнової кістці при місячній діабетичній артропатії зменшився на 7,0%, а у великогомілкової – на 9,0%, при двомісячній артропатії досліджувані показники відповідно змінилися на 10,8% та 13,7% ($p < 0,001$), фосфору – відповідно на 10,5%, 16,4%, 14,7% і 20,1%. Вміст магнію при місячній діабетичній артропатії колінного суглоба у стегнової кістці зменшився на 8,4%, у великогомілкової – на 12,6%, при двохмісячному перебігу змодельованої патології – відповідно на 16,8% та 22,9% ($p < 0,001$). Вміст натрію у стегнової кістці та великогомілкової у досліджуваних експериментальних умовах збільшувався. При змодельованій гіперглікемії суттєво змінювалося відношення Ca/P і залежало від тривалості діабетичної артропатії та домінувало у великогомілкової кістці.

Змодельована діабетична артропатія колінного суглоба призводить до нерівномірного, диспропорційного зниження вмісту кальцію, фосфору, магнію та збільшення натрію у стегнової та великогомілкової кістках. Найвираженіший дисбаланс між вмістом досліджуваних макроелементів виявлений при двохмісячній діабетичній артропатії колінного суглоба та у великогомілкової кістці, який впливає на порушення процесів хондрогенезу, мінералізації та остеогенезу.

Ключові слова: колінний суглоб, діабетична артропатія, макроелементи, стегнова, великогомілкова кістки.

PECULIARITIES OF CHANGES IN THE CONTENT OF MACROELEMENTS IN THE BONES OF THE KNEE JOINT AT ITS DIABETIC DAMAGE**Tatarchuk L. V., Hnatjuk M. S., Monastyrskaya N. Ya., Vadzyuk N. S.**

Abstract. Joint damage in patients with diabetes is a fairly common complication. Features of changes in macroelements in the femur and tibia and the structure of the knee joint in diabetes have not been studied enough.

The purpose of research – to study the features of the macroelement composition of the femur and tibia in diabetic arthropathy of the knee joint.

Methods and Material. The content of macroelements (calcium, phosphorus, magnesium, sodium), the ratio of calcium to phosphorus in the femur and tibia of 45 laboratory mature white male rats, which were divided into 3 groups were examined by atomic absorption spectral analysis. The 1 group consisted of 15 intact practically healthy animals, the 2 – 15 rats with monthly diabetic arthropathy of the knee joint, the 3 – 15 animals with two-month of this pathology. Histological micropreparations were also made from the joint, femur and tibia, which were used to determine the relative volumes of damaged chondrocytes and synoviocytes, and the relative volumes of osteoblasts and osteoclasts in bone tissue. A correlation analysis was performed between the studied morphometric parameters and the content of macroelements. Diabetes mellitus was simulated by a single intraperitoneal administration of Sigma streptozotocin at a dose of 50 mg/kg. Quantitative indicators were processed statistically.

Results and Discussion. It has been established that in diabetic arthropathy of the knee joint the content of phosphorus, calcium, magnesium decreases disproportionately and unevenly, the sodium content increases in the bone tissue of the femur and tibia. The calcium content in the femur in monthly diabetic arthropathy decreased by 7.0%, and in the tibia – by 9.0%, in two-month arthropathy, the studied indicators changed by 10.8% and 13.7%, respectively ($p < 0.001$), phosphorus – by 10.5%, 16.4%, 14.7% and 20.1%, respectively. The content of magnesium in monthly diabetic arthropathy of the knee joint in the femur decreased by 8.4%, in the tibia – by 12.6%, in the two-month course of simulated pathology – by 16.8% and 22.9%, respectively ($p < 0.001$). The sodium content in the femur and tibia in the studied experimental conditions increased. The Ca/P ratio changed significantly in simulated hyperglycemia and depended on the duration of diabetic arthropathy and dominated the tibia.

Simulated diabetic arthropathy of the knee joint leads to an uneven, disproportionate decrease of calcium, phosphorus, magnesium and an increase of sodium in the femur and tibia. The most pronounced imbalance between the content of the studied macroelements was found in two-month of diabetic arthropathy of the knee joint and in the tibia, which affects the violation of the processes of chondrogenesis, mineralization and osteogenesis.

Key words: knee joint, diabetic arthropathy, macroelements, femur, tibia.

ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Tatarchuk L. V.: 0000-0002-4678-4205 ^{ADE}

Hnatjuk M. S.: 0000-0002-4110-5568 ^{ADEF}

Monastyrskaya N. Ja.: 0000-0003-2799-0895 ^{CD}

Vadzyuk N. S.: 0000-0002-3398-1285 ^{BD}

Конфлікт інтересів:

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Адреса для кореспонденції

Гнатюк Михайло Степанович

Тернопільський національний медичний університет

імені І. Я. Горбачевського МОЗ України

Адреса: Україна, 46001, м. Тернопіль, вул. Майдан Волі 1

Тел.: +380674765285

E-mail: hnatjuk@tdmu.edu.ua

A – концепція роботи та дизайн, **B** – збір та аналіз даних, **C** – відповідальність за статичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

Рецензент – проф. Проніна О. М.
Стаття надійшла 14.08.2021 року
Стаття прийнята до друку 08.02.2022 року