

Міністерство охорони здоров'я України
ДНП “Львівський національний медичний університет
імені Данила Галицького”

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Довган Ростислав Романович

УДК 616.74-008.64-06:611.71-018:577.118]-092.9

ДИСЕРТАЦІЯ
ВПЛИВ ГІПОДИНАМІЇ НА СТРУКТУРУ ТА МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД
КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ СТЕГНОВОЇ КІСТКИ ЩУРА
(експериментальне дослідження)

222 - Медицина

22 – Охорона здоров'я

Подається на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Р.Р.Довган

Науковий керівник

Трутяк Ігор Романович доктор медичних наук, професор

Масна Зоряна Зеновіївна, доктор медичних наук, професор

Львів – 2026

АНОТАЦІЯ

Довган Р.Р.. Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини (експериментальне дослідження) – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 222 – Медицина (22 – Охорона здоров'я). – ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», Львів, 2026.

У дисертаційній роботі подано теоретичне узагальнення та нове вирішення актуального наукового завдання, що полягає у з'ясуванні закономірностей динаміки кількісних та якісних характеристик кісткової тканини стегнової кістки та амплітуди рухів у кульшовому суглобі на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та після її завершення.

Дослідження проведено на 65 білих безпородних статевозрілих щурах-самцях віком 3,0-3,5 місяці і масою 180,0-200,0 г. Тварини були розділені на експериментальну (60 щурів) та контрольну (5 інтактних щурів) групи.

В процесі виконання роботи було використано наступні методи дослідження: моделювання тривалої вимушеної іммобілізації; гоніометричний метод; скелетування; рентгенографічний/радіовізіографічний метод; метод атомно-абсорбційного спектрального аналізу; метод статистичної обробки цифрових даних .

Результати проведеного спостереження за тваринами, які перебували в стані вимушеної гіподинамії засвідчили зміну їх поведінки – появу елементів агресії, перепади апетиту та зниження охайності. До кінця п'ятого тижня експерименту знижувалась до мінімальних показників маса тварин, становлячи $164,67 \pm 4,12$ г при нормі $191,33 \pm 4,12$ г. Через 2 тижні після завершення 4-тижневої іммобілізації маса тварин зростала до $197,07 \pm 5,01$ г., перевищуючи норму, через 2 тижні після 6-тижневої іммобілізації становила $180 \pm 3,42$ г., залишаючись нижчою від норми.

Результати гоніометричного дослідження засвідчили, що тривала іммобілізація вела до зменшення амплітуди пасивних рухів в кульшовому суглобі, при цьому зниження амплітуди згинальних рухів було більше вираженим, ніж розгинальних. Встановлено, що зменшення амплітуди рухів було пропорційним тривалості іммобілізації. Максимальне зниження показників амплітуди обох рухів фіксували через 6 тижнів вимушеної іммобілізації, коли величина кута згинання задньої кінцівки в кульшовому суглобі зменшувалась у порівнянні з нормою на 51-57%, к величина кута розгинання – на 9-10%.

Отримані дані засвідчили, що після тривалої двосторонньої іммобілізації показники амплітуди рухів в кульшових суглобах були асиметричними.

Встановлено, що зниження амплітуди рухів, зумовлене іммобілізацією тривалістю до 6 тижнів є зворотнім, при цьому тривалість періоду відновлення об'єму та амплітуди рухів є пропорційною тривалості іммобілізації.

За даними радіовізіографічного дослідження при вивченні показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки встановлено, що у інтактних тварин найвищу щільність – $156, 80 \pm 8,49$ УОС має кісткова тканина великого вертлюга, а найнижчу $131, 28 \pm 6,25$ УОС – шийки стегнової кістки. Щільність кісткової тканини в ділянці головки стегнової кістки становила $143, 92 \pm 6,06$ УОС, в проксимальній ділянці діафіза – $136, 32 \pm 7,53$ УОС.

Встановлено, що в ділянках головки, шийки та великого вертлюга упродовж 6 тижнів іммобілізації показники щільності кісткової тканини були нижчими від норми і сягали мінімального значення наприкінці 6-го тижня експерименту. Показник щільності кісткової тканини проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки упродовж 5-ти тижнів іммобілізації був вищим, ніж у тварин контрольної групи і тільки упродовж шостого тижня експерименту опускався до показників, нижчих від норми. Через 6 тижнів вимушеної

імобілізації показник щільності кісткової тканини головки стегнової кістки був на 8,3% нижчим від норми, шийки – на 4,6%, великого вертлюга – 6,8%, проксимальної ділянки діафіза – на 2,1%.

Через 2 тижні після завершення 4-тижневої імобілізації показники кісткової щільності зростали, залишаючись при цьому нижчими, ніж у інтактних тварин в ділянці великого вертлюга (- 2,3%), та перевищуючи показники норми в проксимальній ділянці діафіза (+ 4,7%). Щільність кісткової тканини головки та шийки стегнової кістки у тварин даної експериментальної групи залишалась нижчою від норми на 0,8% та 0,2% відповідно. Через 2 тижні після відміни 6-тижневої імобілізації показники щільності кісткової тканини залишалися нижчими, ніж у тварин контрольної групи в усіх досліджуваних ділянках: в ділянці головки стегнової кістки – на 6,2%, шийки – на 3,2%, великого вертлюга – на 6,3% та в проксимальній ділянці діафіза стегнової кістки – на 0,9%.

Рентгенологічно встановлено, що через 6 тижнів імобілізації в ділянці кульшового суглоба візуалізуються ознаки розростання кісткових остеофітів, а кісткова тканина проксимальної частини стегнової кістки мала ознаки остеопорозу та остеосклерозу. Виявлені зміни зберігались також на рентгенограмах досліджуваної ділянки у тварин через два тижні після відміни 6-тижневої імобілізації. У тварин з коротшими термінами імобілізації (3, 4 і 5 тижнів) та через 2 тижні після завершення імобілізації, тривалістю 4 тижні, жодних рентгенологічних змін у структурах кульшово-стегнової ділянки виявлено не було.

За даними атомно-абсорбційного спектрального аналізу кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура встановлено наявність у її складі мінеральних елементів (Ca, P, Mg, Na, Zn Sr,) в кількостях, можливих для визначення. Показники вмісту кальцію в кістковій тканині стегнової кістки інтактного щура становили $12,41 \pm 0,21$ мг/г, фосфору – $10,31 \pm 0,87$ мг/г, магнію – $2,34 \pm 0,36$ мг/г, натрію – $2,71 \pm 0,19$ мг/г, цинку – $0,32 \pm 0,04$ мг/г, та стронцію – $0,021 \pm 0,001$ мг/г.

Вивчення динаміки вмісту досліджуваних елементів в кістковій тканині експериментальних тварин дало змогу з'ясувати її особливості, характерні для кожного елемента. Встановлено, що показники вмісту фосфору і магнію в кістковій тканині упродовж всього експерименту залишалися нижчими, ніж у інтактних тварин з мінімальними значеннями для фосфору ($8,95 \pm 0,48$ мг/г) на п'ятий тиждень іммобілізації і для магнію ($1,04 \pm 0,15$ мг/г) – на шостий тиждень. Показники вмісту натрію та стронцію упродовж всього експерименту залишались вищими, ніж у нормі, сягаючи максимальних значень для обох елементів до кінця п'ятого тижня вимушеної іммобілізації ($4,18 \pm 0,34$ мг/г для натрію та $0,031 \pm 0,002$ мг/г для стронцію). Показники вмісту кальцію та цинку мали однакову динаміку – до кінця третього тижня експерименту вони опускалися до мінімальних значень ($11,32 \pm 0,42$ мг/г для кальцію та $0,28 \pm 0,02$ мг/г для цинку), а упродовж наступних термінів підвищувались і сягали максимальних значень на кінець шостого тижня вимушеної іммобілізації ($32,36 \pm 1,82$ мг/г для кальцію та $0,42 \pm 0,01$ мг/г для цинку).

Встановлено, що максимально наближеними до норми показники кальцію, магнію та стронцію були наприкінці четвертого тижня вимушеної іммобілізації, фосфору – наприкінці шостого тижня, натрію – наприкінці третього тижня та цинку – упродовж четвертого та п'ятого тижнів експерименту.

Через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації вміст кальцію становив $12,34 \pm 0,42$ мг/г, істотно не відрізняючись від норми, вміст фосфору – $10,18 \pm 0,46$ мг/г, відрізняючись від норми на $-1,3\%$, вміст магнію – $2,21 \pm 0,04$ мг/г, відрізняючись від показника інтактних тварин на $-5,5\%$, вміст натрію – $2,89 \pm 0,12$ мг/г, залишаючись вищим від норми на $6,6\%$, вміст цинку та стронцію повертався до показників норми ($0,32 \pm 0,04$ мг/г та $0,021 \pm 0,001$ мг/г відповідно).

Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації зміни в мінеральному складі кісткової тканини стегнової кістки щура були виражені

більш істотно як у порівнянні з нормою, так і з показниками тварин, у яких іммобілізація тривала 4 тижні. Вмісту кальцію через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації перевищував норму на 120% і становив $27,31 \pm 1,36$ мг/г, вміст фосфору відрізнявся від норми на -4% і складав $9,92 \pm 0,53$ мг/г, вміст магнію становив $1,47 \pm 0,10$ мг, і був на 37% нижчим, ніж у інтактних тварин, вміст натрію становив $3,42 \pm 0,26$ мг/г, перевищуючи норму на 26%, вміст цинку сягав $0,38 \pm 0,02$ мг/г і перевищував норму на 19%, а вміст стронцію становив $0,023 \pm 0,001$ мг/г, залишаючись при цьому на 9,5% вищим, ніж у інтактних тварин.

Для кожного з досліджуваних елементів встановлено критичні періоди максимальної різниці значень з показниками норми. Встановлено, що для кальцію, магнію та цинку критичним періодом є шостий тиждень експерименту, до кінця якого показники кальцію та цинку суттєво перевищують норму, а показник магнію опускається до мінімального рівня. Критичним періодом для фосфору та стронцію є п'ятий тиждень експерименту, коли показник вмісту фосфору в кістковій тканині сягає мінімального рівня, а вміст стронцію в кістковій тканині є максимальним.

Наукова новизна одержаних результатів. У виконаному дослідженні вперше на підставі даних, отриманих за результатами комплексно проведених досліджень з використанням сучасних морфологічних, клінічних, променевих, хімічних та статистичних методів було детально вивчено та проаналізовано структурні та хімічні особливості кісткової тканини стегнової кістки та амплітуду рухів у кульшовому суглобі інтактного щура, а також встановлено закономірності їх динаміки на тлі тривалої вимушеної гіподинамії та після її завершення.

В роботі вперше проведено комплексне дослідження кількісних і якісних змін, що розвиваються у кістковій тканині стегнової кістки упродовж тривалої іммобілізаційної гіподинамії та після її завершення. Вперше з'ясовано особливості динаміки мінеральної щільності кісткової тканини

різних ділянок стегнової кістки щура на тлі тривалої іммобілізації та через два тижні після їх відміни.

Уперше детально досліджено особливості мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки щура методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу, вивчено особливості розподілу макро- та мікроелементів та закономірності динаміки їх вмісту в кістковій тканині на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та через два тижні після її завершення.

Вперше досліджено та проаналізовано динаміку зміни амплітуди рухів у кульшовому суглобі при тривалій експериментальній іммобілізації суглоба та встановлено закономірності її відновлення

Вперше встановлено критичні періоди максимальної різниці значень показників кожного з досліджуваних мінеральних макро- та мікроелементів у тварин експериментальною іммобілізаційною гіподинамією з показниками норми у інтактних тварин.

Вперше встановлено терміни розвитку незворотніх змін в кульшовому суглобі та кістковій тканині стегнової кістки щура, які виникають на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та можуть бути трактовані як чинники ризику патології кульшового суглоба та переломів стегнової кістки.

Практичне значення одержаних результатів Отримані результати проведеного дослідження дають змогу встановити та проаналізувати особливості функціональної спроможності кульшового суглоба та якісно-кількісні характеристики кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура та з'ясувати закономірності їх динаміки упродовж тривалої експериментальної гіподинамії та після її завершення.

Результати, отримані в ході виконання роботи створюють передумови та можуть стати теоретичним підґрунтям для розпрацювання нових та удосконалення існуючих методів ранньої діагностики, профілактики та

лікування патологій опорно-рухового апарату, що розвиваються на тлі тривалої гіподинамії різного походження.

Виконане дослідження суттєво доповнює та уточнює існуючі відомості щодо перебігу змін у кістковій тканині та функціональної спроможності суглобів на тлі вимушеної іммобілізації.

Дані, отримані на основі результатів проведеного дослідження можуть стати підґрунтям для розпрацювання морфологічних критеріїв норми, а також діагностичних алгоритмів кількісних та якісних змін, які розвиваються в кістковій тканині стегнової кістки на тлі гіподинамії різного генезу та тривалості, а також стати критеріями оцінки ефективності профілактичних, лікувальних та реабілітаційних заходів..

Отримані дані доцільно використовувати в лекційних курсах, а також при проведенні практичних занять на профільних морфологічних та клінічних кафедрах (клінічної анатомії та оперативної хірургії, нормальної анатомії, травматології та ортопедії, реабілітології, променевої діагностики тощо), при написанні наукових монографій, довідників, підручників та навчальних посібників.

Ключові слова: кісткова тканина, стегнова кістка, кульшовий суглоб, патологія кісток, радіовізіографія, променеві біомаркери, структурні особливості, мінеральна щільність, мінеральні елементи, гіподинамія, остеопороз, амплітуда рухів, фізичне навантаження, реабілітація, мікроелементи

ANNOTATION

Dovhan R.R. The effect of physical inactivity on the structure and mineral composition of bone tissue (experimental study) – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 222 – Medicine (22 – Health Care). – State non-profit enterprise “Danylo Halytsky Lviv National Medical University”, Lviv, 2026.

The dissertation presents a theoretical generalization and a new solution to the current scientific problem, which consists in clarifying the patterns of dynamics of quantitative and qualitative characteristics of bone tissue of the femur and amplitude of movements in the hip joint against the background of prolonged experimental immobilization hypodynamia and after its completion.

The study was conducted on 65 white outbred sexually mature male rats aged 3.0-3.5 months and weighing 180.0-200.0 g. The animals were divided into experimental (60 rats) and control (5 intact rats) groups.

In the process of the study, the following research methods were used: modeling of prolonged forced immobilization; goniometric method; skeletonisation method; radiographic/radiovisiographic method; atomic absorption spectral analysis method; method of statistical processing of digital data.

The results of the observation of animals that were in a state of forced hypodynamia showed a change in their behavior - the appearance of elements of aggression, changes in appetite, and a decrease in cleanliness. By the end of the fifth week of the experiment, the weight of the animals decreased to the minimum, amounting to 164.67 ± 4.12 g, compared to the norm of 191.33 ± 4.12 g. 2 weeks after the completion of 4-week immobilization, the weight of the animals increased to 197.07 ± 5.01 g, exceeding the norm, 2 weeks after 6-week immobilization it was 180 ± 3.42 g, remaining below the norm.

The results of the goniometric study showed that prolonged immobilization led to a decrease in the amplitude of passive movements in the hip joint, with the decrease in the amplitude of flexion movements being more pronounced than

extension movements. It was found that the decrease in the amplitude of movements was proportional to the duration of immobilization. The maximum decrease in the amplitude of both movements was recorded after 6 weeks of forced immobilization, when the angle of flexion of the hind limb in the hip joint decreased by 51-57% compared to the norm, and the angle of extension decreased by 9-10%.

The obtained data showed that after prolonged bilateral immobilization, the amplitude of movements in the hip joints were asymmetric.

It has been established that the decrease in range of motion caused by immobilization lasting up to 6 weeks is reversible, with the duration of the period of recovery of volume and range of motion being proportional to the duration of immobilization.

According to the data of radiovisiographic research, when studying the bone density indicators of different areas of the femur, it was found that in intact animals the bone tissue of the greater trochanter has the highest density - 156.80 ± 8.49 CUG, and the lowest - 131.28 ± 6.25 CUG - of the femoral neck. The bone density in the femoral head area was 143.92 ± 6.06 CUG, in the proximal diaphysis area – 136.32 ± 7.53 CUG.

It was found that in the areas of the head, neck, and greater trochanter of the femur during 6 weeks of immobilization, bone density indicators were lower than normal and reached a minimum value at the end of the 6th week of the experiment. The bone density index of the proximal femoral diaphysis during 5 weeks of immobilization was higher than in animals of the control group and only during the sixth week of the experiment did it drop to values below normal. After 6 weeks of forced immobilization, the bone density of the femoral head was 8.3% lower than normal, the neck was 4.6% lower, the greater trochanter was 6.8% lower, and the proximal diaphysis was 2.1%.

2 weeks after the end of the 4-week immobilization, bone density indicators increased, remaining lower than in intact animals in the greater trochanter area (-2.3%), and exceeding the norm in the proximal diaphysis (+4.7%). The bone density of the femoral head and neck in animals of this experimental group

remained below normal by 0.8% and 0.2%, respectively. 2 weeks after the end of the 6-week immobilization, bone density remained lower than in the control group in all studied areas: in the femoral head area – by 6.2%, the neck – by 3.2%, the greater trochanter – by 6.3%, and in the proximal femoral diaphysis – by 0.9%.

Radiologically, it was found that after 6 weeks of immobilization, signs of bone osteophyte growth were visualized in the hip joint area, and the bone tissue of the proximal part of the femur had signs of osteoporosis and osteosclerosis. The detected changes were also preserved on radiographs of the studied area in animals two weeks after the cancellation of the 6-week immobilization. Animals with shorter immobilization periods (3, 4, and 5 weeks) and 2 weeks after the completion of immobilization lasting 4 weeks, had no radiological changes in the structures of the hip-femoral region.

According to the data of atomic absorption spectral analysis of the bone tissue of the femur of an intact rat, the presence of mineral elements (Ca, P, Mg, Na, Zn, Sr) in its composition in quantities possible for determination was established. The calcium content in the bone tissue of the femur of an intact rat was 12.41 ± 0.21 mg/g, phosphorus – 10.31 ± 0.87 mg/g, magnesium – 2.34 ± 0.36 mg/g, sodium – 2.71 ± 0.19 mg/g, zinc – 0.32 ± 0.04 mg/g, and strontium – 0.021 ± 0.001 mg/g.

The study of the dynamics of the content of the studied elements in the bone tissue of experimental animals made it possible to clarify its features characteristic of each element. It was found that the phosphorus and magnesium content in bone tissue remained lower throughout the experiment than in intact animals with minimum values for phosphorus (8.95 ± 0.48 mg/g) at the fifth week of immobilization and for magnesium (1.04 ± 0.15 mg/g) at the sixth week. Sodium and strontium levels remained higher than normal throughout the experiment, reaching maximum values for both elements by the end of the fifth week of forced immobilization (4.18 ± 0.34 mg/g for sodium and 0.031 ± 0.002 mg/g for strontium). The calcium and zinc content indicators had the same dynamics – by the end of the third week of the experiment they dropped to minimum values (11.32 ± 0.42 mg/g

for calcium and 0.28 ± 0.02 mg/g for zinc), and during the following periods they increased and reached maximum values by the end of the sixth week of forced immobilization (32.36 ± 1.82 mg/g for calcium and 0.42 ± 0.01 mg/g for zinc).

It was found that the calcium, magnesium, and strontium levels were as close to normal as possible at the end of the fourth week of forced immobilization, phosphorus at the end of the sixth week, sodium at the end of the third week, and zinc during the fourth and fifth weeks of the experiment.

2 weeks after the cancellation of the 4-week immobilization, the calcium content was 12.34 ± 0.42 mg/g, not significantly different from the norm, the phosphorus content was 10.18 ± 0.46 mg/g, differing from the norm by -1.3%, magnesium content -2.21 ± 0.04 mg/g, differing from the indicator of intact animals by -5.5%, sodium content -2.89 ± 0.12 mg/g, remaining higher than normal by 6.6%, zinc and strontium content returned to normal values (0.32 ± 0.04 mg/g and 0.021 ± 0.001 mg/g, accordingly).

2 weeks after the cancellation of the 6-week immobilization, changes in the mineral composition of the rat femur bone tissue were more pronounced both in comparison with the norm and with the indicators of animals in which immobilization lasted 4 weeks. The calcium content 2 weeks after the cancellation of the 6-week immobilization exceeded the norm by 120% and was 27.31 ± 1.36 mg/g, the phosphorus content differed from the norm by -4% and was 9.92 ± 0.53 mg/g, the magnesium content was 1.47 ± 0.10 mg, and was 37% lower than in intact animals, the sodium content was 3.42 ± 0.26 mg/g, exceeding the norm by 26%, the zinc content reached 0.38 ± 0.02 mg/g and exceeded the norm by 19%, and the strontium content was 0.023 ± 0.001 mg/g, remaining 9.5% higher than in intact animals.

For each of the studied elements, critical periods of maximum difference in values with normal indicators were established. It was found that for calcium, magnesium, and zinc, the critical period is the sixth week of the experiment, by the end of which the calcium and zinc levels significantly exceed the norm, and the magnesium level drops to a minimum level. The critical period for phosphorus and

strontium is the fifth week of the experiment, when the phosphorus content in bone tissue reaches a minimum level and the strontium content in bone tissue is maximum.

Scientific novelty of the obtained results. In the conducted study, for the first time, based on data obtained from the results of comprehensive studies using modern morphological, clinical, radiological, chemical and statistical methods were used to study and analyze in detail the structural and chemical features of the bone tissue of the femur and the amplitude of movements in the hip joint of an intact rat, and also established the patterns of their dynamics against the background of prolonged forced hypodynamia and after its completion.

The study is the first to conduct a comprehensive study of the quantitative and qualitative changes that develop in the bone tissue of the femur during prolonged immobilization hypodynamia and after its completion. For the first time, the features of the dynamics of bone mineral density in different areas of the rat femur against the background of prolonged immobilization and two weeks after its cancellation have been elucidated.

For the first time, the features of the mineral composition of rat femur bone tissue were studied in detail using atomic absorption spectral analysis, studied the features of the distribution of macro- and microelements and the dynamics of their content in bone tissue against the background of prolonged experimental immobilization hypodynamia and two weeks after its completion.

For the first time, the dynamics of changes in the amplitude of movements in the hip joint during prolonged experimental immobilization of the joint have been investigated and analyzed, and the patterns of its recovery have been established.

For the first time, critical periods of the maximum difference in the values of each of the studied mineral macro- and microelements in animals with experimental immobilization hypodynamia with normal values in intact animals have been established.

For the first time, the timing of the development of irreversible changes in the hip joint and femur bone tissue of rats, which occur against the background of

prolonged experimental immobilization hypodynamia and can be interpreted as risk factors for hip joint pathology and femur fractures, has been established.

Practical significance of the obtained results. The results of the study allow us to establish and analyze the features of the functional capacity of the hip joint and the qualitative and quantitative characteristics of the bone tissue of the femur of an intact rat and to clarify the patterns of their dynamics during prolonged experimental hypodynamia and after its completion.

The results obtained during the work create the prerequisites and can become a theoretical basis for the development of new and improvement of existing methods of early diagnosis, prevention and treatment of pathologies of the musculoskeletal system that develop against the background of prolonged physical inactivity of various origins.

The conducted study significantly complements and clarifies existing information regarding the course of changes in bone tissue and the functional capacity of joints against the background of forced immobilization.

The data obtained based on the results of the study can become the basis for the development of morphological criteria of the norm, as well as diagnostic algorithms for quantitative and qualitative changes that develop in the bone tissue of the femur against the background of hypodynamia of various genesis and duration, and also become criteria for assessing the effectiveness of preventive, therapeutic and rehabilitation measures.

The obtained data should be used in lecture courses, as well as during practical classes at specialized morphological and clinical departments (clinical anatomy and operative surgery, normal anatomy, traumatology and orthopedics, rehabilitation, radiological diagnostics, etc.), for writing scientific monographs, reference books, textbooks and teaching aids.

Keywords: bone tissue, femur, hip joint, radiological examination, radiovisiography, radiological biomarkers, structural features, mineral density, mineral elements, physical inactivity, osteoporosis, range of motion, physical activity, rehabilitation.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.

1. Довган РР, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44 (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано променеве та радіовізіографічне дослідження, визначення щільності кісткової тканини, аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)
2. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз впливу іммобілізаційної гіподинамії на амплітуду рухів у кульшовому суглобі. Morphologia [Інтернет]. 2025;19(2):16-22. Доступно: <https://drive.google.com/file/d/1rhcyW4zbEXMrxTnSZUJoBLGIVT8-8411/view> DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.2.16-22> (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано аналіз об'єму амплітуди рухів та у кульшовому суглобі упродовж різних етапів експерименту, здійснено узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)
3. Довган РР, Масна ЗЗ. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Morphologia [Інтернет]. 2025;19(3):65-72. Доступно: https://drive.google.com/file/d/14Ixn9hEaboR-AIYfPD5RuAB2W4d_VXNs/view. DOI: DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72> (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано променеве та радіовізіографічне дослідження, атомно-абсорбційний спектральний аналіз кісткової тканини, визначення її щільності та мінерального складу на різних етапах експерименту, здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)

4. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії. Вісник проблем біології і медицини. 2025;(4):312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317 (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано променеве та радіовізіографічне дослідження, визначення щільності кісткової тканини, здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)

5. Довган РР, Пальтов ЄВ, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на кульшовий суглоб і стегнову кістку за даними рентгенографії в експерименті. In: Proceedings of XI international scientific and practical conference; 2022 May 11-13; Manchester. Manchester; 2022. p. 70-73. (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано рентгенографічне дослідження, здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)

6. Довган Р, Чалий І-В, Камінська М, Онутчак Т, Масна З. Аналіз динаміки змін мінеральної щільності кісткової тканини стегнової кістки щура при посиленні фізичних навантажень та гіподинамії. В: Збірник тез науково-практичної конференції з міжнародною участю Досягнення та перспективи лектино-морфології до 70-річного ювілею професора кафедри гістології, цитології та ембріології, Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Олександра Дмитровича Луцика; 2024 Трав 10; Львів. Львів; 2024. с. 47-48. (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано рентгенографічне дослідження, здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)

7. Довган Р, Масна З. Динаміка вмісту мінеральних елементів у кістковій тканині стегнової кістки щура при гіподинамії. В: Матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології; 2024 Лист 6-8; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2024. с. 44-45. (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, проведено атомно-абсорбційний

спектральний аналіз кісткової тканини, визначення її мінерального складу на різних етапах експерименту, здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)

8. Довган Р, Масна З. Динаміка зміни амплітуди рухів у кульшовому суглобі після іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості. В: Матеріали 9-го Міжнародного наукового Симпозіуму SMARTLION 2025 Медична освіта та наукові дослідження в Україні під час війни. Львів; 2025. с. 26-28. (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, визначено об'єм та амплітуду рухів у кульшовому суглобі на різних етапах експерименту здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)

9. Dovgan R, Masna Z. Comparison of the dynamics of bone tissue quality and mineral composition of the femoral neck in rats during different periods of experimental hypokinesia. В: Матеріали Дев'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології; 2025 Лист 6-7; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2025. с. 75-76. (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано променеве та радіовізіографічне дослідження, атомно-абсорбційний спектральний аналіз кісткової тканини, визначення її щільності та мінерального складу на різних етапах експерименту, здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки та підготовлено матеріал до друку)

10. Адамович ОО, Довган РР, Согуйко РР, Рудницька ХІ, Орел МГ, Масна ЗЗ. Аналіз симетричності якості кісткової тканини різних ділянок скелета людини і експериментальних тварин. Вісник проблем біології і медицини. 2025; (4 дод):15-17. DOI 10.29254/2523-4110-2025-4-179/addition-15-17 (Особистий внесок – визначено щільність кісткової тканини кісток кінцівок щура, проведено аналіз отриманих даних).

11. Довган РР, Согуйко РР, Рудницька ХІ, Бондарчук НБ Динаміка мінерального складу кісткової тканини під впливом патогенних чинників та

гіподинамії. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми морфології людини» (присвяченої 80-річчю професора Ю.М.Вовка) – 2026. с. 60-62 (Особистий внесок – змодельовано експериментальну гіподинамію, виконано атомно-абсорбційний спектральний аналіз кісткової тканини, визначення її мінерального складу, здійснено аналіз та узагальнення результатів, сформульовано висновки)

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	22
ВСТУП	23
Розділ 1. ОСОБЛИВОСТІ ТА ДИНАМІКА СТРУКТУРИ І МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ У ВІКОВОМУ АСПЕКТІ ТА ПІД ДІЄЮ ЕКЗО- І ЕНДОГЕННИХ ЧИННИКІВ. МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ КЛІНІЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (огляд літератури)	31
<i>1.1 Особливості структурно-функціональної організації кістки як органа</i>	32
<i>1.2 Тригери остеогенної патології в житті сучасної людини</i>	35
<i>1.3 Остеопороз – «тиха епідемія» XXI століття</i>	44
<i>1.4 Можливості та методи вивчення кісткової тканини в експерименті та клініці</i>	47
Розділ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	55
<i>2.1. Матеріал дослідження</i>	55
<i>2.2. Методи дослідження</i>	56
<i>2.2.1. Моделювання вимушеної гіподинамії</i>	56
<i>2.2.2. Гоніометричне дослідження</i>	58
<i>2.2.3. Скелетування</i>	58
<i>2.2.4. Рентгенанатомічне/радіовізіографічне дослідження</i>	59
<i>2.2.5. Атомно-абсорбційний спектральний аналіз</i>	62
<i>2.2.6. Статистична обробка цифрових даних</i>	64
Розділ 3. ВПЛИВ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ ГІПОДИНАМІЇ НА ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТВАРИН ТА АМПЛІТУДУ РУХІВ У КУЛЬШОВОМУ СУГЛОБІ	66

<i>3.1 Динаміка поведінкових показників та маси тіла експериментальних тварин упродовж різних термінів експерименту</i>	66
<i>3.2 Вплив експериментальної іммобілізаційної гіподинамії на амплітуду вимушених рухів у кульшовому суглобі експериментальних тварин</i>	69
Розділ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ РІЗНИХ ДІЛЯНОК СТЕГНОВОЇ КІСТКИ ЩУРА В НОРМІ І ВИВЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЇХ ДИНАМІКИ, А ТАКОЖ ВІЗУАЛЬНИХ РЕНТГЕНОГРАФІЧНИХ ЗМІН СТРУКТУР КУЛЬШОВО-СТЕГНОВОЇ ДІЛЯНКИ НА ТЛІ ТРИВАЛОЇ ВИМУШЕНОЇ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ ГІПОДИНАМІЇ ТА ПІСЛЯ ЇЇ ВІДМІНИ	81
<i>4.1 Динаміка щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої вимушеної іммобілізаційної гіподинамії</i>	81
<i>4.2 Динаміка щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура після двох тижнів відміни вимушеної іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості</i>	88
<i>4.3 Візуальні рентгенологічні зміни структур кульшово-стегнової ділянки на тлі 6-тижневої вимушеної іммобілізаційної гіподинамії</i>	92
Розділ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ СТЕГНОВОЇ КІСТКИ ЩУРА В НОРМІ ТА З'ЯСУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЙОГО ДИНАМІКИ НА ТЛІ ТРИВАЛОЇ ВИМУШЕНОЇ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ ГІПОДИНАМІЇ ТА ПІСЛЯ ЇЇ ВІДМІНИ	98
<i>5.1 Динаміка показників вмісту мінеральних елементів кісткової тканин стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої вимушеної іммобілізаційної гіподинамії</i>	98

<i>5.2. Динаміка показників вмісту мінеральних елементів кісткової тканин стегнової кістки щура після відміни вимушеної іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості</i>	106
Розділ 6. АНАЛІЗ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	122
ВИСНОВКИ	137
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
Додатки	174

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ААСА – атомно-абсорбційний спектральний аналіз

АЕСА – атомно-емісійний спектральний аналіз

УОС – умовні одиниці сірості

ЦД – цукровий діабет

ВСТУП

Актуальність теми. Серед численних медико-соціальних проблем сучасного світу одне з чільних місць належить гіподинамії [1, 2]. Саме малорухливий спосіб життя у поєднанні з екологічними впливами, зумовленими техногенними катастрофами, побутовим забрудненням екосистеми, результатами численних військових конфліктів, а також інфекційними епідеміями веде до стрімкого зниження рівня здоров'я населення в цілому світі, незалежно від віку, статі, соціального статусу чи території проживання – на цьому наголошують автори як клінічних та експериментальних, так і соціологічних досліджень [3-7].

Численні дослідники відносять гіподинамію до основних причини розвитку метаболічних порушень в організмі, наголошуючи, що обмеження рухової активності веде до надмірної ваги тіла, патологічних змін зі сторони внутрішніх органів, серцево-судинної системи, а також до розвитку структурних та функціональних змін зі сторони опорно-рухового апарату.

Серед основних розладів опорно-рухового апарату, що розвиваються під впливом гіподинамії різні автори вказують атрофію м'язів, порушення структури зв'язкового апарату суглобів, а також зниження кісткової маси, через що малорухливий спосіб життя визнано чинником ризику розвитку остеопорозу [8-10]. Cieplińska J, Kopiczko A. (2021), Dalla Via J, Duckham RL, Peake JM, Kukuljan S, Nowson CA, Daly RM. (2019), Savikangas T, Suominen TH, Alén M, Rantalainen T, Sipilä S. (2024), Stapledon CJM, Stamenkov R, Cappai R, Clark JM, Bourke A, Bogdan Solomon L, et al. (2021) наголошують, що характерною ознакою «гіподинамічної» кістки є порушення її метаболізму, що веде до погіршення якості кісткової тканини та клінічно проявляється підвищенням ризику переломів [11-14].

Ефективними та доступними інструментами для неінвазивної оцінки якості кісткової тканини як в клініці, так і при проведенні експериментальних

досліджень є променеві біомаркери, вважають Zaia A, Rossi R, Galeazzi R, Sallei M, Maroni P, Scendoni P. (2021), Zimmermann EA, Fiedler IAK, Busse B. (2021), Масна ЗЗ, Адамович ОП, Челпанова ІВ, Геник ІД, Рудницька ХІ. (2023) [15-17]. Саме використання променевих біомаркерів дає змогу не лише візуально оцінити структуру кісткової тканини, але й дозволяє визначити її мінеральну щільність у цифровому еквіваленті [15-18].

Беручи до уваги важливість збереження структури кісткової тканини для забезпечення її функціональних можливостей, численні автори наголошують, що ключовими чинниками якості кістки є не лише її структурні особливості, але й склад мінерального компонента [19-21]. Shah FA. (2025), Taylor EA, Mileti CJ, Ganesan S, Kim JH, Donnelly E. (2021), Масна ЗЗ, Челпанова ІВ, Геник ІД, Масна-Чала ОЗ, Рудницька ХІ. (2023) вважають, що необхідною умовою збереження фізичних властивостей кістки – міцності, твердості та еластичності – є збереження в ній вмісту та співвідношення кількісних величин мінеральних макро- та мікроелементів [19-21].

Експериментальні дослідження відкривають можливість проведення комплексного вивчення змін у структурі та хімічному складі кісткової тканини дослідних тварин під впливом різноманітних чинників та упродовж різних часових термінів, вважають Челпанова І, Масна З, Амбарова Н. (2024), Aștilean Pertea AN, Dreancă A, Gog-Bogdan S, Sevastre B, Ungur A, Negoescu A, et al. (2025), Kasey VB, Walle M, Yeritsyan D, Kasey DV, Wu Y, Snyder BD, et al. (2025), Костишин Н. (2021) [22-25]. Результати таких комплексних досліджень у поєднанні з вивченням нормативних показників якості та мінерального складу кісткової тканини в нормі (з урахуванням вікових, статевих, конституційних особливостей тощо) та функціональної спроможності структур опорно-рухового апарату дозволять краще зрозуміти механізми розвитку змін, які розвиваються у кістковій тканині на тлі тривалої гіподинамії, стати теоретичним підґрунтям для розпрацювання нових методів їх профілактики у осіб з вимушеною тривалою іммобілізацією та ефективно їх коригувати.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження виконане в рамках планової наукової роботи кафедри нормальної анатомії і кафедри оперативної хірургії з топографічною анатомією Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького «Морфофункціональні особливості органів у пре- та постнатальному періодах онтогенезу, при впливі опіоїдів, харчових добавок, реконструктивних операціях та ожирінні» (номер державної реєстрації 0120U002129) та планової наукової роботи кафедри травматології, ортопедії та воєнно-польової хірургії Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького «Травма та захворювання опорно-рухового апарату (клініка, діагностика, лікування та профілактика)» (номер державної реєстрації 0120U002146).

Автор дисертаційного дослідження є співвиконавцем даних тем.

Тема дисертаційного дослідження затверджена рішенням Вченої ради медичного факультету №1 Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького (протокол №2 від 24 жовтня 2022 року).

Мета роботи: з'ясування закономірностей динаміки кількісних та якісних характеристик кісткової тканини стегнової кістки та амплітуди рухів у кульшовому суглобі на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та після її завершення.

Завдання дослідження:

1. Визначити та вивчити нормативні показники щільності і мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура.
2. Дослідити амплітуду рухів у кульшовому суглобі інтактного щура та з'ясувати закономірності її динаміки на тлі тривалої іммобілізації та після її завершення.
3. З'ясувати особливості динаміки щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура на тлі тривалої іммобілізації та після її завершення.

4. Дослідити особливості динаміки мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки щура на тлі тривалої іммобілізації та після її відміни.

5. Провести статистичний аналіз отриманих даних.

Об'єкт дослідження: кульшовий суглоб, кісткова тканина стегнової кістки щура.

Предмет дослідження: амплітуда рухів у кульшовому суглобі, динаміка щільності та мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки щура на тлі тривалої іммобілізації та по її завершенні.

Методи дослідження: експериментальний – для моделювання тривалої гіподинамії; гоніометричний – для визначення амплітуди рухів у кульшовому суглобі, скелетування – для проведення досліджень з використанням променевих методів та забору кісткових фрагментів для виконання атомно-абсорбційного спектрального аналізу, радіовізіографічний/рентгенанатомічний метод для вивчення рентгенологічно візуалізованих змін у кульшовому суглобі та визначення якості кісткової тканини, метод атомно-абсорбційного спектрального аналізу – для вивчення мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки, статистичний – для опрацювання отриманих цифрових даних.

Наукова новизна одержаних результатів. У виконаному дослідженні вперше на підставі даних, отриманих за результатами комплексно проведених досліджень з використанням сучасних морфологічних, клінічних, променевих, хімічних та статистичних методів було детально вивчено та проаналізовано структурні та хімічні особливості кісткової тканини стегнової кістки та амплітуду рухів у кульшовому суглобі інтактного щура, а також встановлено закономірності їх динаміки на тлі тривалої вимушеної гіподинамії та після її завершення.

В роботі вперше проведено комплексне дослідження кількісних і якісних змін, що розвиваються у кістковій тканині стегнової кістки упродовж тривалої іммобілізаційної гіподинамії та після її завершення. Вперше

з'ясовано особливості динаміки мінеральної щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура на тлі тривалої іммобілізації та через два тижні після їх відміни.

Уперше детально досліджено особливості мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки щура методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу, вивчено особливості розподілу макро- та мікроелементів та закономірності динаміки їх вмісту в кістковій тканині на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та через два тижні після її завершення.

Вперше досліджено та проаналізовано динаміку зміни амплітуди рухів у кульшовому суглобі при тривалій експериментальній іммобілізації суглоба та встановлено закономірності її відновлення

Вперше встановлено критичні періоди максимальної різниці значень показників кожного з досліджуваних мінеральних макро- та мікроелементів у тварин експериментальною іммобілізаційною гіподинамією з показниками норми у інтактних тварин.

Вперше встановлено терміни розвитку незворотніх змін в кульшовому суглобі та кістковій тканині стегнової кістки щура, які виникають на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та можуть бути трактовані як чинники ризику патології кульшового суглоба та переломів стегнової кістки.

Практичне значення отриманих результатів. Результати проведеного дослідження дають змогу встановити та проаналізувати особливості функціональної спроможності кульшового суглоба та якісно-кількісні характеристики кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура та з'ясувати закономірності їх динаміки упродовж тривалої експериментальної гіподинамії та після її завершення.

Результати, отримані в ході виконання роботи створюють передумови та можуть стати теоретичним підґрунтям для розпрацювання нових та удосконалення існуючих методів ранньої діагностики, профілактики та

лікування патологій опорно-рухового апарату, що розвиваються на тлі тривалої гіподинамії різного походження.

Виконане дослідження суттєво доповнює та уточнює існуючі відомості щодо перебігу змін у кістковій тканині та функціональної спроможності суглобів на тлі вимушеної іммобілізації.

Дані, отримані на основі результатів проведеного дослідження можуть стати підґрунтям для розпрацювання морфологічних критеріїв норми, а також діагностичних алгоритмів кількісних та якісних змін, які розвиваються в кістковій тканині стегнової кістки на тлі гіподинамії різного генезу та тривалості, а також стати критеріями оцінки ефективності профілактичних, лікувальних та реабілітаційних заходів.

Отримані дані доцільно використовувати в лекційних курсах, а також при проведенні практичних занять на профільних морфологічних та клінічних кафедрах (клінічної анатомії та оперативної хірургії, нормальної анатомії, травматології та ортопедії, реабілітології, променевої діагностики тощо), при написанні наукових монографій, довідників, підручників та навчальних посібників.

Результати, отримані автором у процесі виконання дисертаційного дослідження, впроваджені в навчальний процес та наукову роботу на кафедрах оперативної хірургії з топографічною анатомією, травматології, ортопедії та воєнно-польової хірургії, нормальної анатомії, радіології та радіаційної медицини Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, анатомії людини імені М.Г.Туркевича, анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії Буковинського державного медичного університету, анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Дніпровського державного медичного університету, анатомії людини Івано-Франківського національного медичного університету, анатомії з клінічною анатомією та оперативною хірургією Полтавського державного медичного університету, оперативної хірургії та клінічної анатомії

Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського.

Особистий внесок здобувача. Автором роботи самостійно було опрацьовано та проаналізовано літературні наукові джерела, здійснено патентний інформаційний пошук за темою дослідження.

Автор самостійно обґрунтував актуальність роботи, її значення для теоретичної та практичної медицини, сформулював мету та визначив завдання дослідження. Здобувач самостійно обрав та провів апробацію використаних у роботі методів дослідження, провів експеримент, здійснив збір матеріалу, опрацював отримані дані та проаналізував результати дослідження. Також здобувач самостійно виконав статистичну обробку отриманих даних їх інтерпретацію та узагальнення, написав та оформив розділи дисертації.

Основні наукові положення, висновки та практичні рекомендації були сформульовані автором разом з науковим керівником.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, подано результати, які були отримані автором даного дисертаційного дослідження в ході його виконання.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертації оприлюднено на: XI International Scientific and Practical Conference. (Manchester. Great Britain. May 11 – 13, 2022), науково-практичній конференції з міжнародною участю «Досягнення та перспективи лектино-морфології» до 70-річного ювілею професора кафедри гістології, цитології та ембріології, Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Олександра Дмитровича ЛУЦИКА (м. Львів. Україна 10 травня 2024), Восьмій Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології (м. Дніпро, Україна. 6-8 листопада 2024), 9-му Міжнародному науковому Симпозіумі SMARTLION 2025 «Медична освіта та наукові дослідження в Україні під час війни». (Львів, Україна 16 жовтня 2025), Дев'ятій Всеукраїнській науково-практичній

конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології (м. Дніпро, Україна. 6-7 листопада 2025), Четвертому міжнародному морфологічному симпозиумі «Новітні досягнення клінічної анатомії і оперативної хірургії в розвитку сучасної медицини і стоматології (м. Полтава, Україна. 18-19 грудня 2025 року), Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми морфології людини» (присвяченої 80-річчю професора Ю.М.Вовка).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць, з них 3 статті у фахових виданнях, рекомендованих для оприлюднення результатів дисертаційних робіт, 8 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена українською мовою на 186 сторінках друкованого тексту. Дисертація містить анотацію українською та англійською мовами, список публікацій здобувача за темою проведеного дослідження, перелік умовних скорочень, вступ, огляд літератури, матеріали та методи дослідження, 3 розділи з результатами власних досліджень, аналіз та узагальнення результатів досліджень, висновки, практичні рекомендації, список використаних джерел, що складається з 232 бібліографічних описів, з яких 92 кирилицею та 140 латиницею, та додатки. Робота проілюстрована 1 таблицею та 46 рисунками. Список використаних джерел та додатки викладено на 21 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ТА ДИНАМІКА СТРУКТУРИ І МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ У ВІКОВОМУ АСПЕКТІ ТА ПІД ДІЄЮ ЕКЗО- І ЕНДОГЕННИХ ЧИННИКІВ. МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ КЛІНІЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (огляд літератури)

Зниження фізичної активності сучасної людини внаслідок тотальної діджиталізації, автоматизації та комп'ютеризації різних сфер діяльності, урбанізації, стрімкого розвитку транспорту та комунікаційних технологій, а також популяризації культур «офісної культури» та «побутового комфорту» і екранозалежності виводить гіподинамію на рівень глобальних медико-соціальних проблем в світовому масштабі [1, 2, 26]. Медики різних спеціальностей, а також численні дослідники, що вивчають різні аспекти проблеми, вважають гіподинамію однією з основних причини розвитку метаболічних порушень в організмі. Саме обмеження рухової активності веде до надмірної ваги тіла, порушень діяльності серцево-судинної, травної та дихальної систем, структур опорно-рухового апарату, а також до порушення кровопостачання та іннервації різних органів.

Вплив гіподинамії на опорно-руховий апарат проявляється змінами різної вираженості у всіх його складових: атрофією м'язів, порушенням структури суглобів, їх зв'язкового апарату та хрящового компонента, зниженням кісткової маси та зміною структури кісткової тканини, через що малорухливий спосіб життя визнано фактором ризику розвитку патологій кісток і суглобів, зокрема – остеоартрозу та остеопорозу [8, 9, 10.].

Описуючи результати обстежень пацієнтів з різним способом життя, різною руховою активністю та різними ступенями фізичного навантаження автори досліджень вказують на виявлені зв'язки між тривалими фізичними

вправами чи іншими видами м'язової діяльності та різним остеогенним індексом, харчовими моделями, складом тіла, конституційними особливостями та мінеральною щільністю і якістю кісток [27]. При цьому характерною ознакою гіподинамічної кістки завжди є порушення її метаболізму, а основною її клінічною проблемою – погіршення якості кісткової тканини та підвищення ламкості, що веде до зростання ризику переломів в різних ділянках скелету [11, 12, 13, 14].

1.1. Особливості структурно-функціональної організації кістки як органа.

Основою опорно-рухового апарату людини є скелет, який, забезпечуючи опору, формотворення і локомодаційну спроможність організму та захист його внутрішніх органів і структур, виконує також кровотворну, депонуючу та метаболічну функції. Всі функції кісткової тканини, як і скелета в цілому, її фізичні та механічні властивості тісно пов'язані з структурними особливостями та хімічним складом кістки. Різноманітність дослідницьких ракурсів та множинність підходів до вивчення кісткової тканини роблять кістку об'єктом численних досліджень, що провадяться в різних аспектах – структурному, функціональному, фізичному, хімічному, метаболічному тощо [29-36].

Вивченню особливостей кісткового метаболізму, з'ясуванню можливостей і ефективності застосування його маркерів та показів до їх клінічного використання присвячені роботи Ігнат'єва О. М., Ермоленко Т. О., Турчина МІ, Панюти ОІ, Прут'ян ТЛ (2020), Кузняк НБ, Бойцанюк СІ, Суховолець ІО (2015) [28, 29]. Результати досліджень, проведених Chun ВJ, Jang IG. (2020) можуть бути використані як теоретичне підґрунтя для подальшого глибокого вивчення зв'язків між статичними та динамічними навантаженнями в площині моделювання/ремоделювання кістки [30], а дані,

отримані Челпановою ІВ (2025) засвідчують важливість глибокого вивчення структурно-функціональних особливостей кісткової тканини для розуміння механізмів остеорегенерації [31].

Праці Pang S, Schwarcz HP, Jasiuk I (2021), Pang S, Su FY, Green A, Salim J, McKittrick J, Jasiuk I. (2021) Ahn T, Gidley DW, Thornton AW, Wong-Foy AG, Orr BG, Kozloff KM, Banaszak Holl MM. (2021) присвячені вивченню кістки, як біологічного композитного матеріалу, до складу якого входять вода, колагенові фібрили, неколагенові білки та інші органічні сполуки і мінеральні елементи [32-34]. Ahn T, Gidley DW, Thornton AW, Wong-Foy AG, Orr BG, Kozloff KM, Banaszak Holl MM. (2021) досліджуючи окремі молекулярні, нано-, мікро- та макромасштабні структурні компоненти кістки, акцентують увагу на її нанорозмірній пористості, яка, на відміну від структурних знань про колагенові та мінеральні домени, вивчена ще недостатньо [34].

Вивченню механічних властивостей та функцій кістки, як мінералізованої тканини, присвячене ґрунтовне дослідження Milazzo M, David A, Jung GS, Danti S, Buehler MJ.(2021) [35]. Розглядаючи кістку як композитний матеріал, що складається з мінералів та колагену зі складною анізотропною в'язкопружною реакцією, здатною передавати та розсіювати енергію, автори наголошують, що лише глибоке розуміння властивостей кісток аж до фундаментальних тканинних структур дозволить краще визначити механізми структурних збоїв і пошкоджень.

Вивченню в'язкопружності, як важливої властивості кістки, пов'язаної з її крихкістю, яка змінюється на тлі старіння та хвороб, присвятили свою роботу Fan F, Cai X, Follet H, Peyrin F, Laugier P, Niu H, Grimal Q (2021). Автори вважають, що в'язкопружну поведінку кістки можна пояснити механізмами, пов'язаними з властивостями її складових компонентів, а саме – колагену та мінералів. Не менш важливими, на думку авторів, є пористість та ієрархічна організація кісткової тканини, що може змінюватись під впливом як фізіологічних, так і патологічних чинників [36].

Багато досліджень присвячено вивченню вікових аспектів кісткового метаболізму, особливостей структури та функції кісткової тканини упродовж різних періодів онтогенезу [37-41].

Зокрема, Ошурко АП, Олійник ІЮ, Грищук ГВ (2018) вивчали якісні та кількісні характеристики кісткової тканини плідів людини, використовуючи комбіновані та гібридні методи дослідження [37], Павлів ХІ, Масна ЗЗ, Масна-Чала ОЗ, Габа МЄ, Челпанова ІВ (2019) досліджували особливості динаміки щільності кісткової тканини щелеп у дітей різних вікових груп [38], а в роботі Шаравар МЄ (2020) описано особливості будови та функцій опорно-рухового апарату людини в різні вікові періоди [39].

Проте особливо цікавими та інформативними з точки зору вікової перебудови, а також важливими для клініки є результати вивчення змін, які розвиваються в кістковій тканині осіб зрілого, похилого та старечого віку.

Корж МО, Воронцов ПМ, Ашукіна НО, Мальцева ВЄ (2021) наголошують, що кількість людей похилого віку в світі постійно зростає, а саме особи старших вікових груп є сьогодні найчастішими пацієнтами травматологів та ортопедів. Автори підкреслюють, що процеси регенерації кісток, які значною мірою залежать від віку пацієнтів, уповільнюються з його зростанням, тому глибоке та всебічне вивчення особливостей процесів відновлення кісткової тканини у осіб різного віку є важливою передумовою для розпрацювання ефективних стратегій лікування пацієнтів різних вікових груп [40].

На думку Chandra A, Rajawat J. (2021) кістку, як динамічний орган, підтримують впродовж життя у функціональному стані жорстко регламентовані механізми, які з віком зазнають дерегуляції. Використання їх як мішеней для терапевтичних засобів, вважають автори, стане ефективним методом корекції вікових змін в кістковій тканині, зокрема – остеопорозу [41].

1.2 Тригери остеогенної патології в житті сучасної людини

Результати численних досліджень свідчать, що не тільки вік, але й хвороби та зовнішні впливи змінюють структуру кістки на різних рівнях, знижують її функціональні можливості та фізичні властивості [42-44].

До найбільш вагомих тригерів кісткової патології, що веде до порушення структури та якості кісток належать цукровий діабет та ожиріння [7, 43-54]

Cortet B, Lucas S, Legroux-Gerot I, Penel G, Chauveau C, Rascou J. (2019) підкреслюють, що попри різні механізми впливу цукровий діабет (ЦД) як 1-го, так і 2-го типу тісно пов'язаний з хворобами кісток – результати досліджень за участю пацієнтів з діабетом показують 10-кратне збільшення ризику переломів у порівнянні з контрольною групою [45]. За даними Dixit M, Liu Z, Poudel SB, Yildirim G, Zhang YZ, Mehta S. et.al. (2021) у пацієнтів з ЦД 1-го типу спостерігається зниження мінеральної щільності кісткової тканини в результаті зниження активності остеобластів та пригнічення ремоделювання кістки, а також зростає ризик переломів [46].

Hu P, McKenzie JA, Buettmann EG, Migotsky N, Gardner MJ, Silva MJ (2021) спостерігали порушення формування кісток та загоєння переломів у пацієнтів з ЦД 1-го типу [47], а Joseph TV, Caksa S, Misra M, Mitchell DM.(2020) повідомляють, що серед осіб з ЦД 1-го типу ризик перелому стегнової кістки в 6 разів вищий, ніж у загальній популяції, наголошуючи при цьому, що причина такої ламкості кісток залишається ще недостатньо вивченою [48].

Про підвищений ризик переломів у осіб, хворих на ЦД 1-го типу, зокрема – в неverteбральних ділянках повідомляють Sewing L, Potasso L, Baumann S, Schenk D, Gazozcu F, Lippuner K. et al. (2022), також наголошуючи на недостатньому вивченні впливу контролю глікемії та мікросудинних патологій на здоров'я кісток [49].

Вивчаючи механізми впливу ЦД 1-го типу на стан кісткової тканини у пацієнтів молодого віку Андруша АБ (2018) підкреслює, що сьогодні цукровий діабет належить до найпоширеніших хвороб і знаходиться на третьому місці в рейтингу патологій, які ведуть до ранньої інвалідизації та смертності населення в більшості розвинутих країн, а остеопороз визнано одним з його хронічних ускладнень [50].

Результати обсерваційних досліджень, проведених Mitchell A, Larsson SC, Fall T, Melhus H, Michaëlsson K, Byberg L.(2021) засвідчують, що ЦД 2-го типу пов'язаний з більшим ризиком переломів стегна та вищою мінеральною щільністю кісткової тканини [51]. Shitole P, Choubey A, Mondal P, Ghosh R (2021) вважають, що ЦД 2-го типу впливає на мінеральну фазу кісткової тканини, що, своєю чергою, веде до змін властивостей кісткового матеріалу на нано- та макрорівнях [52].

Дослідження, проведені Sihota P, Yadav RN, Dhaliwal R, Bose JC, Dhiman V, Neradi D. et al. (2021) підтвердили, що підвищену крихкість кісток, пов'язану з ЦД 2-го типу не можна пояснювати лише зміною мінеральної щільності кісткової тканини. Отримані авторами дані засвідчили шкідливий вплив гіперглікемії на якість трабекулярної кісткової тканини, що веде до зниження її міцності та підвищення схильності до ламкості кісток [53]. Розглядаючи крихкість кісток, як одне з можливих ускладнень ЦД Napoli N, Incalzi RA, De Gennaro G, Marcocci C, Marfella R, Papalia R. et al. (2021) підкреслюють, що вона може виникнути у пацієнтів різного віку та статі, з різним перебігом, тривалістю та важкістю основного захворювання та наявністю інших ускладнень. Саме тому автори рекомендують починати оцінку ризику розвитку переломів на різних стадіях природного перебігу хвороби [54].

Аналізуючи стан мінерального обміну кісткового метаболізму у хворих на цукровий діабет у поєднанні з ожирінням, Залюбовська ОІ, Трифонова НС, Крапівко СО, Наріжна АВ (2021) акцентують увагу на дискутабельних питаннях щодо впливу цукрового діабету та ожиріння, яке

часто супроводжує ЦД 2-го типу на перебіг кісткового метаболізму та мінеральну щільність кісткової тканини.

Розглядаючи різні точки зору на роль ожиріння, яке на думку одних дослідників є пусковим чинником і, одночасно, найбільш раннім та достовірним маркером порушень кісткового метаболізму, а на думку інших – фактором захисту кісткової тканини, що обумовлює підвищення її мінеральної щільності, автори підкреслюють, що складні взаємодії розладів мінерального обміну та патогенетичних чинників, що є основою ожиріння та ЦД 2-го типу є однією з умов посилення резорбтивної активності кісткової тканини при недостатності кісткоутворення [7].

Концепцію про роль ожиріння, як форми захисту від переломів кісток розглянули Madeira E, Madeira M, Guedes EP, Mafort TT, Moreira RO, de Mendonça LMC (2019) у своєму дослідженні, яке мало на меті оцінити вплив втрати ваги на щільність та мікроструктуру кісток [55]. Отримані авторами результати засвідчили, що втрата ваги може негативно вплинути на мікроструктуру кісткової тканини у молодих осіб, особливо для несучих кісток.

Вивченню змін мінеральної щільності кісток та складу тіла у пацієнтів з ожирінням після метаболічного та бариатричного лікування присвятили своє дослідження Yuan X, Zhu W, Hao Z, Li J, Zhang T, Li W, et al.(2025) [56], взаємозв'язок між фізичною активністю, мінеральною щільністю кісток та складом тіла у людей з ожирінням та спортсменів вивчали Suttho D, Apibantaweesakul S, Soponputthaporn J, Nemaipibun S, Santipongphibool M, Tengcharoenkul C.(2024) [57], а вплив силових тренувань на склад тіла та фізичні функції у літніх жінок із саркопенічним ожирінням з'ясовували Guo C, Dai T, Zhang H, Luo M, Gao J, Feng X (2025) [9].

Цікавими з точки зору виявлення причин підвищеної ламкості кісток у осіб з ожирінням є результати досліджень, проведених Maïmoun L, Renard E, Humbert L, Aouinti S, Mura T, Boudousq V. et al. (2021) [58]. Отримані авторами результати засвідчили, що у більшості жінок з ожирінням

і переломами, отриманими в результаті травми, показники ареальної мінеральної щільності кісткової тканини перебували в межах норми, що засвідчує необхідність пошуку інших параметрів кісткової якості, які мають визначальне значення для оцінки ризику переломів у таких пацієнтів [58].

Сучасна наукова медична література містить результати численних досліджень, присвячених вивченню впливу на якість кісткової тканини гормонального статусу організму. Серед основних тригерів кісткової патології їх автори називають дефіцит вітаміну D та естрогенів, надлишок кортизолу, паратиреоїдного гормону тощо [59- 64].

Зниження рівня естрогену, спричинене фізіологічними віковими змінами у період менопаузи чи в результаті патологічних процесів в організмі жінки або зовнішніх впливів веде до вираженої активації остеокластів на тлі незначної активності остеобластів, вважають Liu J, Kim EK, Ni A, Kim YR, Zheng F, Lee BS. et al. [60]. Результатом вираженого розриву між резорбцією та формуванням кістки, який розвивається в результаті дисбалансу активності остеобластів та остеокластів є чиста втрата кісткової тканини та стрімке зниження її якості [60-62].

Серед причин втрати кісткової маси, зниження мінеральної щільності кісток та підвищення їх ламкості Messina OD, Vidal LF, Wilman MV, Bultink IEM, Raterman HG, Lems W. (2021) називають довгострокову терапію глюкокортикоїдами, що часто застосовується майже у всіх медичних спеціальностях, а зокрема – для лікування аутоімунних і хронічних запальних захворювань [65]. Pereira RMR, Perez MO, Paula AP, Moreira C, Castro CHM, Zerbini CAF, Domiciano DS, de Azevedo E, Mendonca LMC, Shinzato MM, da Rocha-Loures MAA, Radominski S, Szejnfeld VL. (2021) вказують, що за результатами проведених ними досліджень частота вертебральних/невертебральних переломів у осіб, які отримували лікування глюкокортикоїдами упродовж більше ніж 3 місяців, коливається від 30% до 50% [66].

Численні дослідники присвятили свої роботи вивченню впливу на стан кісткової тканини гострих чи хронічних захворювань різних органів та систем організму. З'ясуванню особливостей патогенезу, діагностики та лікування кісткової патології, що виникає та прогресує на тлі хронічних захворювань печінки присвячені праці Іваницького І., Шилкіної Л. (2018), Мялюк О. П., Марущак М. І., Баб'як О. В., Сабадишин Р. О., Палапи В. В. (2023), Ткаченко Т. В., Пентюк Н. О., Пентюк Л. О., Томашкевич Г. І. (2023) [67-69], а вивченню особливостей ремоделювання кісткової тканини у хворих на ішемічну хворобу серця – робота Іванової К.В.(2018) [70].

Результати досліджень Kahnert K, Jörres RA, Lucke T, Trudzinski FC, Mertsch P, Bickert C. et al. (2021), Shen L, Lv J, Li J, Zhou J, Wang X. (2024), Чаплинської Н. В., Рудник В. Т. (2019) засвідчують високу частоту кісткової патології як супутнього захворювання у пацієнтів з хронічним обструктивним захворюванням легень [71-73].

Особливо високий ризик погіршення мінеральної якості кісток мають пацієнти з хронічною хворобою нирок, стверджують Jørgensen HS, David K, Salam S, Evenepoel P; (2021), Дудар СЛ. (2021), Pazianas M, Miller PD. (2021), Pothula Venkata V, Scialla JJ (2025) [77-77].

Погіршення здоров'я кісток на тлі хронічного гастродуоденіту спостерігали Горішний ІМ, Горішний МІ, Мочульська ОМ, Чорномидз ІБ, Синовєрська ОБ. (2019), а Kaur S, Nimmala S, Singhal V, Mitchell DM, Pedreira CC, Lauze M, Lee H, Stanford FC, Bouxsein ML, Bredella MA, Misra M.(2023) досліджували механізми , що ведуть до зниження якості кісткової тканини через 24 місяці після здійснення гастректомії [78, 79].

В науковій медичній літературі дуже часто із зниженням якості кісткової тканини та підвищеним ризиком переломів асоціюється ревматоїдний артрит [80, 81]. Wysham KD, Baker JF, Shoback DM. (2021) підкреслюють важливість знання специфічних для ревматоїдного артриту чинників ризику втрати мінеральної щільності кісткової тканини та підвищення її ламкості, а також їх важливість для модифікації встановлених

алгоритмів ризику переломів і оцінки лікування кісткової патології у пацієнтів з ревматоїдним артритом для зниження ризику їх інвалідизації [81].

Підвищений ризик переломів також асоціюється з нервовими розладами та захворюваннями. Stapledon CJM, Stamenkov R, Cappai R, Clark JM, Bourke A, Bogdan Solomon L. et al. (2021) досліджували взаємозв'язки між кістковою патологією та деменцією, аналізуючи кісткову експресію нейротропних генів та генів, пов'язаних з деменцією у пацієнтів, які перенесли операцію заміни кульшового суглоба з приводу перелому шийки стегнової кістки [14]. Zheng X, Qi Y, Zhou H, Kang H, Tong Y, Bi L.(2021) вважають, що змінити якість кісткової тканини може травма спинного мозку [82.]. Найбільш уразливими ділянками для переломів кісток у осіб з травмами спинного мозку автори дослідження називають дистальний відділ стегнової кістки і проксимальний відділ гомілки. Ще одним причинним чинником зниження мінеральної щільності кісткової тканини на думку Kimball JS, Johnson JP, Carlson DA.(2021) є оксидативний стрес [83].

Сьогодні не викликає жодних сумнівів негативний вплив на метаболізм, в тому числі – кістковий, шкідливих звичок. Проблемі вивчення прямого та опосередкованого впливу на кісткову систему хронічного вживання алкоголю присвячені дослідження Jadzic J, Milovanovic P, Svetkovic D, Ivovic M, Tomanovic N, Bracanovic M. et al.(2021), Wang X, Chen X, Lu L, Yu X. (2021), Martiniakova M, Kovacova V, Biro R, Mondockova V, Sarocka A, Penzes N, et al. (2025) [84-86.].

Хронічне вживання алкоголю негативно впливає на кісткову систему, що може привести як до погіршення якості кісткової тканини, так і до сповільненого загоєння переломів, а також – до остеонекрозу стегнової кістки, – підкреслюють, підсумовуючи результати свого дослідження Wang X, Chen X, Lu L, Yu X. (2021) та наголошують на нагальній потребі більш глибокого вивчення патогенетичних механізмів розвитку патології та розробці нових специфічних методів її корекції [86].

Серед факторів, які визначають рівень мінеральної щільності кісткової тканини Kopiczko A, Czapla M, Kubiela G, Uchmanowicz B. (2024) вказують паління, а результати досліджень da Silva AF, Lima FJ, Moreira AR, Silva CDN, de Oliveira IB, Callera AF, et al. (2025) підтверджують шкідливий вплив сигаретного диму як на органічний, так і на мінеральний компонент кісток [87, 88].

Вивченню ролі наркотичної залежності, як потужного тригера кісткової патології присвячені численні дослідження, результати яких підтверджують вплив наркотичних середників на якість та мінеральний склад кісток, а також на перебіг їх посттравматичної регенерації [89-92].

Дані, отримані Согуйко Р.Р.(2019), Согуйко РР, Масною ЗЗ, Павлів ХІ. (2019), Sohuyko RR, Masna ZZ, Pavliv KhI (2019), Sohuyko R, Pavliv Kh, Masna-Chala O, Diskovskyi I, Masna Z (2019) переконливо засвідчують виражену динаміку показників мінеральної щільності та мінерального складу кісткової тканини на тлі тривалого вживання налбуфіну. Зокрема, авторами дослідження було виявлено збільшення в кістковій тканині експериментальних тварин абсолютних показників вмісту кальцію, фосфору, магнію, натрію, цинку та заліза і зменшення показників вмісту калію та стронцію, а також суттєве збільшення тривалості посттравматичної регенерації кісток [89-92].

Увагу численних дослідників привертають зміни, яких зазнає кісткова тканина у ВІЛ-інфікованих осіб та пошук ефективних методів їх профілактики. За даними Marasco E, Mussa M, Motta F, Bobbio-Pallavicini F, Maserati R, Montecusso C. et al. (2021) поширеність кісткової патології серед ВІЛ-інфікованих приблизно утричі вища, ніж в загальній популяції [93]. Баннікова, Р., Пархоменко, М. (2018) вважають, що порушення кісткового метаболізму є наслідком як захворювання на СНІД, так і терапії антиретровірусними препаратами [94].

Автори наголошують, що ВІЛ-інфіковані особи зазвичай не дотримуються здорового способу життя за такими критеріями, як

неповноцінне харчування, недостатня рухова активність, зловживання палінням, алкоголем та наркотичними речовинами тощо. Тому, підкреслюючи, що вчасна діагностика та обґрунтований вибір схеми антиретровірусної терапії сприятимуть запобіганню розвитку ускладнень з боку кісткової системи, автори розглядають також перспективи пропаганди здорового способу життя та застосування регулярної фізичної активності для запобігання порушень якості кісткової тканини, виникненню переломів та додаткового ризику інвалідизації у ВІЛ-інфікованих, які розпочинають антиретровірусну терапію та мають ризики розвитку кісткової патології як прояву побічної дії застосовуваних препаратів [94].

Недостатньо вивченими сьогодні залишаються зміни, що розвиваються в кістковій тканині онкологічних пацієнтів. На думку Fujihara N, Fujihara Y, Hamada S, Yoshida M, Tsukushi S. (2021) онкологічні проблеми, як і хвороби кісток мають високі показники маніфестації серед осіб похилого віку [95]. Проте лікування кісткової патології, зокрема – остеопорозу, залишається недостатньо дослідженим, що робить особливо актуальним вивчення сучасних практик її корекції серед онкологічних хворих та з'ясування ефективності лікувальних втручань.

Упродовж останніх років у цілому світі особливої актуальності набули дослідження, присвячені вивченню впливу пандемії COVID-19 на здоров'я кісток та лікування їх патології. Хоча вплив пандемії на стан кісткової системи є, переважно опосередкованим, основними його критеріями, які суттєво погіршують якість кісткової тканини різні дослідники вважають системні запалення, викликані вірусом, виражений дефіцит вітаміну D та гіподинамію, пов'язані з самоізоляцією, а також вплив на організм медикаментів, зокрема – стероїдної групи, які є необхідними для лікування основного захворювання, але мають агресивну побічну дію на кістковий метаболізм [96, 97].

Проведений аналіз наукової медичної літератури, присвяченої проблемі порушень кісткового метаболізму та структури і мінерального

складу кісток засвідчив її поліетіологічність, а також дав можливість виділити серед тригерів кісткової патології обмеження рухової активності та неадекватність фізичних навантажень.

Сьогодні малорухливий спосіб життя є однією з особливо актуальних медико-соціальних проблем у світовому масштабі, спричиненою глобальною автоматизацією та цифровізацією у всіх сферах людської діяльності. Саме тому увагу численних дослідників привертає вивчення впливу фізичної неактивності на загальний стан здоров'я сучасної людини та на інші чинники ризику розвитку хронічної патології, в тому числі – кісткової [1, 10, 27, 98].

Результати досліджень, проведених Chen Y, Yu J, Li W, Wang L, Zhou X, Zhuang C, et al.(2024), Cieplińska J, Kopiczko A.(2021), Fayad I, Pinti A, Zouhal H, El Hage R.(2025) засвідчують наявність кореляційних зв'язків між ступенем рухливості, показниками фізичних навантажень та якістю кісткової тканини і показниками механічних властивостей кісток різних ділянок скелета [2, 8, 11]. Дослідивши мінеральну щільність кісток спортсменів, Nevill AM, Wallace E, Stewart AD, Wyon M. (2025) дійшли висновку, що даний показник змінюється по всьому скелету залежно від виду спорту, а алометричне моделювання визначає «ефективні» сили, пов'язані з масою тіла [99].

Дані, отримані Polat C, Unveren A, Ertan H, Migliaccio GM, Pancar Z, Russo L. (2025) засвідчили вплив рекреаційного футболу на мінеральну щільність кісток [100], результати досліджень Kinoshita N, Tokita M, Okuyama K.(2025) дозволили виявити виражену динаміку мінеральних характеристик кісток серед бігунів на довгі дистанції [101.], а Liang Z, Lan J, Sun X, Guo R, Tian Y, Wang Y, et al.(2024) у своїй роботі підтвердили, що фізична активність зменшує підвищений ризик смертності від тривалого сидіння серед дорослих осіб з остеопорозом або остеопенією [102].

1.3 Остеопороз – «тиха епідемія» XXI століття

Поліетіологічність метаболічної та ендокринної патології кісткової тканини зумовлює поліморфізм її проявів. Найпоширенішим серед хронічних метаболічних захворювань кісток за даними наукової медичної літератури та офіційної медичної статистики сьогодні є остеопороз – патологічний стан, який характеризується низькою кістковою масою, деградацією мікроархітекτονіки кісткової тканини та підвищеною крихкістю і ламкістю, що створюють реальну загрозу переломів [103-105]. Водночас з рахітом у дітей та остеомалациєю у дорослих остеопороз є серйозною медико-соціальною проблемою, оскільки потребує тривалого лікування та нерідко стає причиною інвалідизації [106-109]. Тому особливої актуальності зараз набирає пошук методів та способів профілактики, ранньої діагностики остеопорозу та прогнозування ризику і запобігання переломів [110-111]. Дослідження, проведене Rinaldi C, Bortoluzzi S, Airolti C, Leigh F, Nicolini D, Russotto S. et al. (2021) засвідчує, що старіння населення стає серйозною проблемою громадського здоров'я, одним з аспектів якої є остеопороз. Профілактика та раннє виявлення остеопорозу є важливим для уникнення переломів кісток та їхнього соціально-економічного тягаря – підкреслюють автори [110].

Остеопороз називають «тихою загрозою», оскільки, не маючи виражених симптомів (якщо хвороба не ускладнена), він може спричинити множинні крихкі переломи з серйозними наслідками, в тому числі – летальними.

Багато дослідників вважають остеопороз жіночою хворобою, оскільки гормональні зміни, які відбуваються під час та після менопаузи, без сумніву визначають високі показники захворюваності на остеопороз та ризику переломів у жінок, наголошують Rinonapoli G, Ruggiero C, Messariello L, Bisaccia M, Caccarini P, Caraffa A. (2021) [112]. Ці ж автори зазначають при цьому, що хоча жінки, без сумніву, більш схильні до остеопорозу та крихких

переломів, не слід недооцінювати поширеність та важкість перебігу остеопорозу у чоловіків.

Rinonapoli G, Ruggiero C, Meccariello L, Bisaccia M, Ceccarini P, Caraffa A. (2021), а також Kaufman JM.(2021) підкреслюють, що остеопороз і переломи, пов'язані з крихкістю кісток також мають велику частоту маніфестації у чоловіків, а ризик розвитку летальних ускладнень у чоловіків з переломами стегна є вищим, ніж у жінок [112, 113]. Аналізуючи етіологію, епідеміологію, діагностику та лікування остеопорозу у чоловіків, автори наголошують на недостатньому вивченні даних аспектів проблеми, хоча саме вони є сьогодні як серйозною загрозою для якості життя окремих пацієнтів, так і значним тягарем для суспільства [112-114].

Підкреслюючи, що зараз остеопороз є всесвітньою проблемою охорони здоров'я, численні дослідники пропонують різні способи його профілактики, ранньої діагностики та лікування [115-118]. Зокрема, Ma HJ, Fu SC, Xiao A, Cai WK, Wang P, Shen ML. et al. (2020) вивчали зв'язок поліморфізму гена CYP19A1 з ризиком остеопорозу та мінеральною щільністю кісткової тканини і результати їх досліджень показали, що поліморфізм CYP19A1 rs700518 може бути потенційним кандидатом на біомаркер для скринінгу, ранньої діагностики та лікування остеопорозу, що допоможе покращити індивідуальну терапію пацієнтів з остеопорозом [115].

Дані, отримані Li S, Zhang Y, Ding S, Chang J, Liu G, Hu S. (2025) дали змогу встановити, що куркумін полегшує стан пацієнтів при глюкокортикоїд-індукованому остеопорозі, модулюючи при цьому мікробіоту кишківника та корегуючи метаболом сироватки крові [116].

Цікавими для клініки є результати досліджень, проведених LeBoff MS, Chou SH, Murata EM, Donlon CM, Cook NR, Mora S. et al. (2020). Аналіз даних, отриманих шляхом проведення рандомізованих контрольованих досліджень ефективності додаткового вживання вітаміну D, призначеного для зміцнення кісток в загальній популяції засвідчив їх суперечливість щодо впливу на мінеральну щільність кісткової тканини та її структуру [117].

Вивчення кістки, як біологічного композитного матеріалу передбачає глибоке і динамічне дослідження не лише її структурних особливостей, але й складу її мінерального компонента, який визначає функціональну спроможність кісткової тканини та забезпечення анатомічних і фізіологічних функцій скелета.

З'ясування особливостей та закономірностей процесів мінералізації кісток і зубів упродовж різних періодів онтогенезу, а також вивчення їх динаміки під впливом різних екзо- та ендогенних чинників має не лише теоретичне, але й прикладне практичне значення, привертаючи увагу численних дослідників [19-22, 119, 120].

Використовуючи різні спектроскопічні методи для з'ясування хімічного складу кістки в доклінічних і трансляційних дослідженнях Taylor EA, Miletì CJ, Ganesan S, Kim JH, Donnelly E.(2021) виявили, що вміст мінерального карбонату в кістці пов'язаний з частотою переломів, а зрілість/кристалічність мінералу – з віком тканини. Однак, на думку авторів широке використання спектроскопії для характеристики хімічного складу кістки в наукових дослідженнях, їхні результати щодо мінеральної складової кісток потребують подальшої глибокої перевірки для інформативної інтерпретації спектроскопічних даних [20].

Подальшого вивчення потребують і інші аспекти мінералізації та хімічної природи мінерального компонента кістки. Pedrosa M, Ferreira MT, E Batista de Carvalho LA, M Marques MP, Curate F. (2021) вважають, що незважаючи на існуючі сьогодні відомості про мінеральний і матричний склад кістки, дослідження щодо їхнього зв'язку з фізичними властивостями кістки та їх змінами, пов'язаними із захворюваннями кісток, зокрема, такими, як остеопороз, у людей практично не проводяться [120].

1.4 Можливості та методи вивчення кісткової тканини в експерименті та клініці.

Експериментальні дослідження, маючи переваги, які неможливо відтворити в клініці, дозволяють більш детально і глибоко вивчати структуру та мінеральний склад кісток, особливості їх вікової динаміки, зміни, які виникають під впливом різних чинників, перебіг патологічних процесів, методи та способи їх ранньої діагностики, профілактики та лікування.

Wang C, Zhang T, Wang P, Liu X, Zheng L, Miao L. et al. (2021), досліджуючи зв'язок між діабетом 1-го і 2-го типу та остеопоротичними переломами, завдяки експерименту продемонстрували складність діагностики остеопорозу при діабеті 2-го типу за мінеральною щільністю кісткової тканини, яка не змінюється регулярно, залишається, хоча остеопороз можна пояснити дисбалансом кісткового метаболізму, який також тісно пов'язаний з діабетом. Отримані авторами результати засвідчили, що експериментальна модель демонструє випереджувальний результат для раннього та щоденного моніторингу діабетичного остеопорозу 2 типу [121].

Експериментальне дослідження, проведене на мишах Xi L, Zhang Y, Gupta H, Terrill N, Wang P, Zhao T. et al. (2020) дозволило виявити кількісні та якісні зміни в кістковій тканині, причетні до зміни механічних властивостей кістки та підвищеного ризику переломів на тлі глюкокортикоїдіндукованого остеопорозу – провідної форми вторинного остеопорозу, що вражає до 50% пацієнтів, які отримують тривалу глюкокортикоїдну терапію [122].

Задерей ОВ, Ходаков ІВ. (2023), вивчаючи зміни щільності і складу кісткової тканини та атрофії альвеолярної кістки у щурів при гіпотиреозі, експериментальним шляхом встановили розвиток дистрофічних процесів у щелепах та стегнових кістках щурів на тлі дефіциту тиреоїдних гормонів та підтвердили підвищення щільності стегнових кісток і поперекових хребців, а також зниження атрофії альвеолярного відростка щелеп тварин з тиреоїдною

недостатністю при проведенні профілактики комплексом вітамінів, мінералів та кверцетину. Автори вважають, що збільшення щільності кісткової тканини щурів з гіпотиреозом під впливом профілактики відбувалося завдяки підвищенню частки мінерального компоненту кісток [123].

Костишин, Н. (2021) досліджував в експерименті мінеральну щільність кісток за умов моделювання глюкокортикоїд-індукованого остеопорозу та впливу загальної вібрації [25], Макаренко ОА, Майкова Г В, Кириленко НА, Еберле ЛВ (2020) вивчали обмін різних форм кальцію в організмі щурів з преднізолоновим остеопорозом [124], а Могилевська ТВ, Макаренко ОА, Гладкій ТВ (2021) визначали показники морфометричних та метаболічних порушень у кістковій тканині лабораторних щурів з хронічним токсичним гепатитом [125].

Результати комплексного дослідження будови губчастої речовини стегнової кістки та показників її мінеральної щільності за даними денситометрії у щурів з експериментальним фумонізинотоксикозом, проведеного Рудик ГВ (2019) дали змогу встановити, що інтоксикація тварин фумонізином не впливала на загальну вагу тіла і вагу стегнових кісток, хоча в інтоксикованих фумонізином щурів спостерігалось зниження механічних та геометричних властивостей кісток. Автором було з'ясовано, що значення мінеральної щільності кісткової тканини не відрізнялися між експериментальною та контрольною групами, але у тварин, інтоксикованих фумонізином величина мінерального компонента кістки і відносна частка золи були нижчими ніж у контрольній групі. Детальний аналіз мінерального компонента кісток дав змогу встановити, що вміст у кістках кальцію, міді, заліза, марганцю, стронцію та цинку значно зменшувався у щурів, інтоксикованих фумонізином, у порівнянні із контрольною групою інтактних тварин [126, 127].

Комплексно вивчаючи в експерименті метаболічні зміни в кістковій тканині тварин за умов експериментального кадміозу, Хопта НС, Ерстенюк

AM (2018) з'ясували, що в умовах введення в організм експериментальних тварин кадмій хлориду порушуються метаболічні процеси в кістковій тканині, розвивається дисмікроелементоз, демінералізація мінеральної фази кістки, руйнується її колагенова матриця, а процеси резорбції домінують над остеосинтезом [128].

Комплексному аналізу динаміки якісних та кількісних змін, що розвиваються в кістковій тканині експериментальних тварин на тлі опіодного впливу присвячені праці Согуйка Р., Масної З. (2019). Согуйка РР, Масної ЗЗ, Фіка ВБ, Пальтова ЄВ (2019) [129, 130].

Використовуючи рентгенівську томографічну мікроскопію з синхротронним випромінюванням в експерименті на щурах Tiyasatkulkoviti W, Aksornthong S, Adulyaritthikul P, Upanan P, Wongdee K, Aeimlapa R. et al. (2021) показали, що трабекулярна структура великогомілкової та стегнової кісток демонструє помітне збільшення пористості [131]. Використання мікрокомп'ютерної томографії в цьому ж дослідженні продемонструвало значне зниження мінеральної щільності трабекулярної кістки з розширенням ендостального периметра великогомілкової кістки, а результати гістоморфометричного аналізу показали збільшення кількості остеокластів разом із зменшенням кількості остеобластів та об'єму остеїдів в кістковій тканині при навантаженні сіллю. Спираючись на дані, отримані в результаті проведення комплексного експериментального дослідження, автори з'ясували, що тривале надмірне споживання солі призводить до порушення маси та цілісності скелета, можливо, через негативний баланс кальцію [131].

Використовуючи в експерименті на щурах твердотільну МРТ та подвійно налаштовану радіочастотну котушку Kasey VB, Walle M, Yeritsyan D, Kasey DV, Wu Y, Snyder BD, et al. (2025) провели кількісне визначення щільності кісткового матриксу та мінералів у кістках експериментальних тварин [24].

Toscano-Angulo JJ, Mora-Macías J, Blázquez-Carmona P, Morgaz J, Navarrete-Calvo R, Domínguez J, Reina-Romo E. (2025) підтвердили

експериментальним шляхом посилення ризику переломів через ламкість кісток під час процесів регенерації кісток у овець з остеопорозом [132], а Aștilean Pertea AN, Dreancă A, Gog-Bogdan S, Sevastre B, Ungur A, Negoescu A, et al. (2025), Mu X, Du X, Han H, Liu F, Zheng Z, Hao J, et al. (2025) присвятили свої експериментальні дослідження пошуку методів лікування остеопорозу з використанням наночастинок композиту альгінат-пулулан-біоактивнескло-золото та внутрішньовенного введення наночастинок sRNA [23, 133].

Окрему групу кісткових патологій складають процеси, які виникають в результаті локальних патологічних впливів, таких як травма, стоматологічні втручання (видалення зубів, встановлення імплантів), порушення кровопостачання тощо [18, 134-138].

Численні експериментальні дослідження присвячені вивченню змін, що відбуваються в кістковій тканині під дією локальних впливів, зокрема – травм та упродовж періоду їх корекції. Согуйко РР, Масна ЗЗ, Павлів ХІ, Габа МЄ (2019) вивчали особливості посттравматичної динаміки щільності кісткової тканини нижньої щелепи шура [139], Челпанова ІВ, Масна-Чала ОЗ, Масна ЗЗ (2022) досліджували динаміку мінерального складу кісткової тканини нижньої щелепи кролика після нанесення кістковоруйнівної травми [140], Масна ЗЗ, Масна-Чала ОЗ, Челпанова ІВ, Дудок ОВ, Чалий ТВ (2022) проводили комплексний аналіз якісних і кількісних посттравматичних змін в кістковій тканині нижньої щелепи [141], Костишин Н, Гжегоцький М. (2020) присвятили свої дослідження вивченню змін, що розвиваються у кістковій тканині експериментальних тварин на тлі обмеженої рухової активності та зовнішніх вібраційних впливів [142].

Універсальними і найпоширенішими методами дослідження стану кісток, суглобів та зубів є променеві методи, які знаходять сьогодні широке використання як в клініці, так і в експерименті [143-151].

Променеві методи обстеження пацієнтів дають змогу уточнити клінічний діагнос, діагностувати розвиток патологічних змін ще на

доклінічних етапах розвитку патології, а також контролювати якість та ефективність лікувальних заходів [152, 153], а дані, отримані при скринінгових та профілактичних оглядах відкривають можливість вивчення вікової статевої, конституційної, індивідуальної анатомічної мінливості [154, 155]. Зокрема, Барна ОМ, Головач ІЮ, Погребняк ОО, Корост ЯВ, Пехенько ВС, Аліфер ОО, Лотушко ВВ (2017) за показниками ультразвукової денситометрії проводили оцінку стану кісткової тканини у осіб різних вікових груп та досліджували динаміку даного показника у віковому аспекті [156].

Криницький РП, Дахно ЛО, Масна ЗЗ, Рижук ХА, Кухлевський Ю.(2015) порівнювали стан кісткової тканини коміркових ділянок верхньої та нижньої щелеп у осіб зрілого віку за умови збереження зубних рядів, при адентії та після дентальної імплантації [157], Кухлевський Ю, Угрин М, Масна З.(2015) вивчали вікові та гендерні відмінності чинників ризику зміни щільності кісткової тканини щелеп у осіб з дентальною імплантацією [158], а Кухлевський ЮІ, Студент ВО, Масна ЗЗ. (2017) досліджували вплив функціонального навантаження на структуру та якість кісткової тканини коміркових відростків верхньої щелепи у молодих осіб [159].

Zhao R, Cai H, Tian H, Zhang K. (2021) досліджували анатомічні параметри та двосторонню симетрію стегна, а також діапазон анатомічних варіацій обстежуваної ділянки шляхом вимірювання та порівняння її симетричних анатомічних структур з використанням рентгенівських знімків та серій комп'ютерних томограм [160].

Провівши аналіз даних, отриманих в результаті проведених досліджень, Кухлевський ЮІ, Масна ЗЗ (2018) запропонували застосовувати променеві біомаркери за даними конусно-променевої комп'ютерної томографії для виявлення ознак анатомічної асиметрії верхньої та нижньої щелеп у осіб зрілого віку [161], а Масна ЗЗ, Адамович ОП, Челпанова ІВ, Генік ІД, Рудницька ХІ (2023) використовувати мінеральну щільність як

універсальний біомаркер якості кісткової тканини в стоматологічній практиці [17].

З метою оптимізації діагностики та лікування дітей у стоматолога Ісакова О, Колесніченко О. (2024) пропонують використовувати показники денситометрії кісткової тканини [162], а Aparisi Gómez MP, Wáng YJ, Yu JS, Johnson R, Chang CY.(2025) – користуватись можливостями двоенергетичної рентгенівської абсорбціометрії для скринінгу остеопорозу [163].

Остеопоротичні переломи є однією з найчастіших патологій серед людей похилого віку, а жінки в менопаузі та упродовж постменопаузального періоду складають популяцію з найвищим ризиком раннього розвитку остеопорозу, який часто супроводжується переломами зазначають у своєму дослідженні Zaia A, Rossi R, Galeazzi R, Sallei M, Maconi P, Scendoni P. (2021) [15]. При цьому автори наголошують, що, хоча для діагностики остеопорозу мінеральна щільність кісткової тканини зазвичай оцінюється за допомогою рентгенівської абсорбціометрії з подвійною енергією, проте сам по собі цей показник не є значущим предиктором ризику переломів. Натомість мікроархітектуру кісток можна вважати значущою детермінантою їх крихкості незалежно від показників мінеральної щільності, вважають автори дослідження та пропонують використання магнітно-резонансної томографії високої роздільної здатності в якості ефективного неінвазивного/неіонізуючого інструмента для *in vivo* характеристики мікроархітектури трабекулярної кістки.

Поява мікрокомп'ютерної томографії зробила губчасту кістку більш доступною для вивчення, ніж будь-коли раніше вважають Veneziano A, Cazenave M, Alfieri F, Panetta D, Marchi D. (2021) [164]. Проте характеристика губчастої кістки ускладнюється специфічністю її гістологічної будови та труднощами у визначенні гомології структур. Тому автори пропонують нові віртуальні методологічні підходи для подолання цих проблем і доповнення існуючих методів дослідження.

Хоча методи променевої візуалізації, які сьогодні знаходять застосування в клініці, забезпечують високий рівень діагностики кісткової патології, майбутні виклики полягатимуть в тому, щоб включити лабораторні вимірювання якості кісток з високою роздільною здатністю в клінічні умови з метою розширення глибини інформації, доступної клініцистам під час діагностики та лікування патологій мінералізованих тканин, вважають Zimmermann EA, Fiedler IAK, Busse B.[16].

Дані отримані шляхом променевого обстеження суттєво доповнюють результати гістологічних, імуногістохімічних, ультрамікроскопічних, а також хімічних досліджень. Експеримент відкриває для науковців унікальну можливість комплексного вивчення змін, що розвиваються в кістковій тканині з віком, а також на тлі хронічних патологій, фонових впливів, гострих уражень чи травм починаючи з ранніх термінів, створює умови для з'ясування часових рамок їх розвитку та зворотності процесів, забезпечує підґрунтя для пошуку ефективних методів їх діагностики, корекції та профілактики [165 –174].

Серед численних робіт, присвячених вивченню мінералізованих тканин особливо цікавими та інформативними є експериментальні дослідження, що містять результати комплексного вивчення особливостей їх структури та мінерального складу і закономірностей динаміки їх змін у віковому аспекті або під впливом зовнішніх чи внутрішніх чинників. Безумовно цікавими з цієї точки зору є праці Челпанової ІВ, в яких автор подає дані щодо морфологічних, рентгенологічних та хімічних характеристик регенерації кісткової тканини в експерименті з використання різних остеопластичних матеріалів – природного колагену, комбінації природного колагену з лінкоміцином, β -трикальційфосфату, активованого хітозану, октакальційфосфату та хітозану комбінації октакальційфосфату з хітозаном і ампіциліном [175-182].

В працях Коренькова ОВ знаходимо результати комплексного вивчення впливу природного гідроксилапатиту і β -трикальційфосфату на

динаміку змін механічних властивостей в експериментальному дефекті компактної кісткової тканини [183-185], в роботах Согуйка РР. та співавторів – дані, отримані при дослідженні структурних та хімічних змін в кістковій тканині, що розвиваються на тлі тривалої опіюдної залежності та після нанесення кісткоруйнівної травми [186, 187].

Порівняльному аналізу змін щільності та мінерального складу кісткової тканини на тлі експериментального цукрового діабету та тривалого опіюдного впливу присвячене дослідження Адамович О, Сафонова А, Кривецького В, Кордіяк О, Согуйка Р, Пальтова Є, Коцаренка М (2021) [6]. Вплив механічних коливань та загальної вібрації на структурно-функціональний стан кісткової тканини вивчали Костишин НМ, Гжегоцький МР, Серветник МІ (2017), Костишин НМ; Гжегоцький М.Р, Костишин ЛП, Кулик ЮО (2021) [188, 189]. Проте тільки окремі експериментальні роботи присвячені вивченню організації кісткової тканини та структурних властивостей кісток у тварин з обмеженою рухливістю і дослідженню їх змін в часовому аспекті та під дією зовнішніх впливів [171, 190].

Таким чином, результати проведеного опрацювання літературних джерел засвідчують актуальність проведення комплексних експериментальних досліджень для з'ясування впливу гіподинамії на структури опорно-рухового апарату та вивчення закономірностей динаміки щільності та мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки щура на тлі тривалої вимушеної іммобілізації та після її завершення.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріал дослідження

Дослідження проведено на 65 білих безпородних статевозрілих щурах-самцях віком 3,0-3,5 місяці і масою 180-200 г. Тварин утримували на стандартному раціоні віварію Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького з вільним доступом до води, при сталій температурі й вологості.

Для проведення дослідження тварин було розділено на експериментальну (60 щурів) та контрольну (5 інтактних щурів) групи.

Комітетом з біоетики Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького (протокол № 3 від 20 березня 2023 року та протокол № 2 від 26 січня 2026 року) встановлено, що дослідження були заплановані та проведені згідно положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986), «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим Національним конгресом з біоетики (Київ, 2001), Закону України № 3447 – IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» згідно з директивою Ради ЄС 2010/63/EU про дотримання постанов, законів, адміністративних положень Держав ЄС з питань захисту тварин, які використовуються з науковою метою [191, 192].

В процесі виконання роботи було використано наступні методи дослідження:

1. моделювання тривалої вимушеної іммобілізації;
2. гоніометричний метод;
3. скелетування;
4. рентгенографічний/радіовізіографічний метод;
5. метод атомно-абсорбційного спектрального аналізу,

6. метод статистичної обробки цифрових даних .

Характеристика матеріалу дослідження, та перелік застосованих методів подано в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Характеристика матеріалу дослідження.

Експериментальні групи	Методи дослідження		
	Гоніометричне дослідження	Рентгенанатомічне/радіовізіографічне дослідження	Атомно-абсорбційний спектральний аналіз
1	2	3	4
Експериментальна група – тварини з тривалою вимушеною іммобілізацією	30	30	30
Контрольна група	5	5	5
Всього	35	35	35

Гоніометричні виміри амплітуди рухів кульшового суглоба та дослідження його стану та щільності і мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки усіх тварин експериментальної групи проводили через 3, 4, 5 та 6 тижнів після накладення іммобілізаційних пов'язок, а також через 2 тижні після їх зняття.

2.2 Методи дослідження

2.2.1 Моделювання вимушеної гіподинамії

Моделювання вимушеної гіподинамії білого щура здійснювали шляхом іммобілізації крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок експериментальних тварин гіпсовою пов'язкою по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах. Використання даної моделі, яка повністю виключає рухи у кульшових та

колінних суглобах та суттєво знижує загальну рухову активність щура дозволило провести поетапне комплексне вивчення впливу вимушеної іммобілізаційної гіподинамії на організм експериментальних тварин та з'ясувати закономірності динаміки функціональних, структурних та хімічних змін у досліджуваних структурах (рис. 2.1).



Рисунок 2.1. Іммобілізація крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок у експериментальної тварини гіпсовою пов'язкою по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах.

Інтактні тварини відповідного віку увійшли до контрольної групи.

2.2.2. Гоніометричне дослідження

Після завершення експерименту та зняття іммобілізуючих гіпсових пов'язок визначали амплітуду пасивних згинальних та розгинальних рухів у кульшовому суглобі експериментальних тварин.

При визначенні амплітуди рухів початковим вважали положення задньої кінцівки перпендикулярно до поздовжньої осі тіла щура.

Вимірювання величини кутів згинання/розгинання проводили з використанням транспортира/кутоміра (рис. 2.2)..

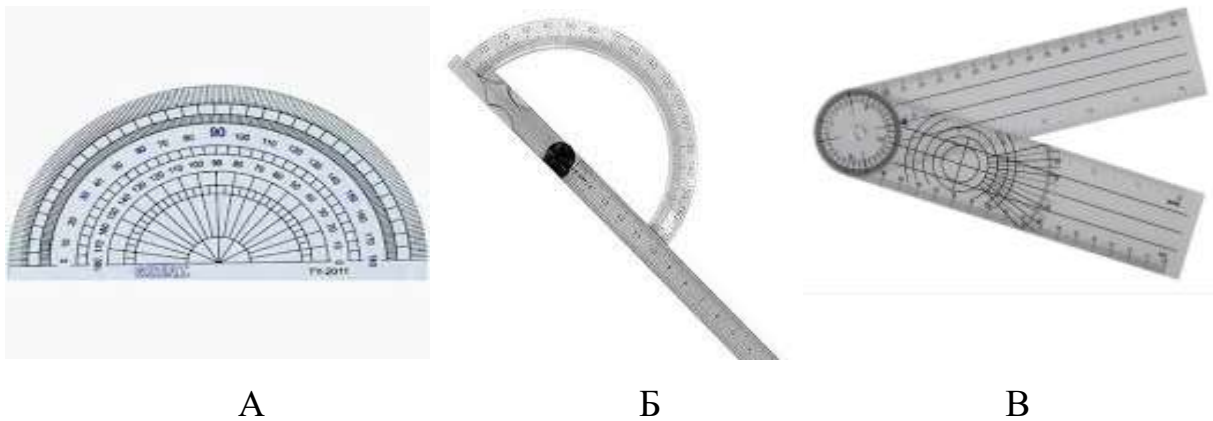


Рисунок 2.2. Інструменти для вимірювання величини кутів згинання/розгинання стегна у кульшовому суглобі (А – транспортир, Б – транспортир-кутомір, В – гоніометр).

2.2.3. Скелетування

Експеримент проводили на статевозрілих, безпородних щурах - самцях віком 3,0-3,5 місяці і масою 180-200 г. Усі тварини знаходилися в умовах віварію згідно “Правил проведення робіт з використанням експериментальних тварин”. Після виведення тварин з експерименту шляхом передозування наркозу дибутиловим ефіром проводили скелетування кісток тазу та задніх кінцівок (рис. 2.3) з метою проведення подальших досліджень

з використанням променевих методів та забору кісткових фрагментів для виконання атомно-абсорбційного спектрального аналізу.



Рисунок 2.3 Скелетовані тазові і стегнові кістки щура.

2.2.4. Рентгенанатомічне/радіовізіографічне дослідження

Рентгенографічне дослідження проводили на апараті ZooMaxLG (Угорщина), адаптованому для зйомки всіх типів експозицій, в тому числі – для маленьких тварин. Зйомку проводили у сагітальній, горизонтальній, бічній та косих проекціях при параметрах зйомки 20kw, 60 mAs при фокусній відстані 10-15 см.(рис. 2.4).

Для визначення щільності кісткової тканини стегнової кістки тварин експериментальної та контрольної груп проведено опрацювання 75 радіовізіограм скелетованої стегнової кістки щура (рис. 2.5).

Щільність кісткової тканини стегнової кістки в ділянці головки, шийки, великого вертлюга та проксимального відділу діафіза визначали методом радіовізіографічного дослідження на апараті фірми Siemens з програмним забезпеченням TROPHI Radiologi. (рис. 2.6).



Рисунок 2.4 Rh тазовостегнової ділянки щура. Вентродорзальна проекція.

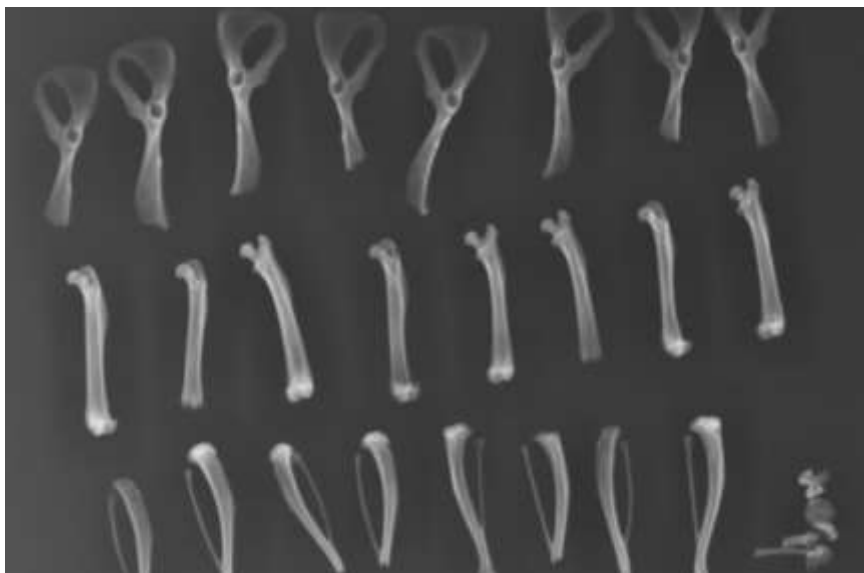


Рисунок 2.5. Rh скелетованих препаратів нижньої кінцівки щура

Одиниця виміру щільності тканин – умовна одиниця сірості (УОС).

Суть методу цифрової радіовізіографії полягає у використанні спеціального датчика, що заміняє рентгенівську плівку і дозволяє отримати якісні цифрові зображення об'єкта обстеження.

Сучасні радіовізіографи дозволяють здійснювати аналіз отриманих та розшифрованих цифрових зображень шляхом використання комплексу RVG,

що забезпечує можливість фільтрації зображення, зміни його яскравості, контрастності, розмірів та виділення окремих фрагментів для більш детального вивчення.

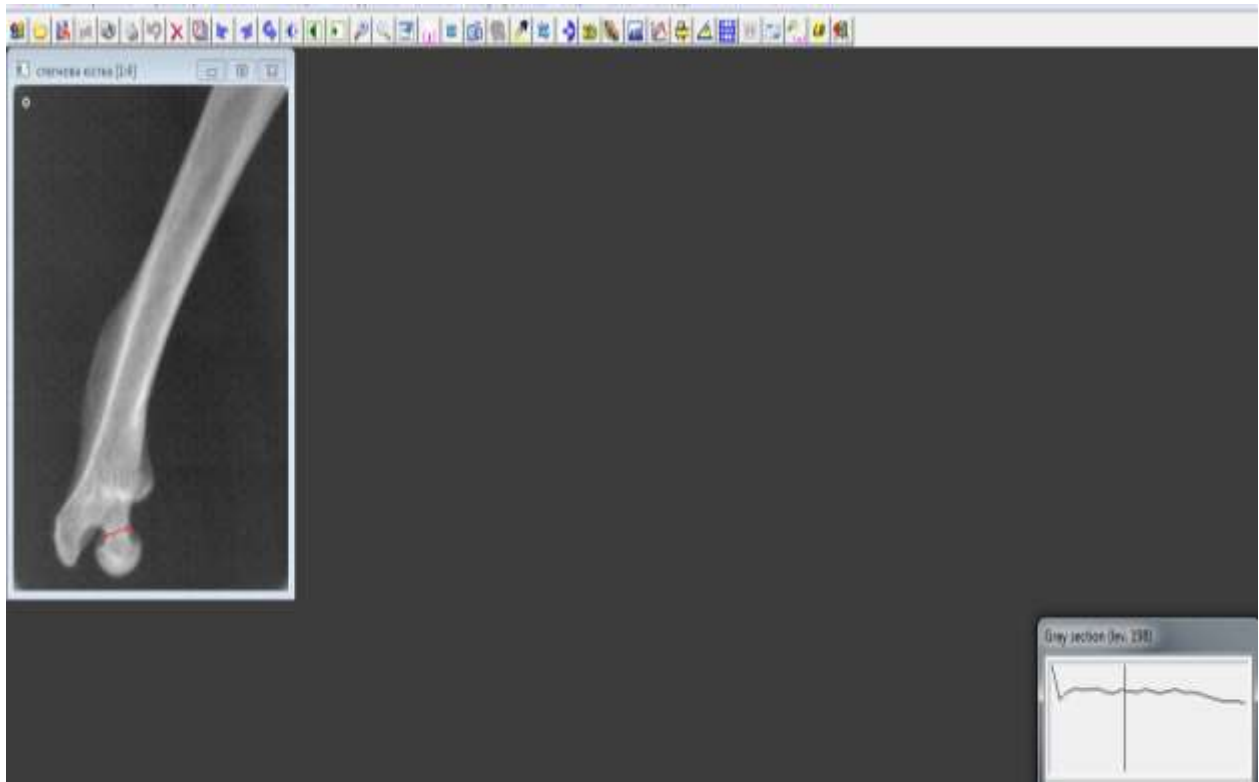


Рисунок 2.6 – Зображення на екрані радіовізіографа. Алгоритм визначення щільності кісткової тканини шийки стегнової кістки щура радіовізіографічним методом.

До додаткових переваг сучасних радіовізіографів, важливих для клінічного обстеження пацієнтів, відносять:

- зниження в 10 і більше разів променевого навантаження на об'єкт обстеження;
- візуалізацію обстежуваних структур в режимі реального часу;
- незалежність якості зображення від зовнішніх чинників та впливів;

- можливість визначення лінійних та просторових величин обстежуваних структур, вимірювання відстаней;
- можливість визначення якості досліджуваних структур шляхом вимірювання їх щільності в абсолютних цифрових показниках – умовних одиницях сірості (УОС);
- можливість архівації отриманих зображень та створення швидкодоступних баз даних без обмеження об'єму інформації.

При опрацюванні радіовізіограм застосовували програму для виміру щільності твердих тканин, що дозволило визначити щільність кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки та встановити особливості динаміки досліджуваного показника упродовж різних термінів експерименту.

2.2.5 Атомно-абсорбційний спектральний аналіз

Вивчення мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки здійснювали шляхом проведення атомно-абсорбційного та атомно-емісійного спектрального аналізу 30 фрагментів кісткової тканини стегнової кістки щура виконаного на атомно-абсорбційному спектрофотометрі ААС-1N (CarlZeissJena, Німеччина) із використанням полум'я пропан-бутан-повітря.

Досліджували вміст семи мінеральних елементів: кальцію (Ca), фосфору (P), магнію (Mg) та натрію (Na), а також цинку (Zn) та стронцію (Sr).

Вміст у кістковій тканині цинку та магнію визначали атомно-абсорбційним методом із застосуванням способу градуювального графіка та способу добавок.

Для визначення вмісту стронцію, кальцію та натрію було застосовано атомно-емісійний метод – спосіб порівняння та спосіб добавок.

Вміст фосфору визначали шляхом використання фотометричного методу після побудови градуювального графіка і способом добавок.

Дослідження проводили у центральній науково-дослідній лабораторії Львівського національного університету ім. Івана Франка.

Концентрацію досліджуваних елементів у зразках кісткової тканини вказували у мг/г.

Метод атомно-абсорбційного спектрального аналізу (ААСА) для визначення мінерального складу кісткової тканини обрали з огляду на його високу чутливість, яка дозволяє визначити окремі елементи при концентрації 0,1 – 0,005 мкг/мл розчину і нижче; високу вибірковість, оскільки перешкоди, пов'язані з перекриванням спектральних ліній є дуже незначними; високу точність (похибка при ААСА складає 2-3%).

До переваг даного методу відносять також його простоту виконання – при вимірюванні концентрацій металів у біологічних рідинах методом ААСА попередня обробка проби зводиться до її розчинення. Процес підготовки виключає такі складні процеси як ідентифікація та фотометрування спектральних ліній та обробку фотоматеріалу.

Іншими перевагами ААСА є можливість автоматизувати процес аналізу на всіх етапах – від підготовки проби і до отримання результатів у цифровій формі в одиницях концентрації та незалежність атомної пари від температури, оскільки при ААСА вона містить не збуджені атоми.

Для визначення вмісту досліджуваних мінеральних елементів в кістковій тканині, фрагменти кістки висушували та знежирювали, після чого розтирали в агатовій ступці до гомогенного порошку. Порошок розділяли на окремі наважки по 50 мг., кожен з яких зважували до четвертого знаку після коми. З кожного зразка брали по дві наважки, які переносили у хімічний посуд і додавали 10 мл 33% азотної кислоти HNO_3 , Отриману суміш нагрівали до кипіння та кип'ятили на слабому вогні впродовж 10-15 хвилин до повного розчинення. Після повного охолодження отриманий розчин переносили у мірну колбу на 50 мл та доводили до мітки дистильованою водою. Для визначення похибки на реактиви використовували одночасно приготований нульовий розчин («холосту пробу»).

Одержану готову рідку пробу розпилювачем подавали в ємність для атомізації та переводили за допомогою полуменевого атомізатора в стан

атомної пари, яку просвічували світлом від джерела випромінювання, в тому числі і з резонансною довжиною хвилі досліджуваних елементів. Їх вільні атоми селективно поглинали резонансне випромінювання з характерною для кожного елемента довжиною хвилі, а монохроматор виділяв зі всього випромінювання лише промені з резонансною довжиною хвилі та подавав на фотоприймач. Одержаний електричний сигнал підсилювали та реєстрували.

Від сигналу, отриманого для кожного зразка, віднімали значення сигналу «холостої проби». Вимірювання сигналу здійснювали для стандартних розчинів з відомою концентрацією, яку знаходили для кожного елемента по градуйованому графіку, побудованому на координатах «А–С» в аналогічних умовах на стандартних розчинах. Правильність методу перевіряли способом добавок.

При визначенні кальцію та стронцію в досліджувані розчини додавали вивільнюючу добавку – сіль лантану $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, до кінцевої концентрації 1% розчину, для усунення побічного впливу фосфатів, оскільки вони утворюють з Ca та Sr важкодисоційовані сполуки, які послаблюють аналітичний сигнал.

2.2.6. Статистична обробка цифрових даних

Всі результати, отримані в дисертаційній роботі базувались на 5-15 паралельних визначеннях і були опрацьовані статистично.

Перед статистичною обробкою цифрових даних, для дослідження їх підпорядкування нормальному закону розподілу використовували аналіз гістограми розподілу, показники коефіцієнтів асиметрії та екстинкції та критерій Шапіро-Уїлка. Дані, які відповідали нормальному закону розподілу, подано у вигляді $M \pm SD$, де M – значення середнього, SD – стандартне відхилення. Оцінку достовірності різниці середніх вибірок з нормальним розподілом було проведено з використанням параметричних методів – двостороннього t-критерію, з непараметричних методів використовували U-критерій Уїлкоксона (Манна-Уїтні). Рівень достовірності було встановлено на рівні 95%. Різницю між групами вважали достовірною при $p < 0,05$. Всі

статистичні розрахунки, створення графіків і таблиць проведені з застосуванням програмного забезпечення RStudio v1.2.5042 [193-195] та електронних таблиць Excel з пакету MS Office 2010 з використанням ліцензійної програми STATISTICA (версія 6.1; серійний номер AGAR 909 E415822FA).

Розділ 3

ВПЛИВ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ ГІПОДИНАМІЇ НА ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТВАРИН ТА АМПЛІТУДУ РУХІВ У КУЛЬШОВОМУ СУГЛОБІ

3.1 Динаміка поведінкових показників та маси тіла експериментальних тварин упродовж різних термінів експерименту

Спостереження за тваринами, які перебували в стані вимушеної гіподинамії, спричиненої тривалою іммобілізацією крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок гіпсовою пов'язкою по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах засвідчило її вплив як на фізичний стан так і на поведінку експериментальних тварин (рис. 3.1).

Упродовж перших трьох тижнів експерименту тварини були малорухомими, але активно працювали передніми кінцівками. В поведінці спостерігали елементи агресії.

Результати зважування щурів наприкінці третього тижня експерименту засвідчили істотне зниження їх маси до $179,87 \pm 4,20$ г. проти $191,33 \pm 4,12$ г. у інтактних тварин, що увійшли до контрольної групи (рис. 3.2).

Упродовж двох наступних тижнів експерименту маса щурів експериментальної групи продовжувала знижуватись і становила відповідно $173,0 \pm 3,44$ г. та $164,67 \pm 4,12$ г. наприкінці четвертого та п'ятого тижнів.

Опустившись наприкінці п'ятого тижня експерименту до мінімального значення, до кінця шостого тижня показники маси експериментальних тварин зростали до $171,67 \pm 2,0$ г.

Одночасно у тварин, які 6 тижнів жили з іммобілізаційною пов'язкою спостерігали підвищення апетиту та зниження охайності.



Рисунок 3.1. Щур з накладеною іммобілізаційною гіпсовою пов'язкою по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах.

У тварин, яким після 4 тижнів іммобілізації знімали пов'язку упродовж наступних двох тижнів спостерігали істотне підвищення маси, показники якого перевищували норму і становили $197,07 \pm 5,01$ г.

Маса тварин, яким іммобілізаційну пов'язку знімали після 6 тижнів фіксації також зростала упродовж наступних двох тижнів і становила $180,13 \pm 3,42$ г., залишаючись при цьому істотно нижчою, ніж у тварин контрольної групи (рис. 3.2).

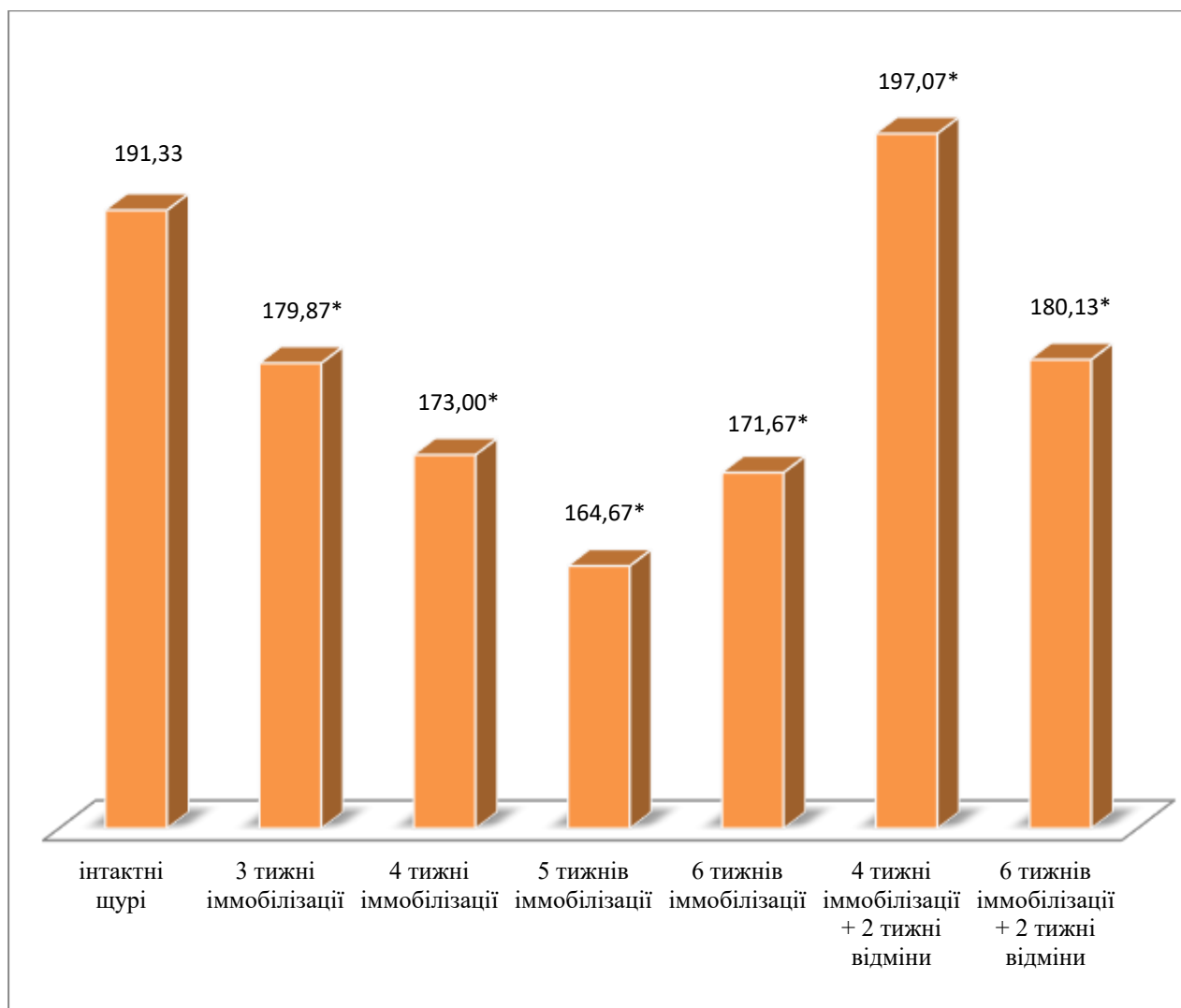


Рисунок 3.2. Динаміка маси щурів упродовж різних термінів вимушеної експериментальної гіподинамії та після її відміни (г.) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними щурами)

Отримані результати переконливо засвідчують негативний вплив експериментальної іммобілізаційної гіподинамії на поведінку та фізичний стан експериментальних тварин та дозволяють вважати критичними

періодами щодо поведінкових реакції перші три тижні експерименту (агресія) та шостий тиждень (підвищення апетиту, неохайність), а щодо фізичного стану – п'ятий тиждень (максимальне зниження маси).

3.2. Вплив експериментальної іммобілізаційної гіподинамії на амплітуду вимушених рухів у кульшовому суглобі експериментальних тварин.

Амплітуду пасивних рухів задньої кінцівки щура вимірювали у інтактних та експериментальних тварин при вихідному положенні кінцівки перпендикулярно до поздовжньої осі тіла.

Нейтральне положення задньої кінцівки дорівнювало 0° (рис. 3.3).



Рисунок 3.3. Нейтральне положення задньої кінцівки щура при вимірюванні амплітуди пасивних рухів

У інтактного щура амплітуда пасивних рухів (згинання і розгинання) задньої кінцівки становила по 90° в кожному випадку (рис. 3.4).

Після іммобілізації гіпсовою пов'язкою амплітуда рухів у кульшових суглобах експериментальних тварин у порівнянні з нормою була зміненою і її динаміка залежала від тривалості іммобілізації (рис. 3.5, 3.6).



Рисунок 3.4. Максимальне пасивне розгинання задньої кінцівки інтактного щура.

Результати гоніометричного дослідження засвідчили, що після 4-тижневої іммобілізації амплітуда згинальних рухів експериментальних

тварин знижувалась з обох сторін і становила $59,00^{\circ} \pm 6,49^{\circ}$ справа та $61,00^{\circ} \pm 5,28^{\circ}$ зліва (рис. 3.7).

Амплітуда розгинальних рухів була краще збереженою, її показники складали $86,00^{\circ} \pm 3,69^{\circ}$ справа та $82,00^{\circ} \pm 3,02^{\circ}$ зліва (рис. 3.8).



Рисунок 3.5. Вимірювання амплітуди пасивних рухів (згинання) у кульшовому суглобі експериментальних тварин після тривалої іммобілізації.

При цьому розгинання у повному об'ємі (90°) було збережене з обох сторін у двох тварин, а ще у чотирьох тварин тільки з правої сторони.

Після 6-тижневої іммобілізації гіпсовою пов'язкою амплітуда і згинальних, і розгинальних рухів задніх кінцівок експериментальних тварин була значно обмеженішою, ніж після 4-тижневої іммобілізації. У порівнянні з інтактними тваринами показник пасивного згинання знижувався більше, ніж удвічі і становив $39,00^{\circ} \pm 11,41^{\circ}$ справа та $44,50^{\circ} \pm 12,67^{\circ}$ зліва.

Зміна амплітуди показників розгинальних рухів була менш вираженою, ніж згинальних і справа середня величина кута розгинання становила $81,00^{\circ} \pm 7,11^{\circ}$, а зліва – $82,00^{\circ} \pm 5,64^{\circ}$.



Рисунок 3.6. Вимірювання амплітуди пасивних рухів (розгинання) у кульшовому суглобі експериментальних тварин після тривалої іммобілізації.

Повний об'єм розгинальних рухів був збережений з обох сторін у двох тварин, лише з правої сторони – у трьох та ще у двох тварин – лише зліва.

Через 2 тижні після зняття гіпсової пов'язки у тварин, які носили її упродовж 4 тижнів амплітуда всіх пасивних рухів істотно зростала і наближалась до норми.

При згинанні кінцівки справа досліджуваний показник становив $84,00^{\circ} \pm 4,04^{\circ}$, зліва – $87,50^{\circ} \pm 3,04^{\circ}$, при розгинанні кінцівки – $89,00^{\circ} \pm 2,26^{\circ}$ справа і $89,00^{\circ} \pm 2,26^{\circ}$ зліва.

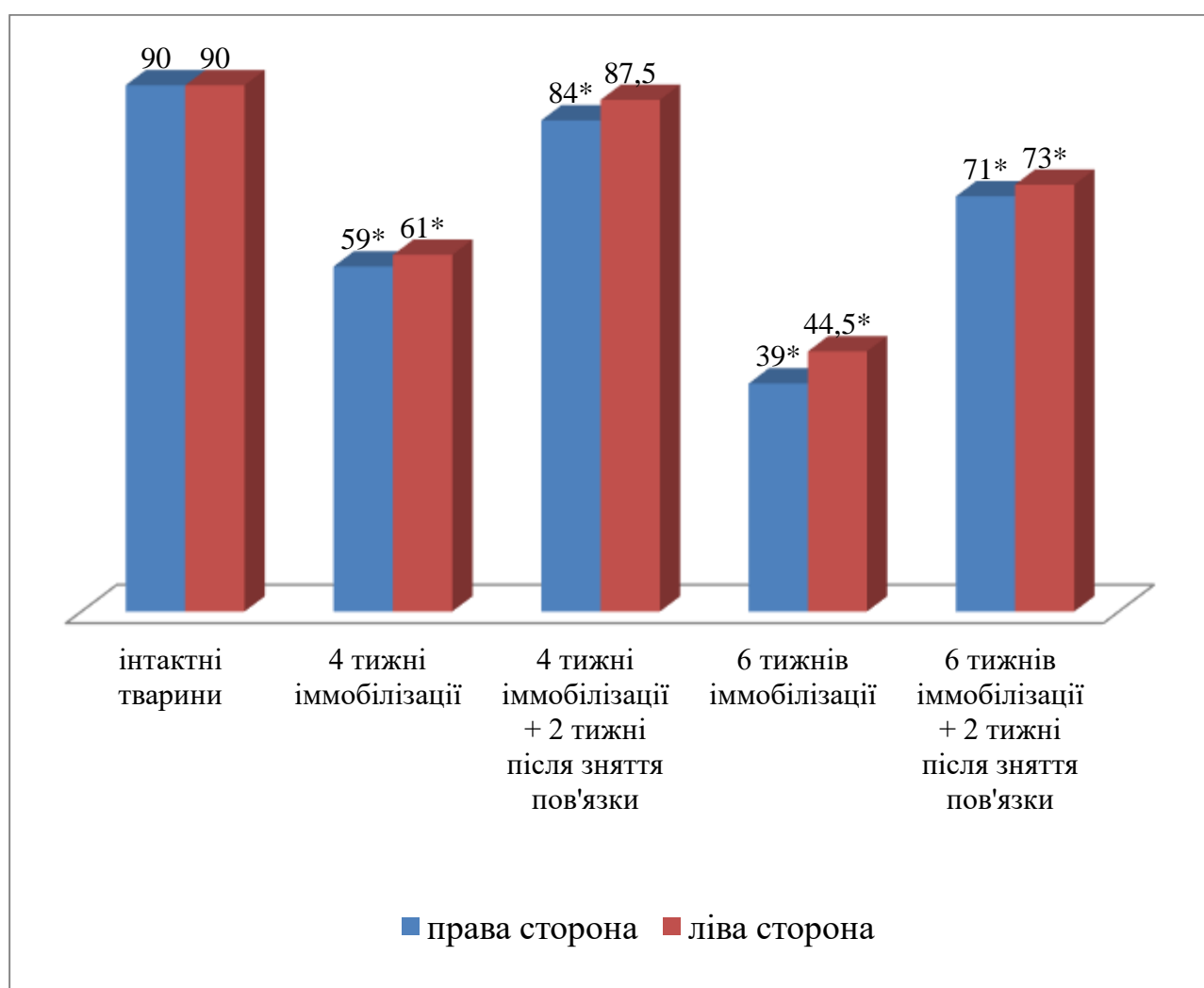


Рисунок 3.7. Порівняння показників амплітуди згинання задньої кінцівки щура в кульшовому суглобі після її іммобілізації різної тривалості та через 2 тижні після зняття пов'язки (°) (* $p < 0,05$ у порівнянні з нормою).

Відновлення амплітуди всіх досліджуваних рухів у повному об'ємі спостерігали у двох тварин даної групи. У дев'яти тварин повністю відновились амплітуда розгинальних рухів з обох сторін, у одного щура – тільки справа.

Відновлення амплітуди згинальних рухів у повному об'ємі з обох сторін спостерігали у двох тварин, ще у двох – лише справа та у п'яти – лише з лівої сторони.

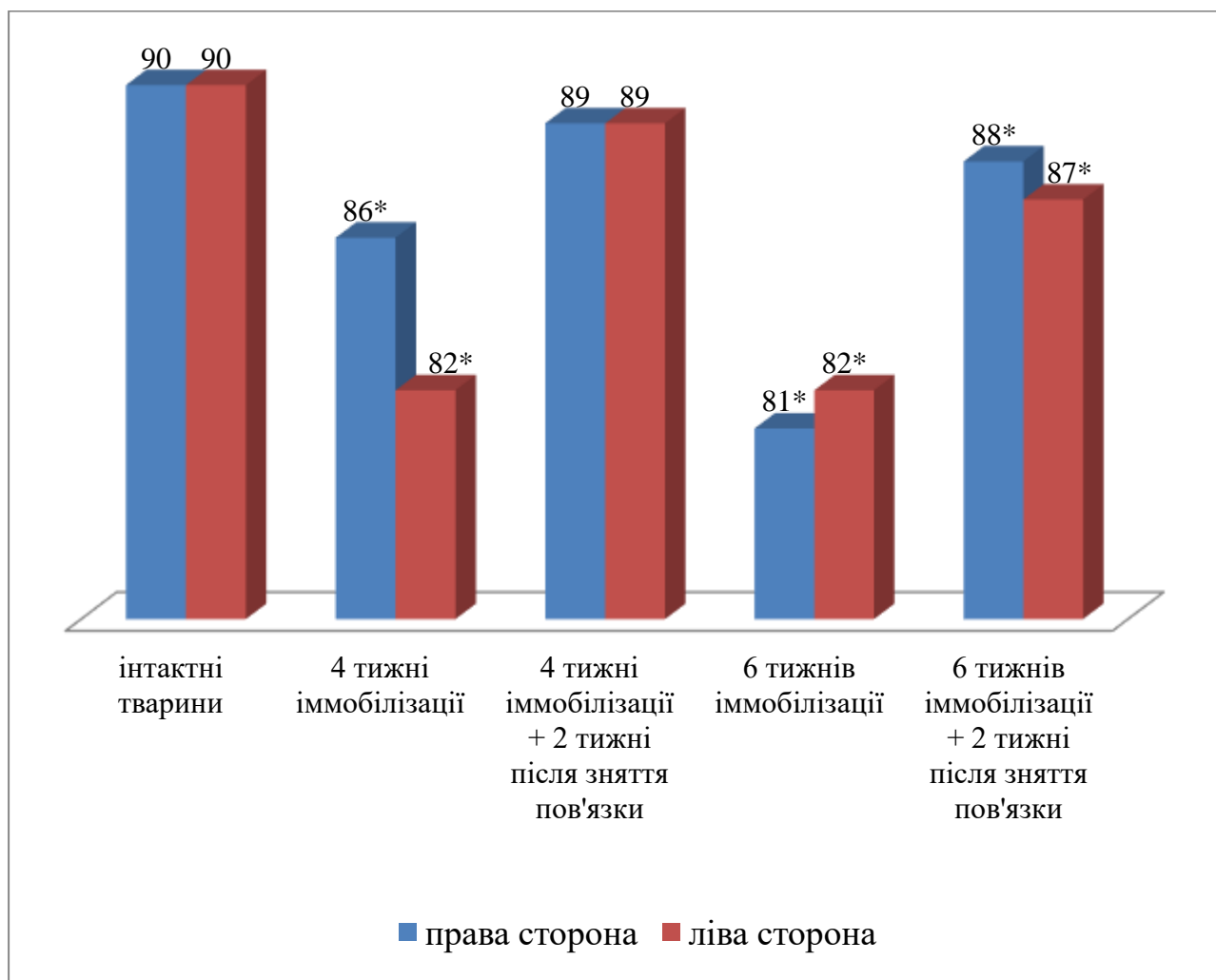


Рисунок 3.8. Порівняння показників амплітуди розгинання задньої кінцівки щура в кульшовому суглобі після її іммобілізації різної тривалості та через 2 тижні після зняття пов'язки (°) (* $p < 0,05$ у порівнянні з нормою).

У тварин, яким іммобілізували задні кінцівки на 6 тижнів, через 2 тижні після зняття пов'язки також спостерігали позитивну динаміку збільшення амплітуди пасивних рухів в кульшовому суглобі, проте виражену менше, ніж у тварин попередньої групи.

Через 2 тижні після зняття пов'язки у тварин з попередньою 6-тижневою іммобілізацією величина кута згинання у кульшовому суглобі справа становила $71,00^{\circ} \pm 8,56^{\circ}$, зліва – $73,00^{\circ} \pm 4,83^{\circ}$, величина кута розгинання – $88,00^{\circ} \pm 3,02^{\circ}$ і $87,00^{\circ} \pm 3,46^{\circ}$ з кожної сторони відповідно.

У шести тварин з даної групи розгинальні рухи відновились в повному об'ємі з обох сторін, ще у двох тварин – лише справа та у одного щура тільки з лівої сторони. Згинальні рухи в повному об'ємі відновились лише у однієї тварини справа.

Дані, отримані за результатами проведеного аналізу динаміки показників амплітуди пасивних рухів (згинання та розгинання) задньої кінцівки щура в кульшовому суглобі упродовж різних термінів експерименту засвідчили, що у тварин всіх досліджуваних груп кут згинання залишався вищим з лівої сторони.

Встановлено також, що величина кута розгинання в кожній експериментальній групі мала різну асиметрію: після 4 тижнів іммобілізації та через 2 тижні після 6-тижневої іммобілізації досліджуваний показник був більшим справа, після 6 тижнів іммобілізації – зліва, а через 2 тижні після 4-тижневої іммобілізації його значення з правої та лівої сторони не мали істотної різниці (рис. 3.7, 3.8).

Проведено порівняння амплітуди взаємно протилежних рухів у тварин контрольної та експериментальної груп (рис. 3.9, 3.10)

Результати проведеного порівняння показників амплітуди рухів взаємно протилежної направленості (згинання/розгинання) засвідчило, що при їх рівномірності у інтактних тварин, які увійшли до контрольної групи, у переважної більшості тварин експериментальної групи як з правої, так і з

лівої сторони величина кута розгинання зберігалась суттєво вищою, ніж величина кута згинання (рис. 3.9, 3.10).

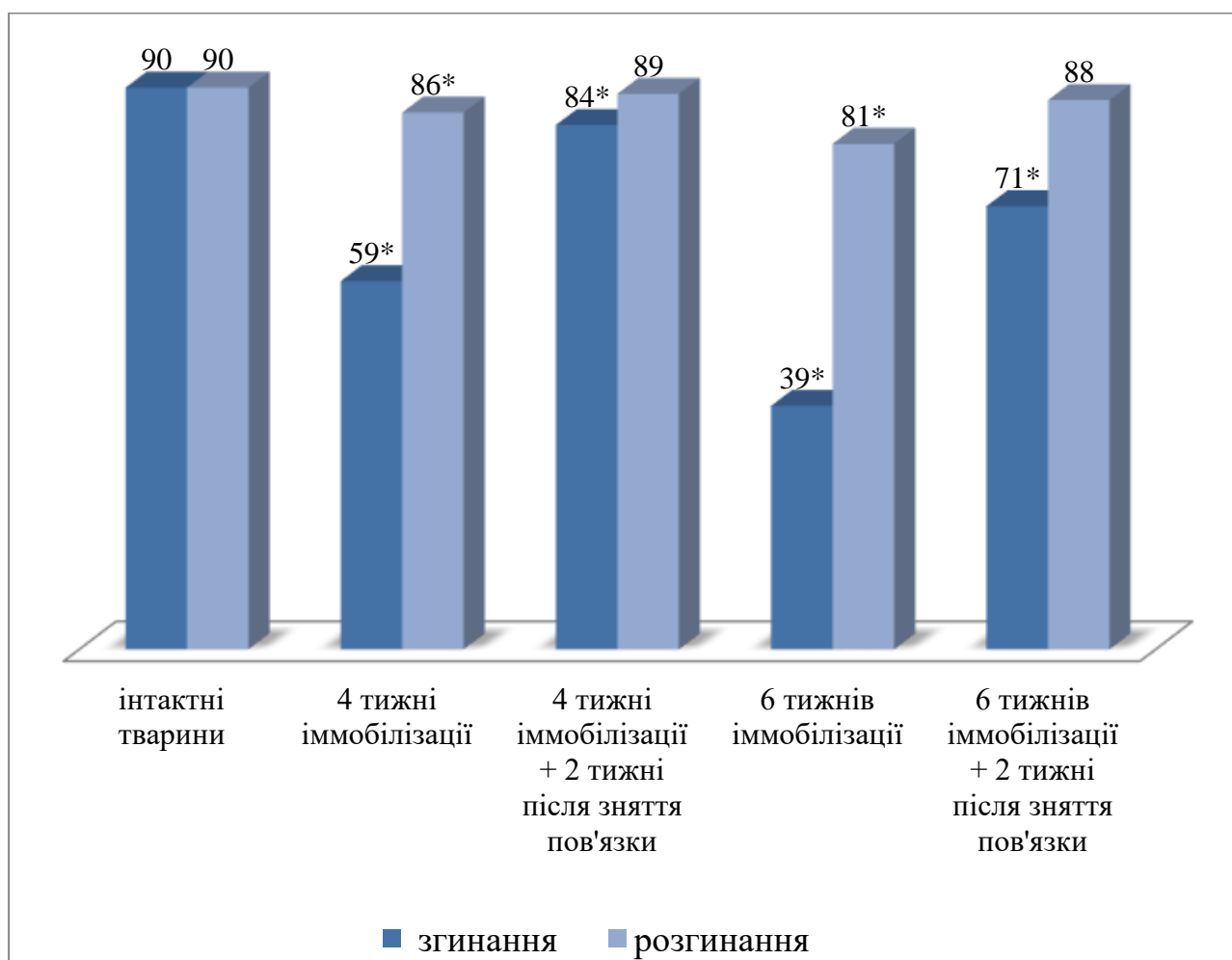


Рисунок 3.9. Порівняння показників амплітуди рухів правої задньої кінцівки щура в кульшовому суглобі після її іммобілізації різної тривалості та через 2 тижні після зняття пов'язки (°) (* $p < 0,05$ у порівнянні з нормою).

Виняток становили тварини, яким вимірювали амплітуду рухів через 2 тижні після завершення 4-тижневої іммобілізації – у них показники згинання і розгинання мали несуттєву різницю і максимально наближались до норми (рис. 3.7-3.10).

Результати проведеного дослідження засвідчили значно істотніше зниження показників кута згинання задньої кінцівки в кульшовому суглобі

після тривалої іммобілізації у порівнянні з нормою, ніж показників кута розгинання (рис. 3.11).

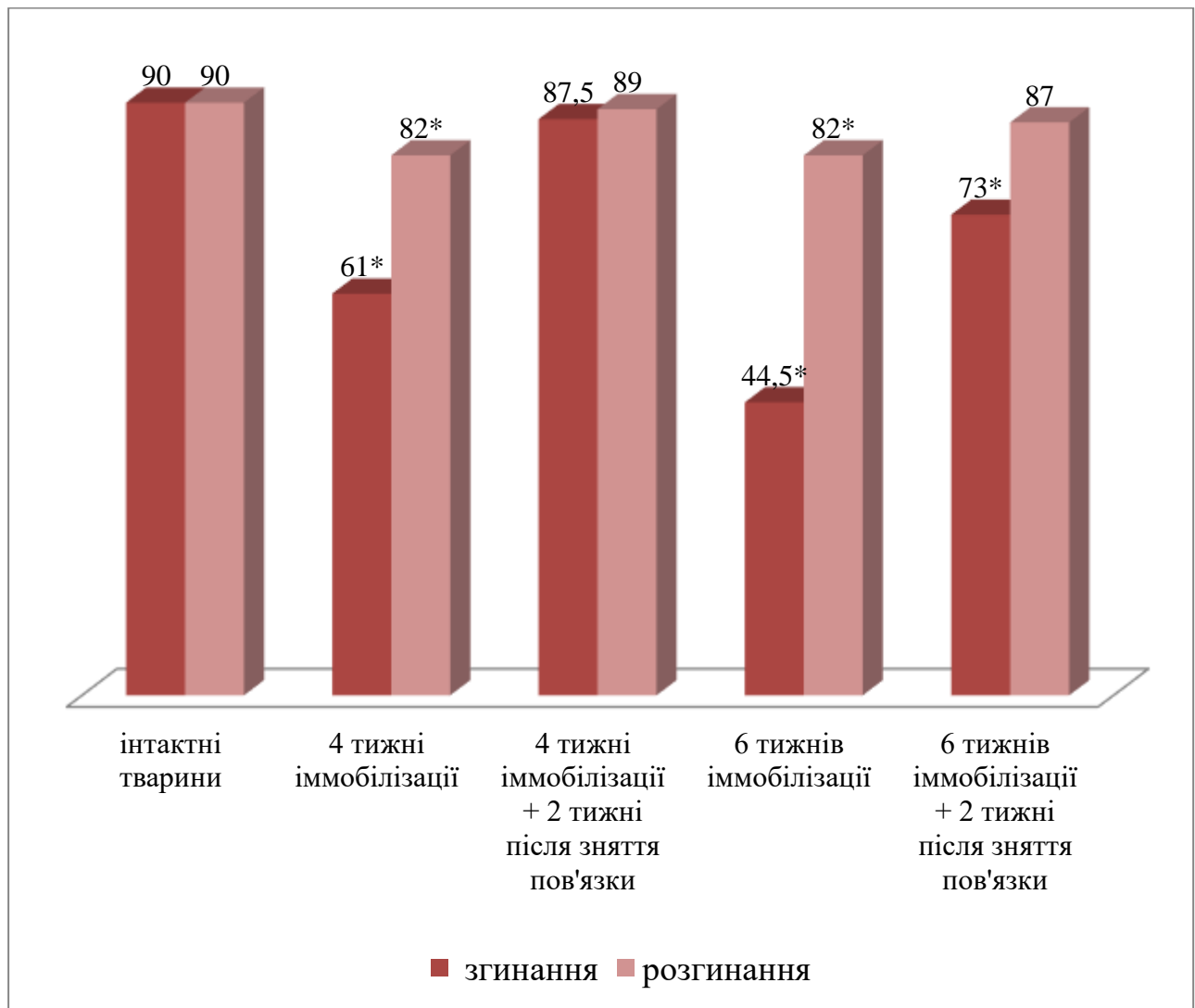


Рисунок 3.10. Порівняння показників амплітуди рухів лівої задньої кінцівки щура в кульшовому суглобі після її іммобілізації різної тривалості та через 2 тижні після зняття пов'язки (°) (* $p < 0,05$ у порівнянні з нормою).

Максимальне зниження показників амплітуди обох рухів зафіксоване через 6 тижнів вимушеної іммобілізації – на цьому терміні експерименту показник величини кута згинання задньої кінцівки в кульшовому суглобі зменшився у порівнянні з нормою більше, ніж удвічі (на 51-57%), а показник величини кута розгинання – лише на 9-10%.

Результати аналізу показників величини амплітуди рухів кульшового суглоба експериментальних тварин, отриманих через 2 тижні після зняття іммобілізаційної пов'язки засвідчили, що виявлені функціональні зміни, які розвиваються через 4 і 6 тижнів вимушеної іммобілізації, носять зворотний характер.

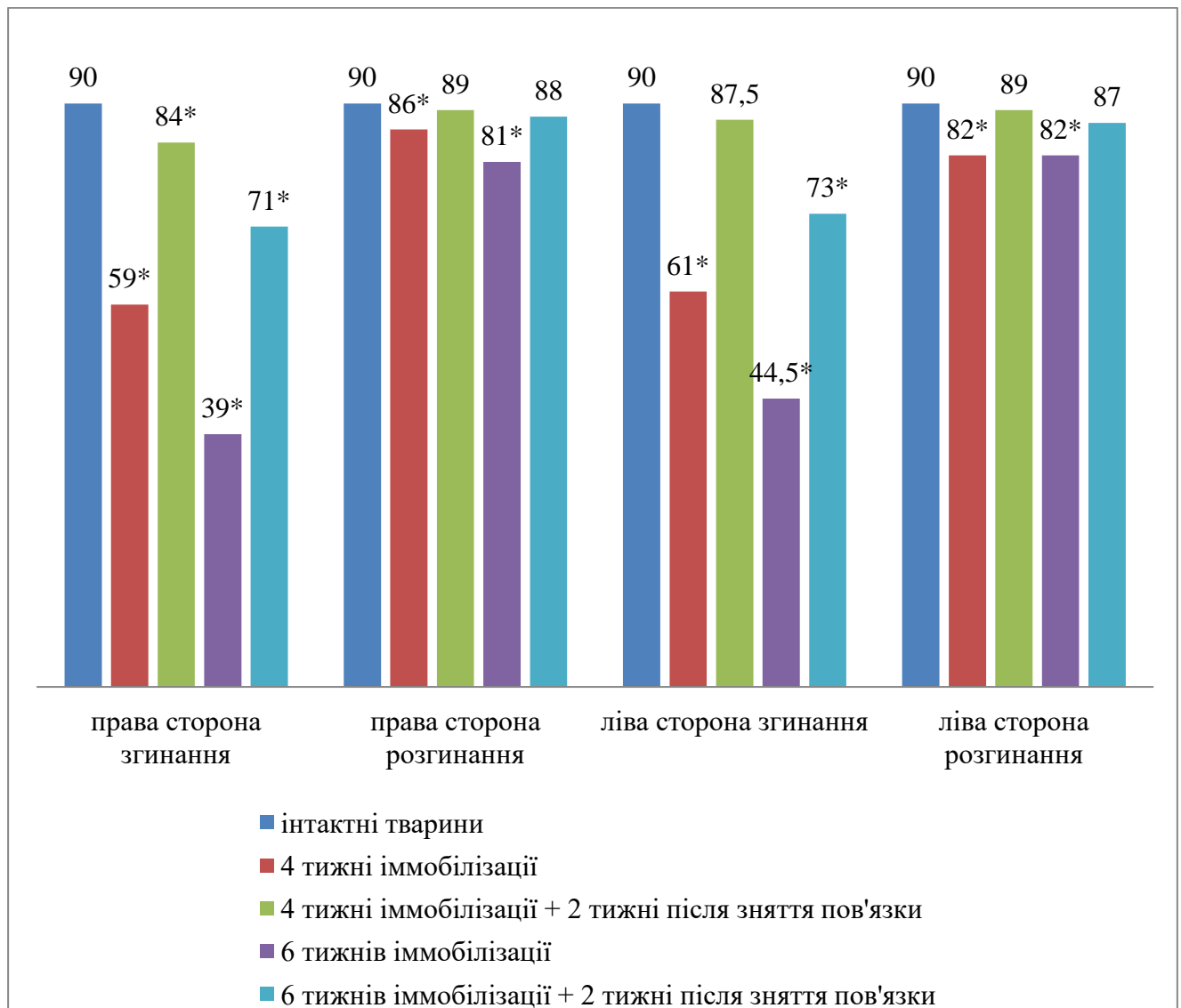


Рисунок 3.11. Порівняння показників амплітуди рухів задніх кінцівок щура в кульшових суглобах після їх іммобілізації різної тривалості та через 2 тижні після зняття пов'язки (°) (* $p < 0,05$ у порівнянні з нормою).

Підтвердженням зворотності виявлених змін є максимальне наближення до норми досліджуваних показників через 2 тижні після 4-тижневої іммобілізації та суттєве відновлення амплітуди рухів через 2 тижні після 6-тижневої іммобілізації крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок експериментальних тварин гіпсовою пов'язкою по типу кокситної, з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах (рис. 3.11).

Висновки:

1. Тривала іммобілізація крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок експериментальних тварин гіпсовою пов'язкою по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах веде до вимушеної гіподинамії та спричиняє фізичні зміни і поведінкові порушення у експериментальних тварин.

2. Упродовж перших трьох тижнів експерименту тварини були малорухомими, але активно працювали передніми кінцівками. В поведінці спостерігали елементи агресії. У тварин, які 6 тижнів жили з іммобілізаційною пов'язкою спостерігали підвищення апетиту та зниження охайності

3. Маса експериментальних тварин знижувалась до кінця 5-го тижня експерименту, сягаючи мінімального значення $164,67 \pm 4,12$ г при нормі $191,33 \pm 4,12$ г. у інтактних тварин. Наприкінці 6-го тижня експерименту маса експериментальних тварин зростала, але залишалась нижчою, ніж у тварин контрольної групи.

4. У тварин після 4-тижневої іммобілізації та через 2 тижні після її відміни маса різко зростала до $197,07 \pm 5,01$ г., перевищуючи норму, після 6-тижневої іммобілізації та через 2 тижні після її відміни сягала $180 \pm 3,42$, залишаючись дещо нижчою від норми.

5. Тривала іммобілізація вела до зменшення амплітуди пасивних рухів в кульшовому суглобі, при цьому зниження амплітуди згинальних рухів було більше вираженим, ніж розгинальних.

6. Зменшення амплітуди рухів було пропорційним тривалості іммобілізації. Максимальне зниження показників амплітуди обох рухів фіксували через 6 тижнів вимушеної іммобілізації, коли величина кута згинання задньої кінцівки в кульшовому суглобі зменшувалась у порівнянні з нормою на 51-57%, а величина кута розгинання – на 9-10%.

7. Після тривалої двосторонньої іммобілізації показники амплітуди рухів в кульшових суглобах були асиметричними.

8. Зниження амплітуди рухів, зумовлене тривалою іммобілізацією є зворотнім. Тривалість періоду відновлення є пропорційною тривалості іммобілізації.

Матеріали даного розділу висвітлені в наукових публікаціях автора:

1. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз впливу іммобілізаційної гіподинамії на амплітуду рухів у кульшовому суглобі. Morphologia [Інтернет].

2025;19(2):16-22. Доступно: <https://drive.google.com/file/d/1rhcyW4zbEXMrxTnSZUJoBLGIVT8-8411/view> DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.2.16-22>

2. Довган Р, Масна З. Динаміка зміни амплітуди рухів у кульшовому суглобі після іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості. В: Матеріали 9-го Міжнародного наукового Симпозіуму SMARTLION 2025 Медична освіта та наукові дослідження в Україні під час війни. Львів; 2025. с. 26-28.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ РІЗНИХ ДІЛЯНОК СТЕГНОВОЇ КІСТКИ ЩУРА В НОРМІ І ВИВЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЇХ ДИНАМІКИ, А ТАКОЖ ВІЗУАЛЬНИХ РЕНТГЕНОГРАФІЧНИХ ЗМІН СТРУКТУР КУЛЬШОВО-СТЕГНОВОЇ ДІЛЯНКИ НА ТЛІ ТРИВАЛОЇ ВИМУШЕНОЇ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ ГІПОДИНАМІЇ ТА ПІСЛЯ ЇЇ ВІДМІНИ

4.1 Динаміка щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої вимушеної іммобілізаційної гіподинамії.

Визначення щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки інтактного щура засвідчило, що найвищим досліджуваний показник є в ділянці великого вертлюга ($156,80 \pm 8,49$ УОС), дещо нижчим – в ділянці головки ($143,92 \pm 6,06$ УОС) та проксимальної ділянки діафіза ($136,32 \pm 7,53$ УОС), а найнижче значення має в ділянці шийки стегнової кістки ($131,28 \pm 6,25$ УОС) (рис. 4.1).

Результати визначення щільності кісткової тканини в досліджуваних ділянках упродовж шести тижнів вимушеної гіподинамії внаслідок іммобілізації крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок гіпсовою пов'язкою з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах, а також після її відміни засвідчили наявність динаміки даного показника, характерної для кожної ділянки.

Після трьох тижнів іммобілізації показники щільності кісткової тканини головки, шийки та великого вертлюга стегнової кістки знижувались до $141,65 \pm 5,42$ УОС, $130,31 \pm 3,70$ УОС та $153,05 \pm 6,03$ УОС відповідно, а показник щільності кісткової тканини проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки зростав до $139,98 \pm 7,97$ УОС. При цьому співвідношення

досліджуваних показників різних ділянок стегнової кістки зберігається таким же, як у інтактних тварин (рис.4. 2).

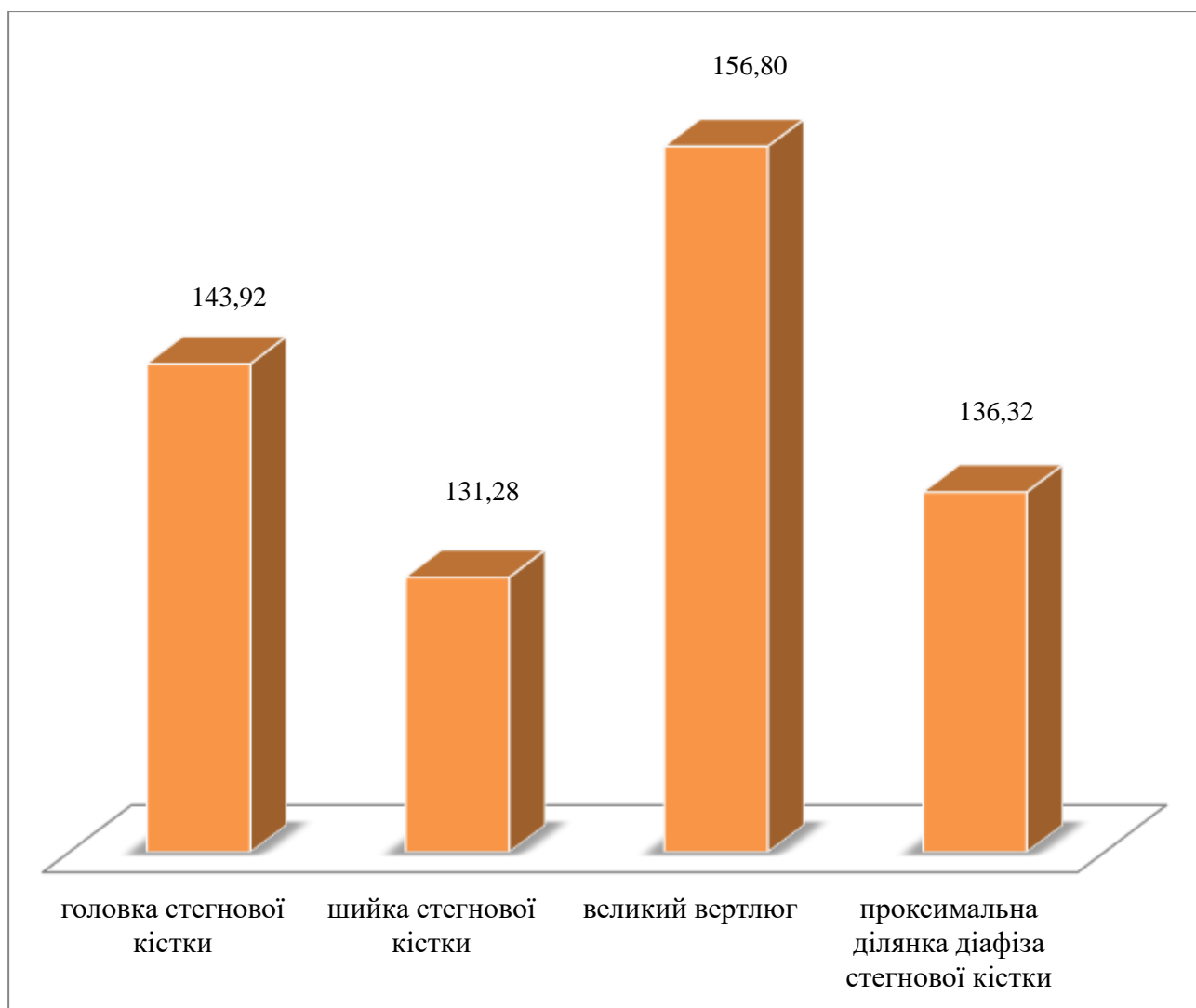


Рисунок 4.1. Порівняння щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки інтактного щура (УОС) ($p < 0,05$).

Наприкінці четвертого тижня експерименту показники щільності кісткової тканини головки стегнової кістки та великого вертлюга продовжують знижуватись і сягають $140,08 \pm 4,01$ УОС та $149,97 \pm 2,32$ УОС відповідно, а показники щільності кісткової тканини шийки та проксимального діафіза стегнової кістки зростають відповідно до $131,04 \pm 2,68$ УОС та $143,73 \pm 3,31$ УОС. При цьому співвідношення між досліджуваними показниками на цьому терміні експерименту є іншим, ніж у тварин

контрольної групи – щільність кісткової тканини проксимальної ділянки діафіза є вищою, ніж щільність кісткової тканини головки стегнової кістки (рис. 4.3).

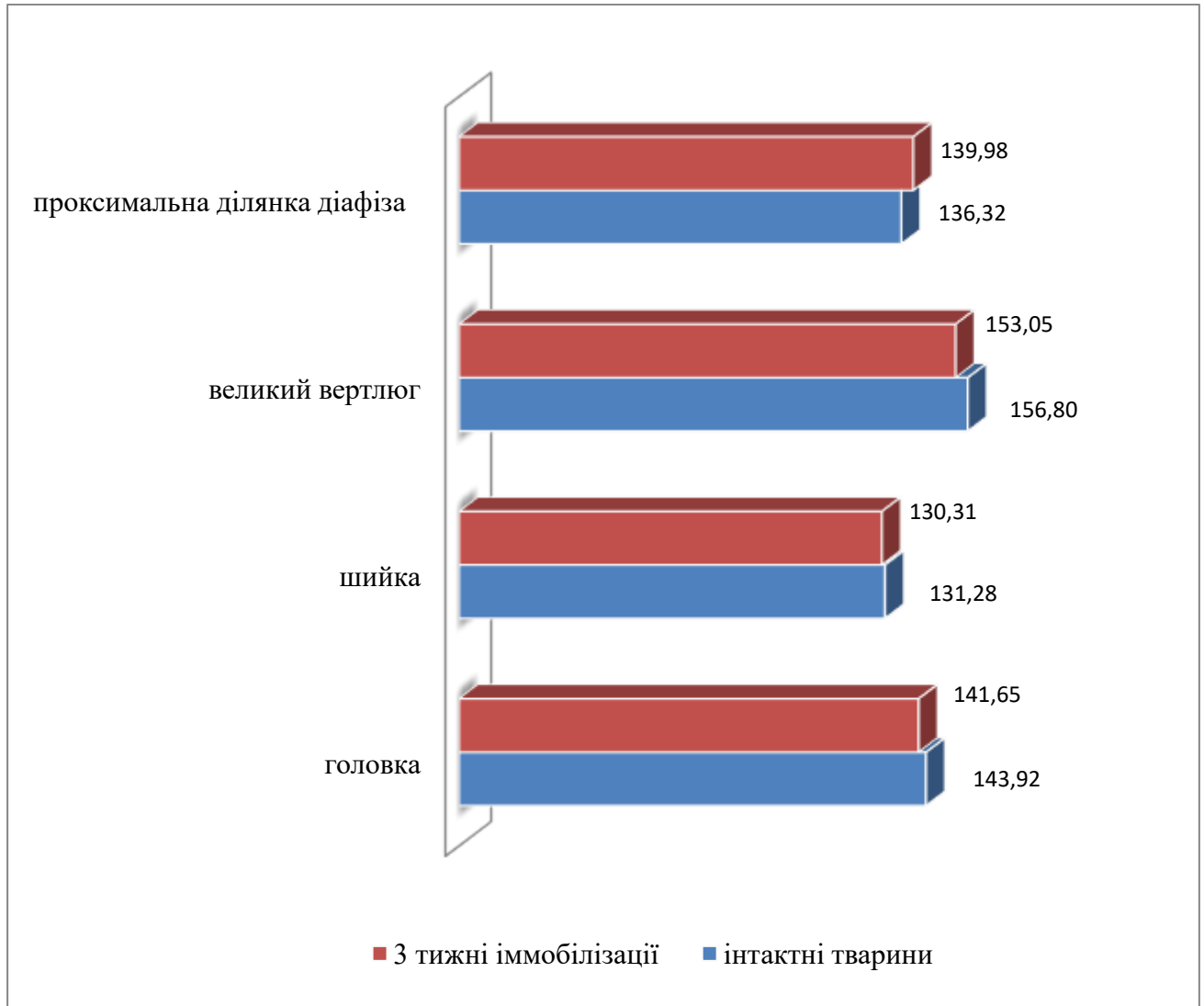


Рисунок 4.2. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура після 3 тижнів іммобілізації (УОС).

Через п'ять тижнів іммобілізації спостерігали зниження показників щільності кісткової тканини в усіх досліджуваних ділянках у порівнянні з показниками попереднього терміну. Щільність кісткової тканини головки стегнової кістки становила $136,23 \pm 3,48$ УОС, шийки – $129,18 \pm 2,51$ УОС,

великого вертлюга – $148,29 \pm 4,89$ УОС, а проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки – $137,32 \pm 2,01$ УОС.

У порівнянні з показниками аналогічних ділянок у інтактних тварин, показники щільності кісткової тканини на цьому терміні експерименту залишалися нижчими в ділянці головки, шийки та великого вертлюга, а в проксимальній ділянці діафіза стегнової кістки були вищими від норми.

Співвідношення між досліджуваними показниками упродовж п'ятого тижня експерименту залишалось таким же, як на попередньому терміні (рис. 4.4).

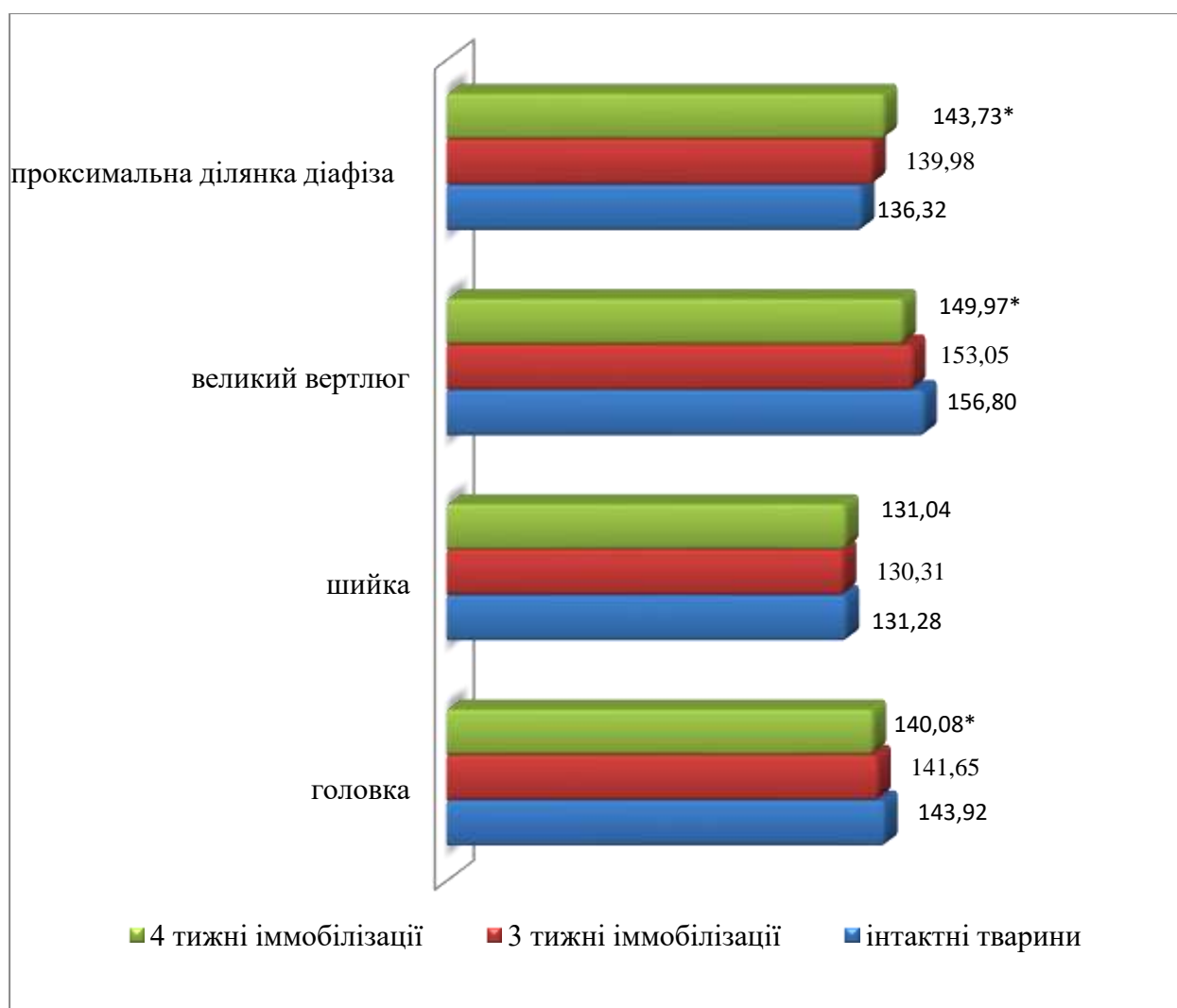


Рисунок 4.3. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура після 4 тижнів іммобілізації (УОС) ($*p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Упродовж шостого тижня експерименту показники щільності кісткової тканини усіх досліджуваних ділянок стегнової кістки знижувались і сягали мінімальних значень, нижчих, як від показників попереднього терміну, так і від показників інтактних тварин контрольної групи. Щільність кісткової тканини головки стегнової кістки через шість тижнів іммобілізації становила $132,08 \pm 4,73$ УОС, шийки – $125,33 \pm 2,73$ УОС, великого вертлюга – $146,26 \pm 3,50$ УОС, проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки – $133,54 \pm 2,22$ УОС.

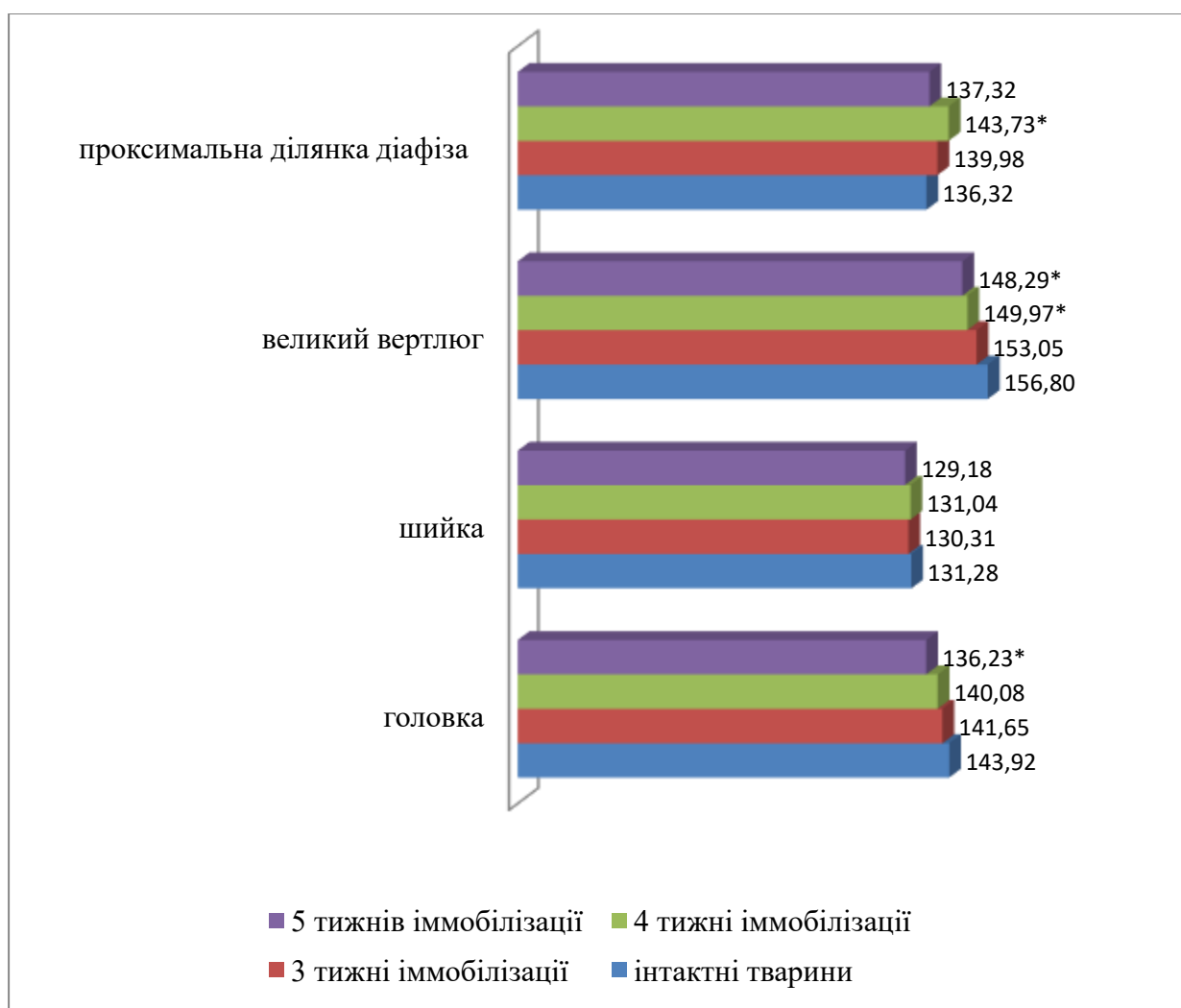


Рисунок 4.4. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура після 5 тижнів іммобілізації (УОС) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Співвідношення між досліджуваними показниками через шість тижнів іммобілізації залишалось таким же, як упродовж двох попередніх термінів (рис.4.5).

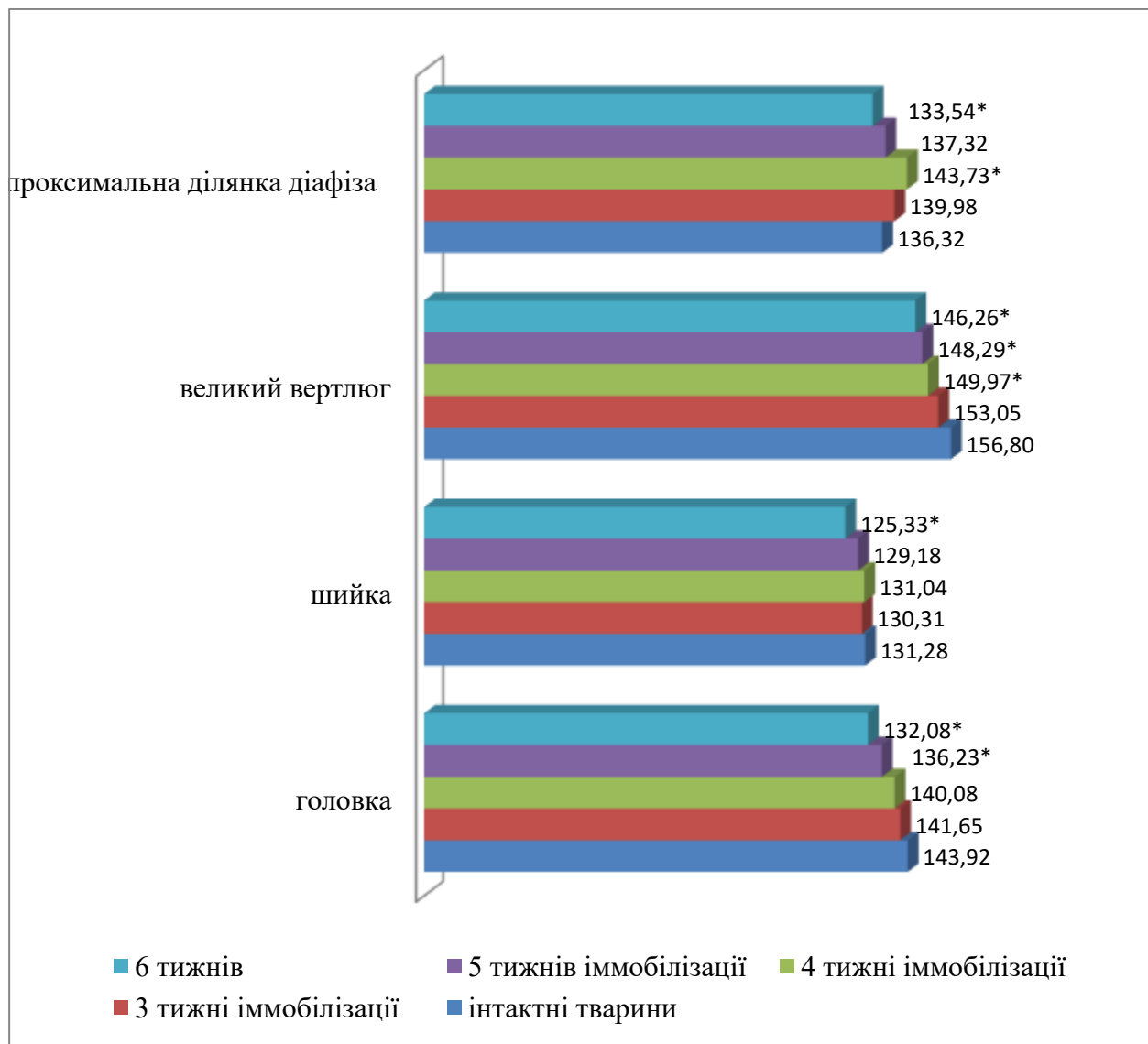


Рисунок 4.5. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура після 6 тижнів іммобілізації (УОС) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Для об'єктивізації встановлених особливостей динаміки показників щільності кісткової тканини кожної з досліджуваних ділянок, виявлені зміни було обчислено у відсотковому еквіваленті.

Встановлено, що щільність кісткової тканини головки стегнової кістки та великого вертлюга на тлі іммобілізації упродовж шести тижнів експерименту постійно знижувалась.

На кінець шостого тижня фіксації гіпсовою пов'язкою у порівнянні з показниками інтактних тварин досліджуваний показник у тварин експериментальної групи був нижчим на 8,3% в ділянці головки та на 6,8% в ділянці великого вертлюга (рис. 4.6).

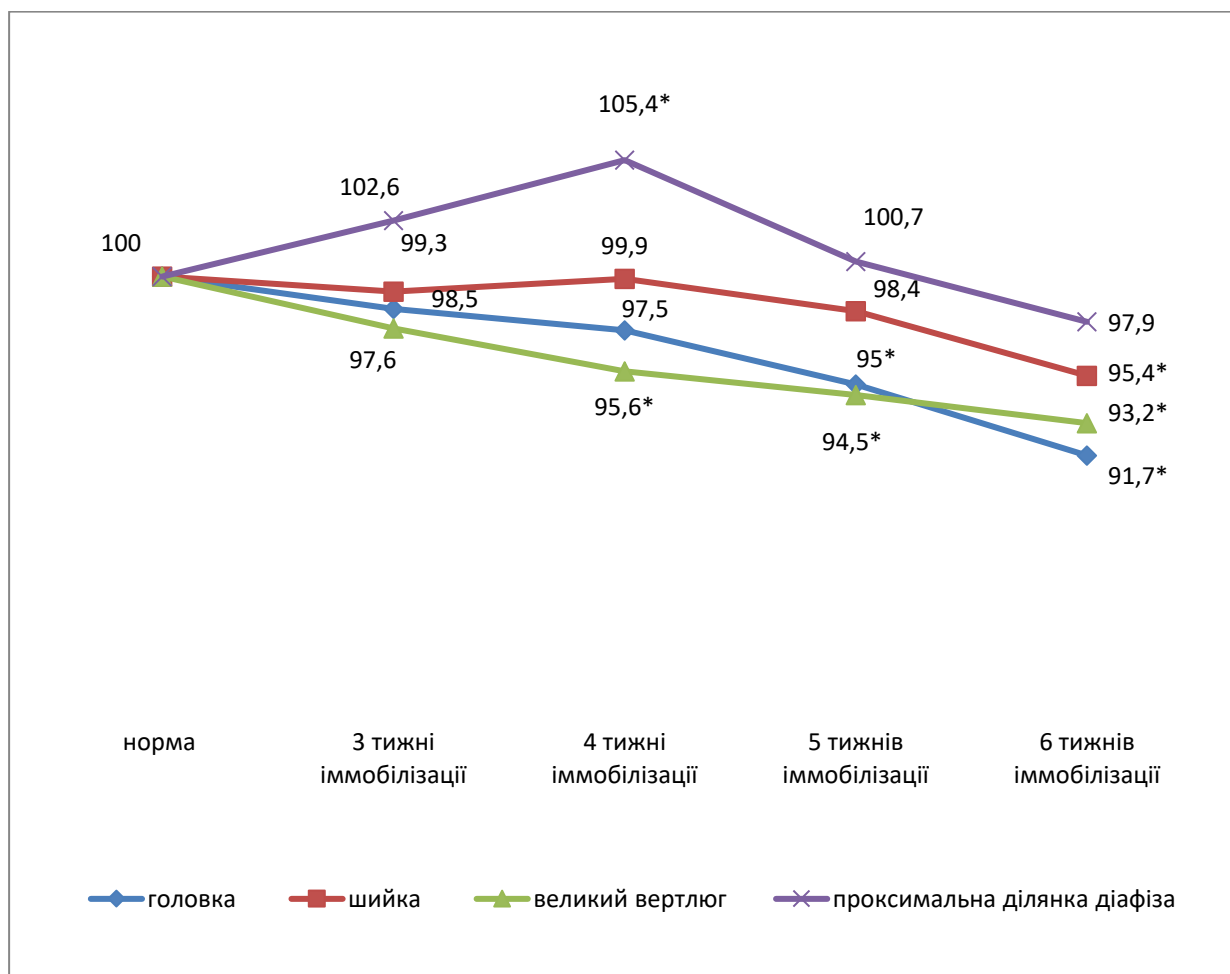


Рисунок 4.6. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки упродовж 6 тижнів іммобілізації (%) (* $p < 0,05$ у порівнянні з нормою).

Показники щільності кісткової тканин шийки стегнової кістки мали слабо виражену нестабільну динаміку – через 3 тижні експерименту

досліджуваний показник неістотно знижувався, до кінця четвертого тижня так само неістотно зростав, а упродовж наступних двох тижнів знову знижувався, досягаючи на завершення шостого тижня мінімального значення, на 4,6% нижчого від норми.

Так само нестабільною була динаміка щільності кісткової тканин проксимальної ділянки діяфіза стегнової кістки. Упродовж чотирьох тижнів іммобілізації досліджуваний показник збільшувався і на кінець четвертого тижня експерименту перевищував норму на 5,4%. Упродовж наступних двох тижнів щільність кісткової тканин досліджуваної ділянки знижувалась і на кінець шостого тижня була нижчою від норми на 2,1%.

4.2 Динаміка щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура після двох тижнів відміни вимушеної іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості.

Після 2-тижневої відміни фіксації у тварин, які носили іммобілізуючі пов'язку упродовж чотирьох тижнів, показник щільності кісткової тканини головки стегнової кістки збільшувався у порівнянні з попереднім терміном і становив $142,88 \pm 1,05$ УОС, максимально наближаючись до показника норми. Подібну динаміку досліджуваного показника спостерігали в ділянці великого вертлюга – щільність кісткової тканини тут становила $153,28 \pm 1,61$ УОС, також максимально наближаючись до норми (рис. 4.7).

Показники щільності кісткової тканини шийки та проксимальної ділянки діяфіза стегнової кістки через два тижні після 4-тижневої вимушеної іммобілізації знижувались і становили $130,99 \pm 1,37$ УОС і $142,74 \pm 1,42$ УОС відповідно. При цьому показник щільності кісткової тканини шийки стегнової кістки наближався до норми, а щільність кісткової тканини проксимальної ділянки діяфіза стегнової кістки істотно її перевищувала.

Результати аналізу співвідношення досліджуваного показника в різних ділянках стегнової кістки у тварин даної групи засвідчили, що найвищу щільність кісткової тканини через 2 тижні після відміни 4-тижневої вимушеної іммобілізації виявлено в ділянці великого вертлюга, найнижчу – в ділянці шийки стегнової кістки, а щільність кісткової тканини головки та проксимальної ділянки діяфіза стегнової кістки не мала істотної різниці.

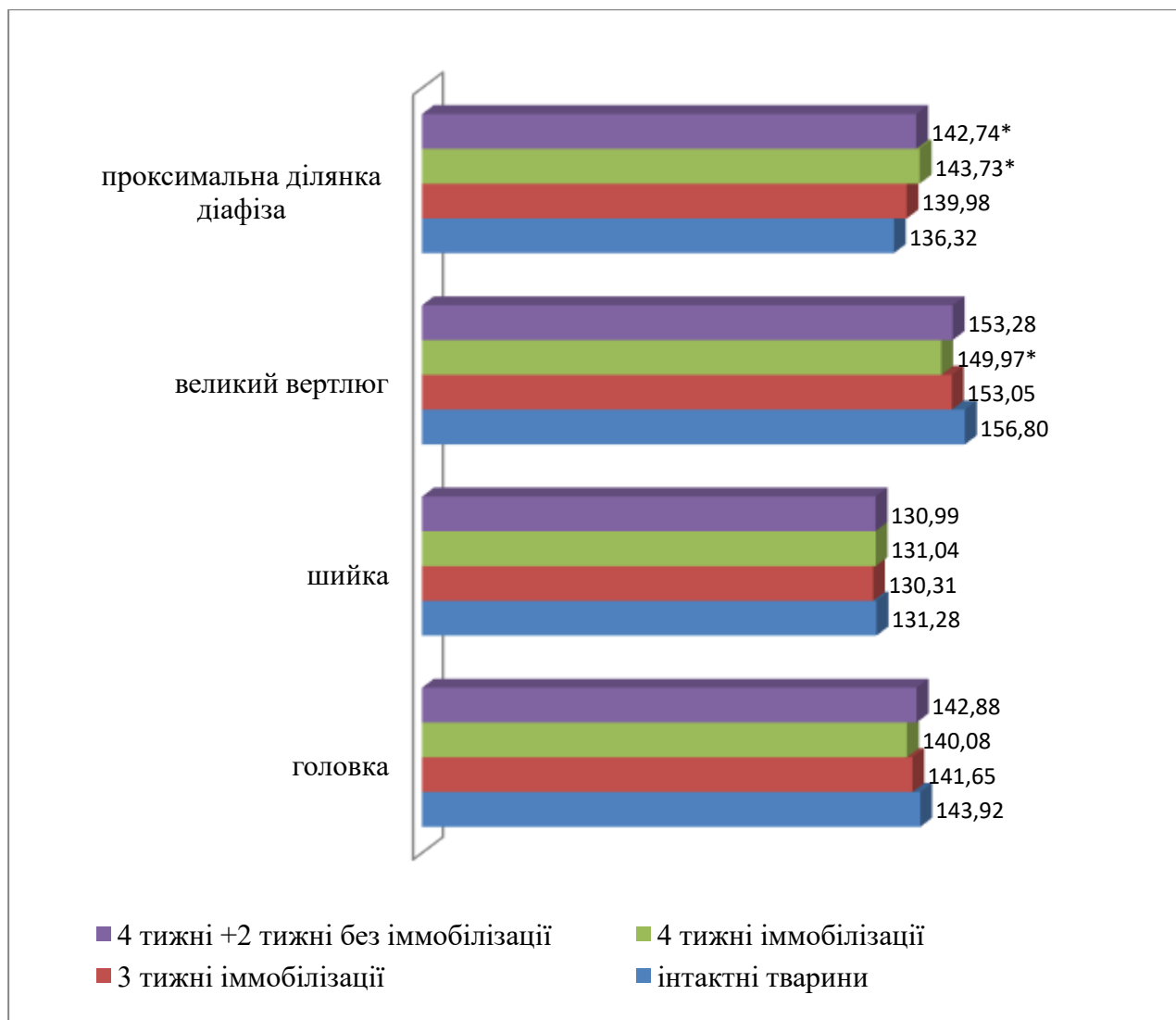


Рисунок 4.7. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура через 2 тижні після 4-тижневої іммобілізації (УОС) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Через 2 тижні після 6-тижневої іммобілізації показники щільності кісткової тканини в усіх досліджуваних ділянках зростали у порівнянні з показниками 6-го тижня експерименту і становили відповідно $135,1 \pm 3,76$ УОС в ділянці головки стегнової кістки, $127,13 \pm 2,17$ УОС – в ділянці шийки, $147,03 \pm 2,94$ УОС в ділянці великого вертлюга та $135,13 \pm 2,05$ УОС в проксимальній ділянці діяфіза стегнової кістки (рис. 4.8).

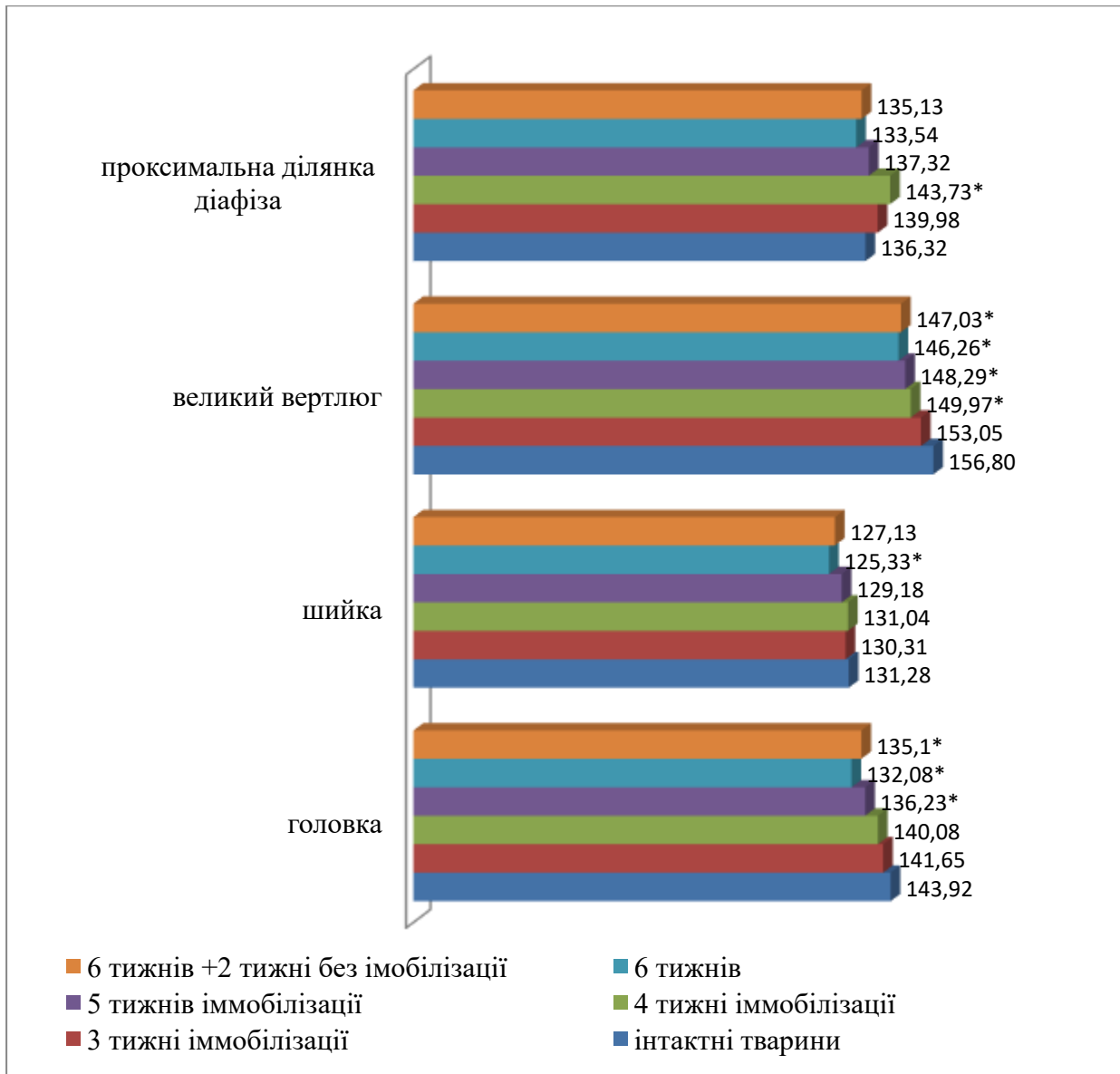


Рисунок 4.8. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура через 2 тижні після 6-тижневої іммобілізації (УОС) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

При цьому досліджуваний показник в ділянці діафіза стегнової кістки був максимально наближеним до норми, а в ділянках, головки, шийки та великого вертлюга залишався істотно нижчим, ніж у тварин контрольної групи.

Аналіз співвідношення показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки через 2 тижні після завершення 6-тижневої іммобілізації засвідчив, що найвищим досліджуваний показник був в ділянці великого вертлюга, найнижчим – в ділянці шийки.

Показники щільності кісткової тканин головки і проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки займали проміжне положення та не різнились між собою істотно (рис. 4.8).

Аналіз динаміки показників щільності кісткової тканини досліджуваних ділянок через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації засвідчив найбільшу різницю з показниками норми в проксимальній ділянці діафіза стегнової кістки (+ 4,7%), дещо меншу – в ділянці великого вертлюга (- 2,3%) і мінімальну в ділянках головки і шийки стегнової кістки (- 0,8% та - 0,2% відповідно) (рис. 4.9).

Через 2 тижні після 6-тижневої іммобілізації різниця показників щільності кісткової тканини в досліджуваних ділянках експериментальних тварин та тварин контрольної групи була іншою.

Найбільшу різницю величини досліджуваних показників у експериментальних та інтактних тварин спостерігали в ділянках великого вертлюга та головки стегнової кістки (- 6,3% та - 6,2% відповідно), дещо меншу – в ділянці шийки (- 3,2%) та найменшу – в проксимальній ділянці діафіза стегнової кістки (рис.4. 9).

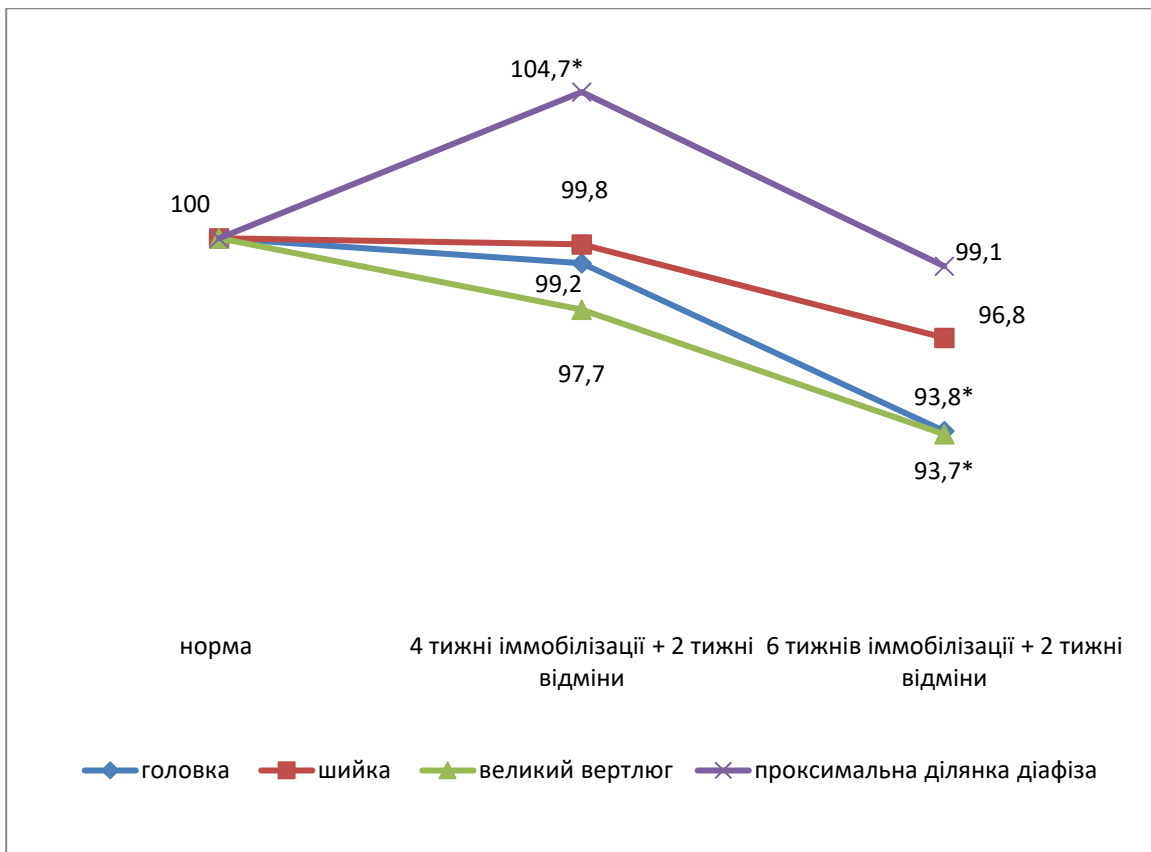


Рисунок 4.9. Динаміка показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура через 2 тижні після 4 тижневої іммобілізації та через 2 тижні після 6-тижневої іммобілізації (%) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

4.3 Візуальні рентгенологічні зміни структур кульшово-стегнової ділянки на тлі 6-тижневої вимушеної іммобілізаційної гіподинамії

Вивчення рентгенівських знімків тазово-стегнової ділянки інтактного щура, а також тварин, яким було накладено іммобілізаційну пов'язку терміном на 3, 4 та 5 тижнів засвідчили відсутність візуальних змін у будові кульшового суглоба та структурі стегнової кістки (рис 4.10).



Рисунок 4.10. Рентгенограма тазово-стегнової ділянки інтактного щура

Проте на рентгенограмах експериментальних тварин після 6 тижнів іммобілізації в ділянці кульшового суглоба спостерігали розростання кісткових остеофітів, а кісткова тканина проксимальної частини стегнової кістки мала візуальні ознаки остеопорозу та остеосклерозу (рис.4.11).

Виявлені зміни зберігались також на рентгенограмах тварин через два тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації.

У тварин інших груп жодних рентгенологічних змін у структурах кульшово-стегнової ділянки виявлено не було.



Рисунок 4.11 Рентгенограма скелетованих задніх кінцівок щура після 6-тижневої іммобілізації. Ознаки остеопорозу та остеосклерозу стегнової кістки, ознаки формування кісткових остеофітів кульшового та колінного суглобів

Висновки.

1. Щільність кісткової тканини є різною в різних ділянках стегнової кістки і становить в ділянці головки $143,92 \pm 6,06$ УОС, в ділянці шийки $131,28 \pm 6,25$ УОС, в ділянці великого вертлюга $156,80 \pm 8,49$ УОС та в проксимальній ділянці діафіза $136,32 \pm 7,53$ УОС.

2. Вимушена 6-тижнева іммобілізація веде до виражених змін показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура. Динаміка щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної вимушеної гіподинамії є різною в різних ділянках.

3. В ділянках головки, шийки та великого вертлюга упродовж 6

тижнів іммобілізації показники щільності кісткової тканини є нижчими від норми і сягають мінімального значення наприкінці 6-го тижня експерименту. Показник щільності кісткової тканини проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки упродовж 5-ти тижнів іммобілізації є вищим, ніж у тварин контрольної групи і тільки упродовж шостого тижня експерименту є нижчим від норми. Через 6 тижнів вимушеної іммобілізації показник щільності кісткової тканини головки стегнової кістки є на 8,3% нижчим від норми, шийки – на 4,6%, великого вертлюга – 6,8%, проксимальної ділянки діафіза – на 2,1%.

4. Через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації показники кісткової щільності зростають, залишаючись при цьому нижчими, ніж у інтактних тварин в ділянці великого вертлюга на 2,3%, та перевищуючи показники норми в проксимальній ділянці діафіза на 4,7%. Щільність кісткової тканини головки та шийки стегнової кістки є нижчою від норми на 0,8% та 0,2% відповідно..

5. Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації показники щільності кісткової тканини залишаються нижчими, ніж у тварин контрольної групи в ділянці головки на 6,2%, шийки – на 3,2%, великого вертлюга – на 6,3% та проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки на 0,9%.

6. Через 6 тижнів іммобілізації в ділянці кульшового суглоба спостерігали ознаки розростання кісткових остеофітів, а кісткова тканина проксимальної частини стегнової кістки мала ознаки остеопору та остеосклерозу. Виявлені зміни зберігались також на рентгенограмах тварин через два тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації. У тварин з коротшими термінами іммобілізації (3, 4 і 5 тижнів) жодних рентгенологічних змін у структурах кульшово-стегнової ділянки виявлено не було.

Матеріали даного розділу висвітлені в наукових публікаціях автора:

1. Довган РР, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44
2. Довган РР, Масна ЗЗ. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Morphologia [Інтернет]. 2025;19(3):65-72. Доступно: https://drive.google.com/file/d/14Ixn9hEaboR-A1YfPD5RuAB2W4d_VXNs/view. DOI: DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>
3. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії. Вісник проблем біології і медицини. 2025;(4):312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317
4. Довган РР, Пальтов ЄВ, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на кульшовий суглоб і стегнову кістку за даними рентгенографії в експерименті. In: Proceedings of XI international scientific and practical conference; 2022 May 11-13; Manchester. Manchester; 2022. p. 70-73.
5. Довган Р, Чалий І-В, Камінська М, Онутчак Т, Масна З. Аналіз динаміки змін мінеральної щільності кісткової тканини стегнової кістки щура при посиленні фізичних навантажень та гіподинамії. В: Збірник тез науково-практичної конференції з міжнародною участю Досягнення та перспективи лектино-морфології до 70-річного ювілею професора кафедри гістології, цитології та ембріології, Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Олександра Дмитровича Луцика; 2024 Трав 10; Львів. Львів; 2024. с. 47-48.
6. Dovgan R, Masna Z. Comparison of the dynamics of bone tissue quality and mineral composition of the femoral neck in rats during different periods of experimental hypokinesia. В: Матеріали Дев'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика

сучасної морфології; 2025 Лист 6-7; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2025. с. 75-76.

7. Адамович ОО, Довган РР, Согуйко РР, Рудницька ХІ, Орел МГ, Масна ЗЗ. Аналіз симетричності якості кісткової тканини різних ділянок скелета людини і експериментальних тварин. Вісник проблем біології і медицини. 2025; (4 дод):15-17. DOI 10.29254/2523-4110-2025-4-179/addition-15-17

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ СТЕГНОВОЇ КІСТКИ ЩУРА В НОРМІ ТА З'ЯСУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЙОГО ДИНАМІКИ НА ТЛІ ТРИВАЛОЇ ВИМУШЕНОЇ ІММОБІЛІЗАЦІЙНОЇ ГІПОДИНАМІЇ ТА ПІСЛЯ ЇЇ ВІДМІНИ

5.1 Динаміка показників вмісту мінеральних елементів кісткової тканин стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої вимушеної імобілізаційної гіподинамії.

Проведений аналіз мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура засвідчив наявність у її складі чотирьох досліджуваних макроелементів (кальцій (Ca), фосфор (P), магній (Mg), натрій (Na)) та двох мікроелементів (цинк (Zn), стронцій (Sr)) в кількостях, можливих для визначення. Середній показник вмісту кальцію в кістковій тканині стегнової кістки інтактного щура становив $12,41 \pm 0,21$ мг/г, фосфору $10,31 \pm 0,87$ мг/г, магнію $2,34 \pm 0,36$ мг/г, натрію $2,71 \pm 0,19$ мг/г, цинку $0,32 \pm 0,04$ мг/г, та стронцію $0,021 \pm 0,001$ мг/г.

Після накладання імобілізаційної пов'язки вивчали особливості динаміки визначених показників вмісту кожного з досліджуваних елементів в кістковій тканині стегнової кістки щура через 3, 4, 5 та 6 тижнів імобілізації, а також через 2 тижні після відміни 4-тижневої та 6-тижневої імобілізації та визначали терміни максимально виражених змін у мінеральному складі кістки, які розвиваються на тлі тривалої експериментальної гіподинамії (рис. 5.1-5.6).

Аналіз динаміки показників вмісту кальцію в кістковій тканині стегнової кістки щура упродовж шести тижнів імобілізації дав змогу встановити, що через три тижні після початку експерименту досліджуваний показник

знижувався до $11,32 \pm 0,42$ мг/г, до кінця четвертого тижня повертався майже до норми, а упродовж наступних двох тижнів різко зростає, підіймаючись до $25,26 \pm 1,64$ мг/г та $32,36 \pm 1,82$ мг/г на кінець п'ятого і шостого тижнів відповідно (рис. 5.1).

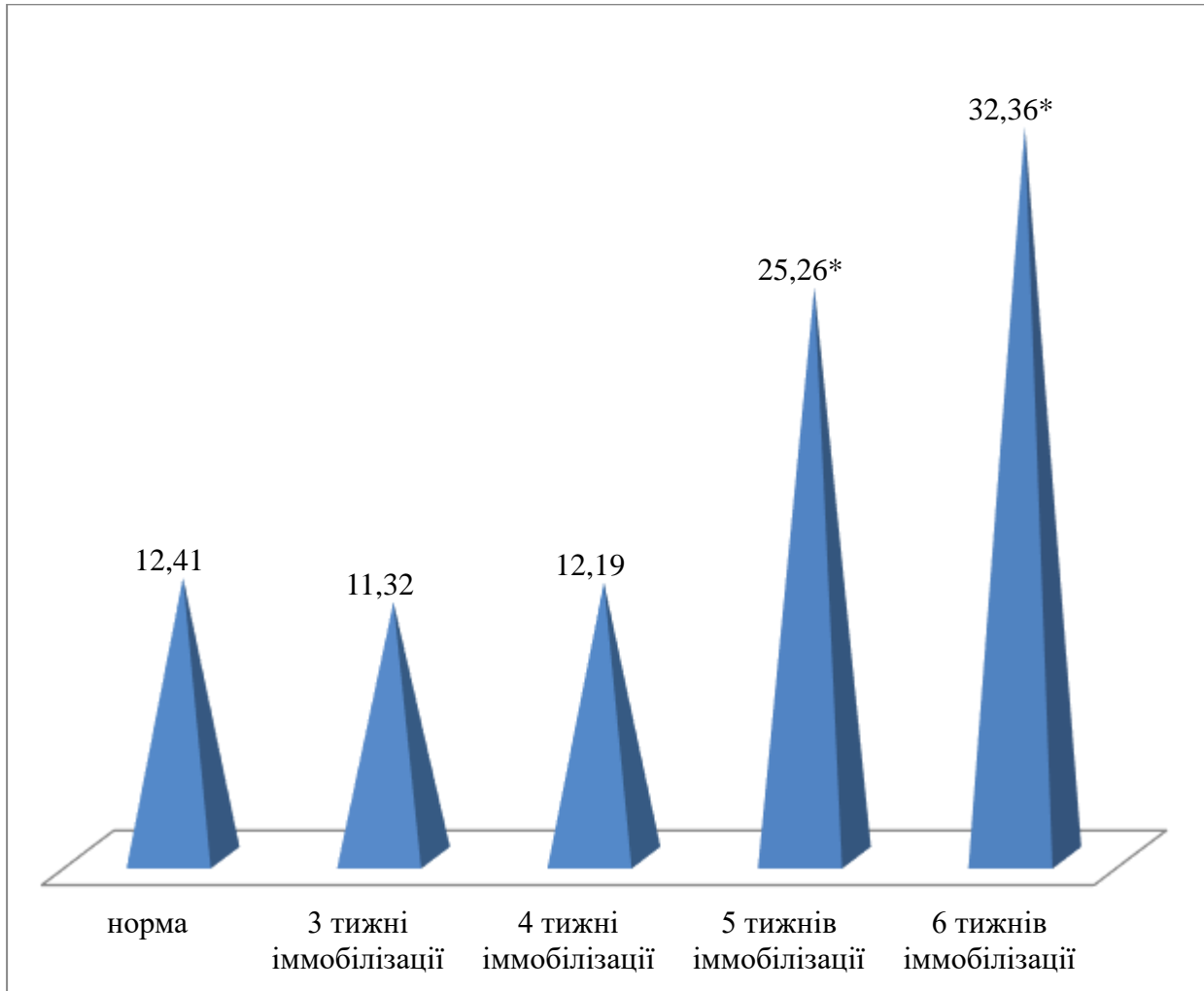


Рисунок 5.1. Динаміка вмісту кальцію в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Мінімальними показники вмісту кальцію в кістковій тканині були наприкінці третього тижня експерименту, коли різниця з показниками норми становила $-8,8\%$, максимальними – наприкінці шостого тижня іммобілізації з різницею в $+161\%$ з показниками інтактних щурів.

Показники вмісту фосфору в кістковій тканині стегнової кістки щура мали стійку тенденцію до зниження упродовж п'яти тижнів експерименту, становили $9,81 \pm 0,38$ мг/г наприкінці третього тижня, $9,13 \pm 0,67$ мг/г до кінця четвертого тижня та сягали мінімального значення $8,95 \pm 0,48$ мг/г на кінець п'ятого тижня, з різницею -13% з показниками норми (рис. 5.2).

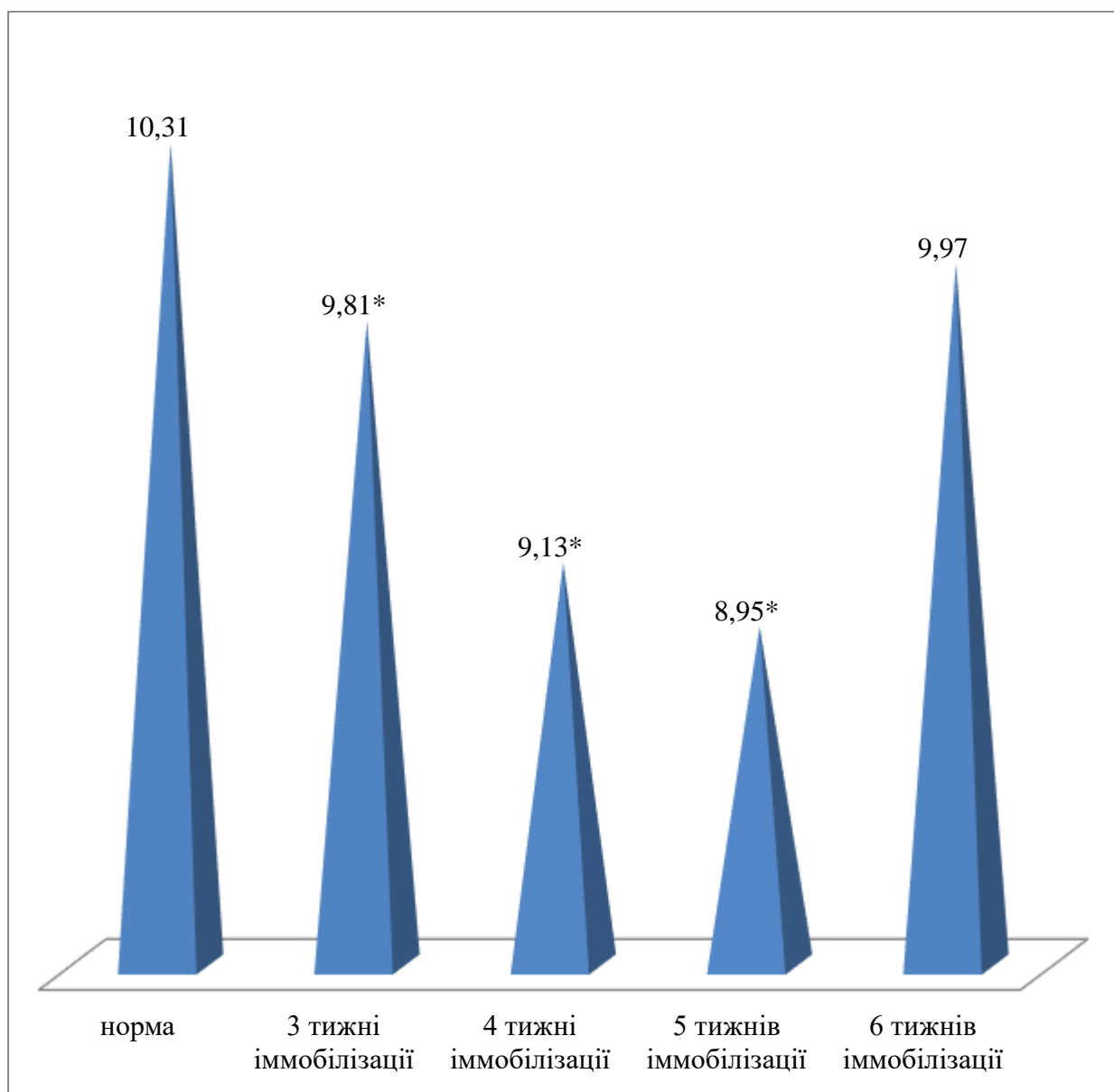


Рисунок 5.2. Динаміка вмісту фосфору в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

До кінця шостого тижня після накладання іммобілізаційної пов'язки показник вмісту фосфору в кістковій тканині стегнової кістки істотно підвищувався і становив $9,97 \pm 0,45$ мг/г, залишаючись лише на 3% нижчим від норми.

Результати аналізу динаміки вмісту магнію в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі шеститижневої іммобілізації засвідчили, що упродовж всіх термінів експерименту досліджуваний показник був нижчим від норми.

Через три тижні іммобілізації вміст магнію в кістковій тканині знижувався у порівнянні з показниками інтактних тварин та становив $2,10 \pm 0,22$ мг/г. (рис. 5.3).

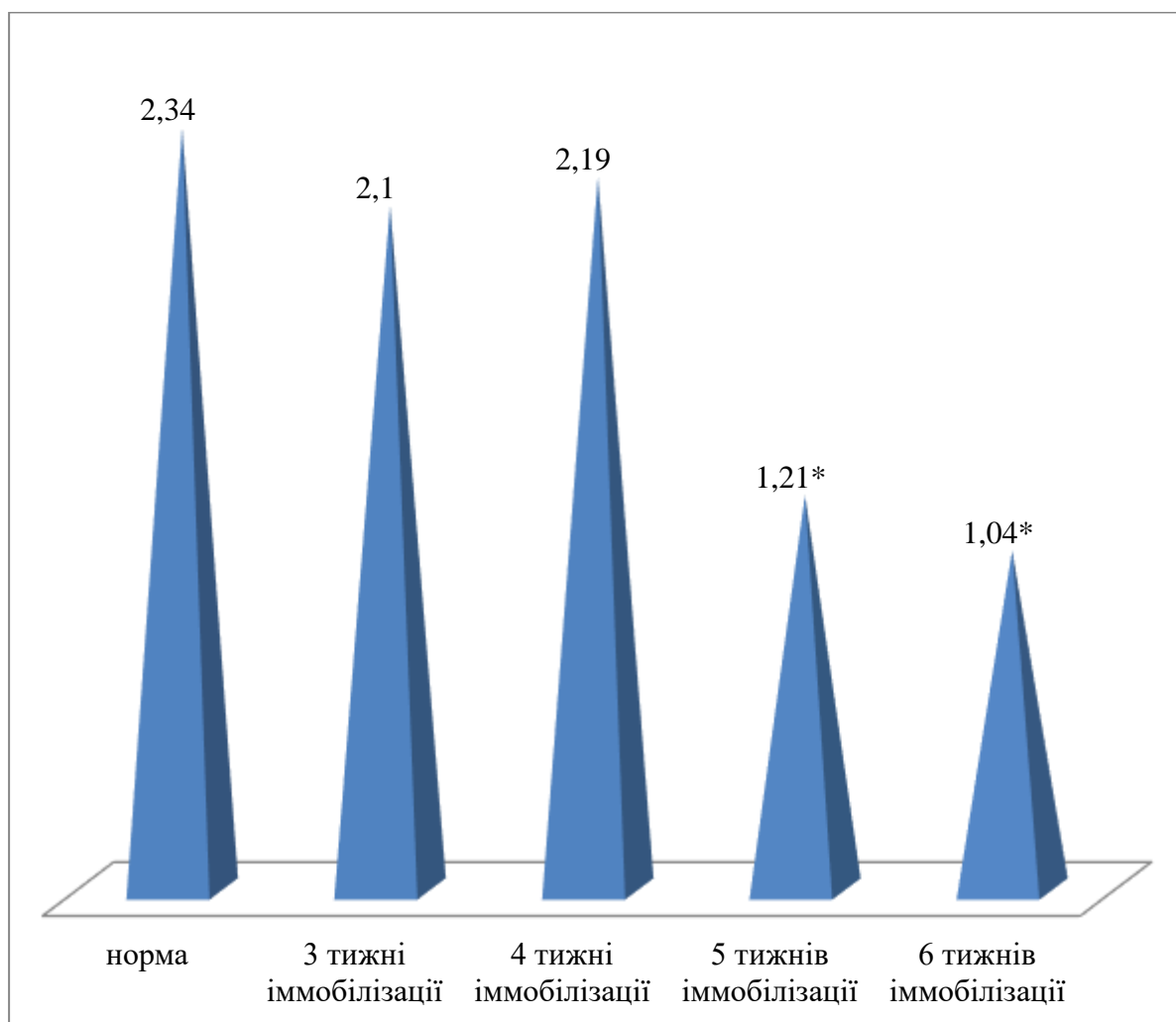


Рисунок 5.3. Динаміка вмісту магнію в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

На кінець четвертого тижня досліджуваний показник зростав до $2,19 \pm 0,33$ мг/г, максимально наближаючись до норми.

Упродовж двох наступних тижнів експерименту вміст магнію в кістковій тканині істотно знижувався і становив $1,21 \pm 0,09$ мг/г до кінця п'ятого тижня і $1,04 \pm 0,15$ мг/г наприкінці шостого тижня вимушеної іммобілізації, що становило -56% різниці з відповідним показником у інтактних тварин (рис. 5.3).

Показники вмісту натрію в кістковій тканині стегнової кістки щура упродовж шести тижнів іммобілізації були вищими, ніж у інтактних тварин (рис. 5.4).

Наприкінці третього тижня експерименту вміст натрію в кістковій тканині тварин експериментальної групи становив $2,83 \pm 0,20$ мг/г, упродовж четвертого тижня підіймався до $2,98 \pm 0,21$ мг/г, а до кінця п'ятого тижня зростав до $4,18 \pm 0,34$ мг/г, сягаючи максимального значення та перевищуючи норму на 54% (рис. 5.4).

До кінця шостого тижня вимушеної іммобілізації показник вмісту натрію в кістковій тканині стегнової кістки експериментальних тварин знижувався до $3,95 \pm 0,14$ мг/г, залишаючись, при цьому, на 46% вищим, ніж у інтактних щурів контрольної групи (рис. 5.4).

Проведений аналіз динаміки вмісту цинку в кістковій тканині тварин експериментальної групи засвідчив, що після трьох тижнів іммобілізації досліджуваний показник сягав мінімального значення $0,28 \pm 0,02$ мг/г, з різницею в -13% у порівнянні з нормою (рис. 5.5).

Через чотири тижні вимушеної іммобілізації вміст цинку в кістковій тканині зростав до $0,33 \pm 0,01$ мг/г, неістотно перевищуючи норму, до кінця п'ятого тижня експерименту становив $0,31 \pm 0,02$ мг/г, а на кінець шостого тижня досягав максимального значення $0,42 \pm 0,01$ мг/г з різницею в +31% у порівнянні з показниками інтактних тварин контрольної групи (рис. 5.5).

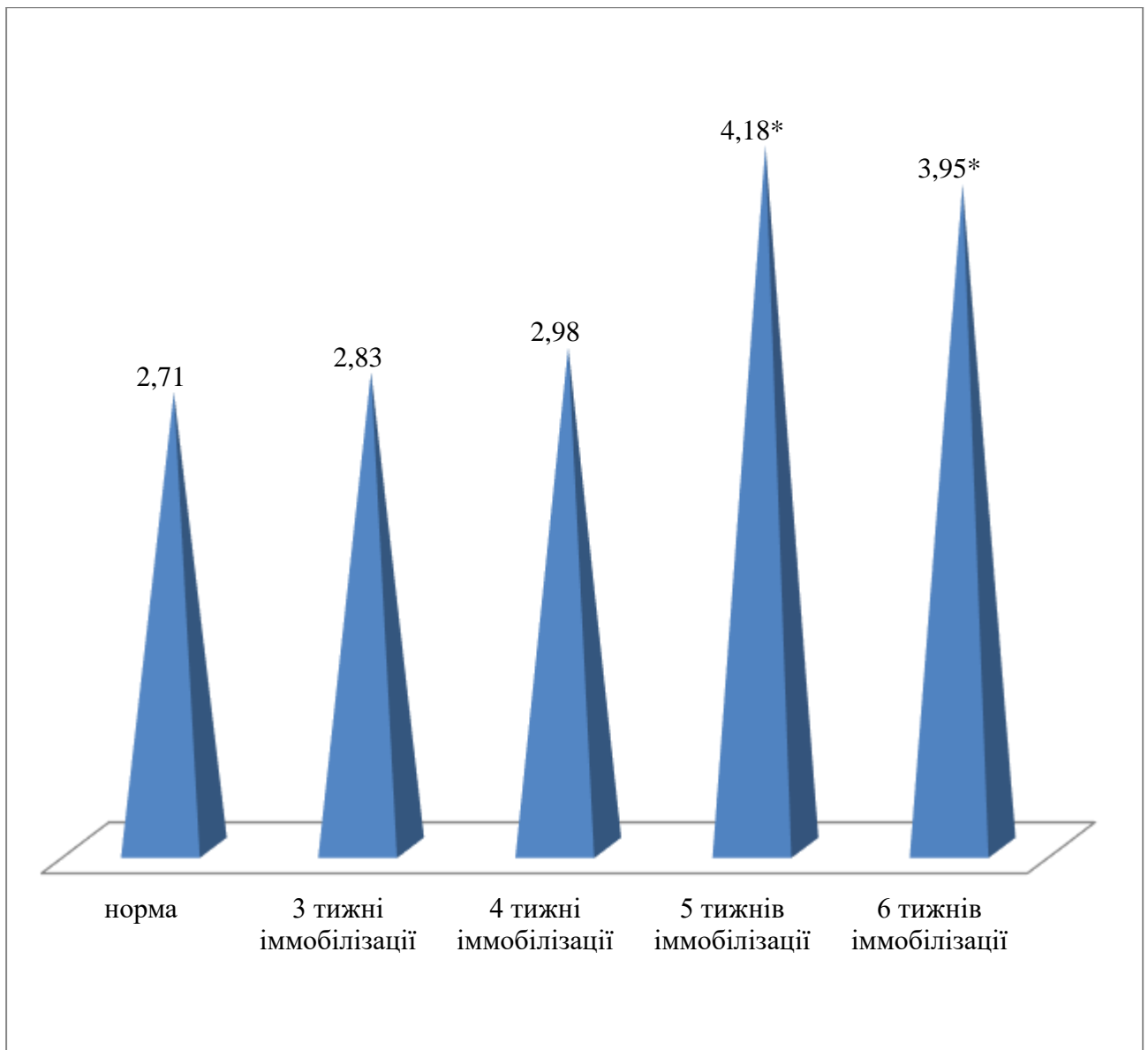


Рисунок 5.4. Динаміка вмісту натрію в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Вміст стронцію в кістковій тканині стегнової кістки експериментальних тварин упродовж шести тижнів вимушеної іммобілізації був вищим, ніж у інтактних тварин (рис. 5.6).

До кінця третього тижня експерименту досліджуваний показник зростав до $0,025 \pm 0,001$ мг/г, упродовж наступного тижня знижувався до

0,022±0,001 мг/г, максимально наближаючись до норми з різницею лише в +5% (рис. 5.6).

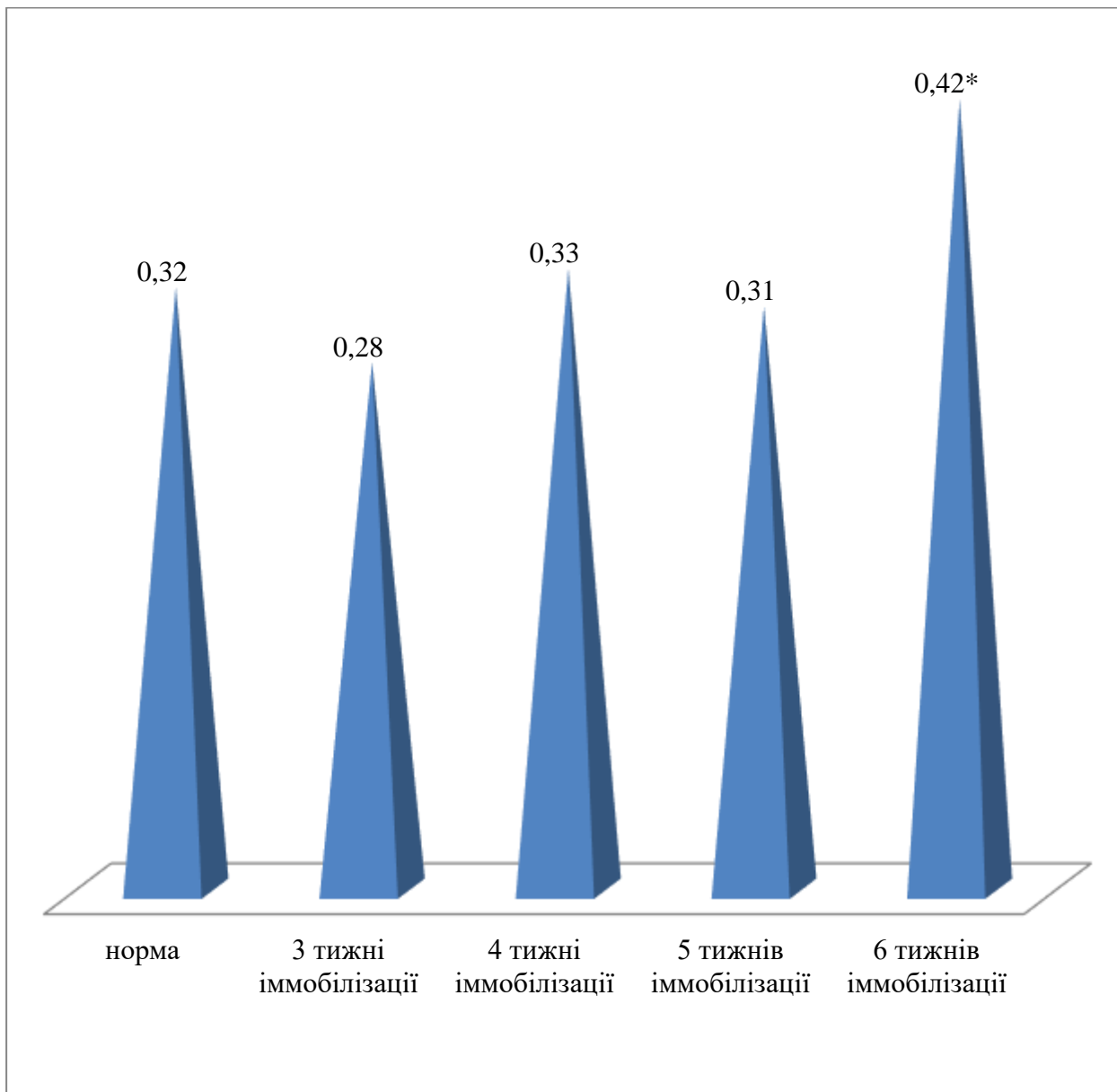


Рисунок 5.5. Динаміка вмісту цинку в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Наприкінці п'ятого тижня вимушеної іммобілізації вміст стронцію в кістковій тканині стегнової кістки сягав максимального значення $0,031 \pm 0,002$ мг/г, перевищуючи норму на 47%. До кінця шостого тижня експерименту

досліджуваний показник знижувався до $0,028 \pm 0,002$ мг/г, залишаючись вищим, ніж у інтактних тварин на 33%.

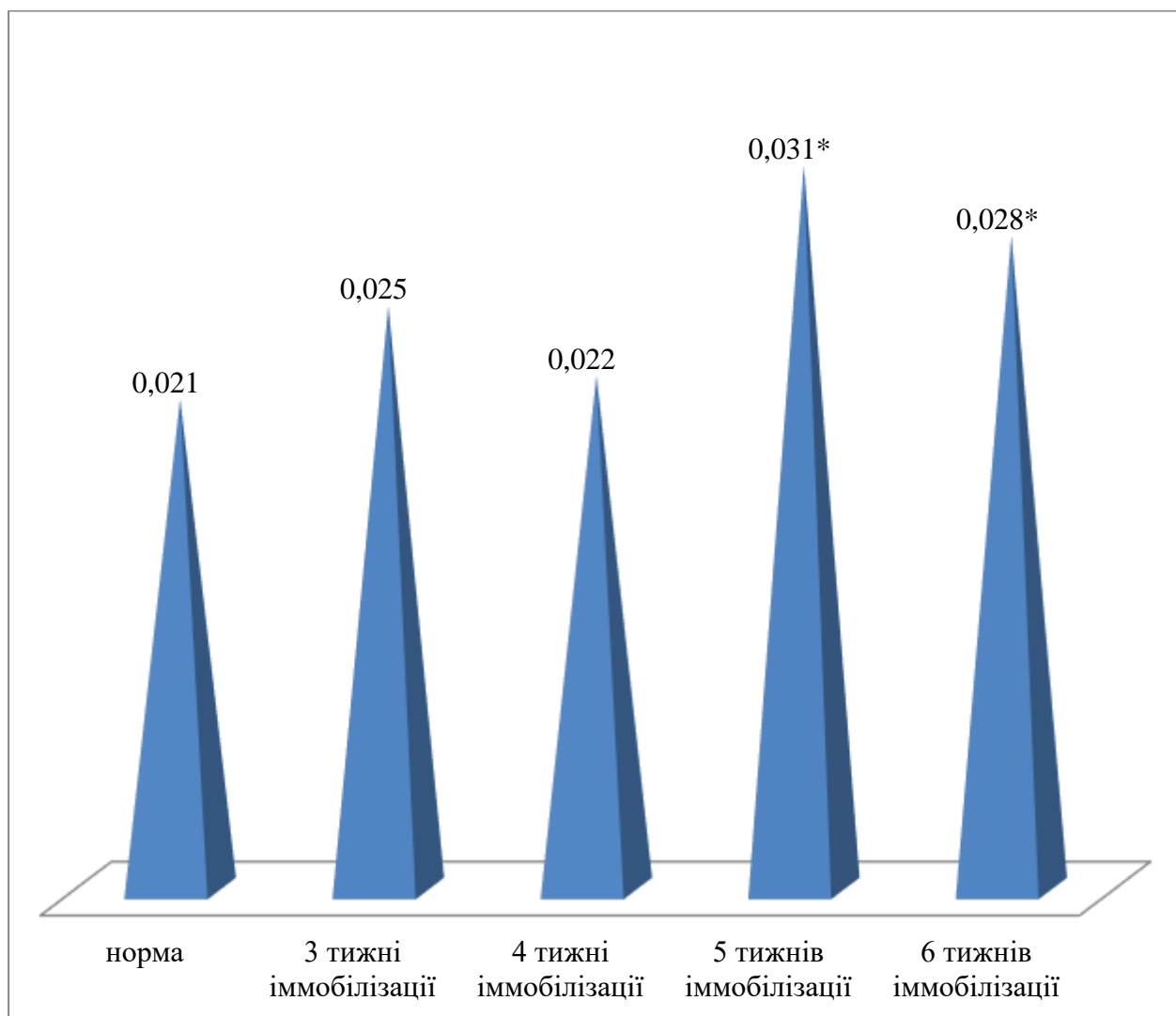


Рисунок 5.6. Динаміка вмісту стронцію в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Результати вивчення динаміки показників вмісту кальцію, фосфору, магнію, натрію, цинку та стронцію в кістковій тканині стегнової кістки щура упродовж шеститижневої вимушеної іммобілізації дали змогу виявити її особливості, характерні для кожного елемента, а також встановити терміни максимальних відхилень кожного з досліджуваних показників від норми. Зокрема, було встановлено, що показники вмісту фосфору і магнію в

кістковій тканині упродовж всього експерименту залишаються нижчими, ніж у інтактних тварин з мінімальними значеннями для фосфору на п'ятий тиждень іммобілізації і для магнію – на шостий тиждень.

Показники вмісту натрію та стронцію упродовж всього експерименту залишаються вищими, ніж у нормі, сягаючи максимальних значень до кінця п'ятого тижня вимушеної іммобілізації.

Показники вмісту кальцію та цинку мають однакову динаміку – до кінця третього тижня експерименту опускаються до мінімальних значень, а упродовж наступних термінів підвищуються і сягають максимальних значень на кінець шостого тижня вимушеної іммобілізації.

При цьому максимально наближеними до норми показники кальцію, магнію та стронцію були наприкінці четвертого тижня вимушеної іммобілізації, фосфору, наприкінці шостого тижня, натрію – наприкінці третього тижня та цинку – упродовж четвертого та п'ятого тижнів експерименту.

5.2. Динаміка показників вмісту мінеральних елементів кісткової тканин стегнової кістки щура після відміни вимушеної іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості.

Проведений аналіз показників вмісту кальцію, фосфору, магнію, натрію, цинку та стронцію в кістковій тканині стегнової кістки щура через два тижні відміни після чотиритижневої вимушеної іммобілізації дав змогу встановити особливості динаміки, характерної для кожного досліджуваного елемента (рис. 5.7-5.18).

Встановлено, що вміст кальцію в кістковій тканині після зниження до $12,19 \pm 0,56$ мг/г наприкінці четвертого тижня вимушеної іммобілізації через

два тижні після її відміни зростає до $12,34 \pm 0,42$ мг/г, істотно не відрізняючись від норми (рис. 5.7).

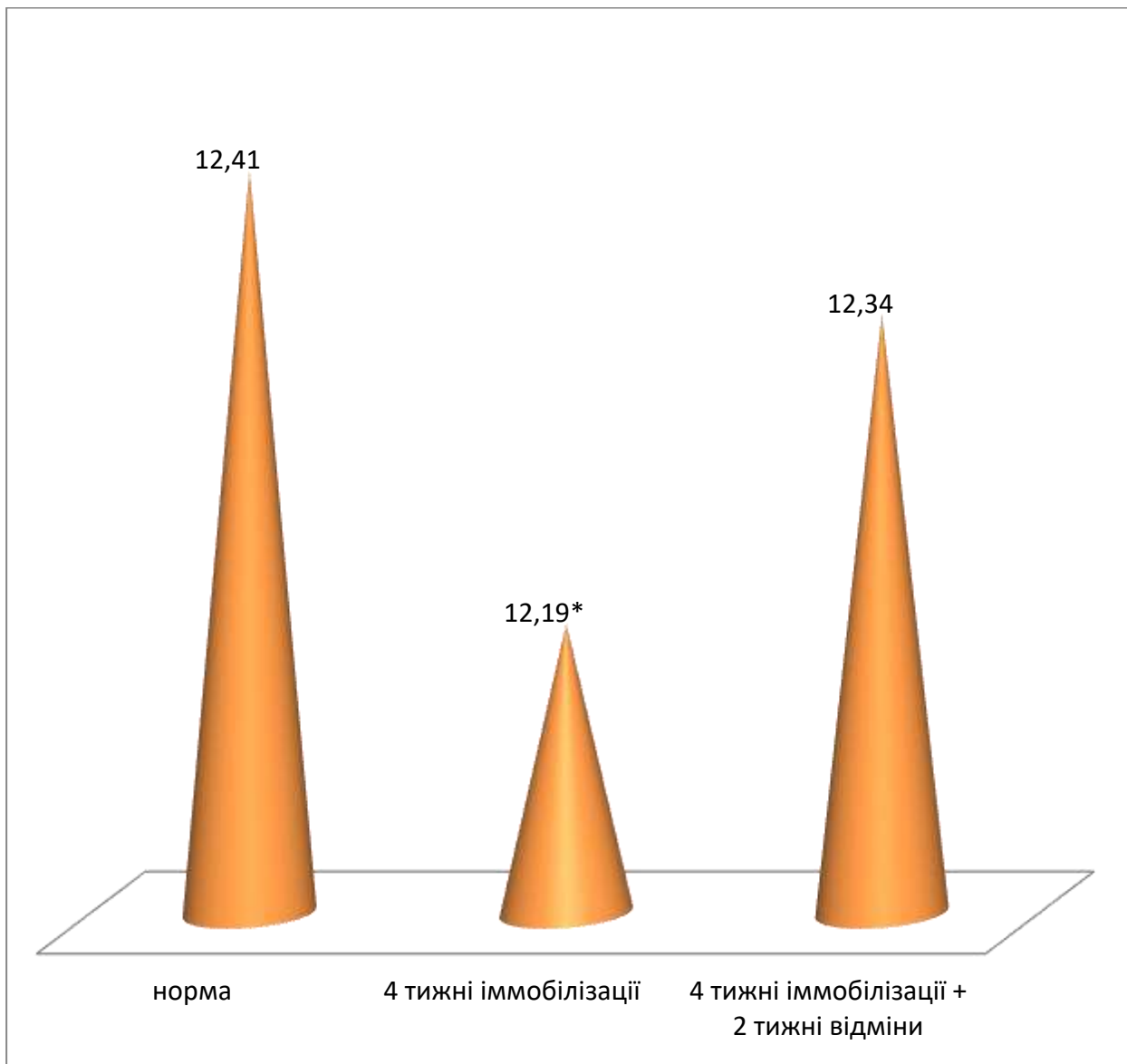


Рисунок 5.7. Динаміка вмісту кальцію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Вміст фосфору після чотирьох тижнів іммобілізації знижується до $9,13 \pm 0,67$ мг/г, а через два тижні після її відміни підіймається до $10,18 \pm 0,46$ мг/г, відрізняючись від норми лише на $-1,3\%$ (рис. 5.8).

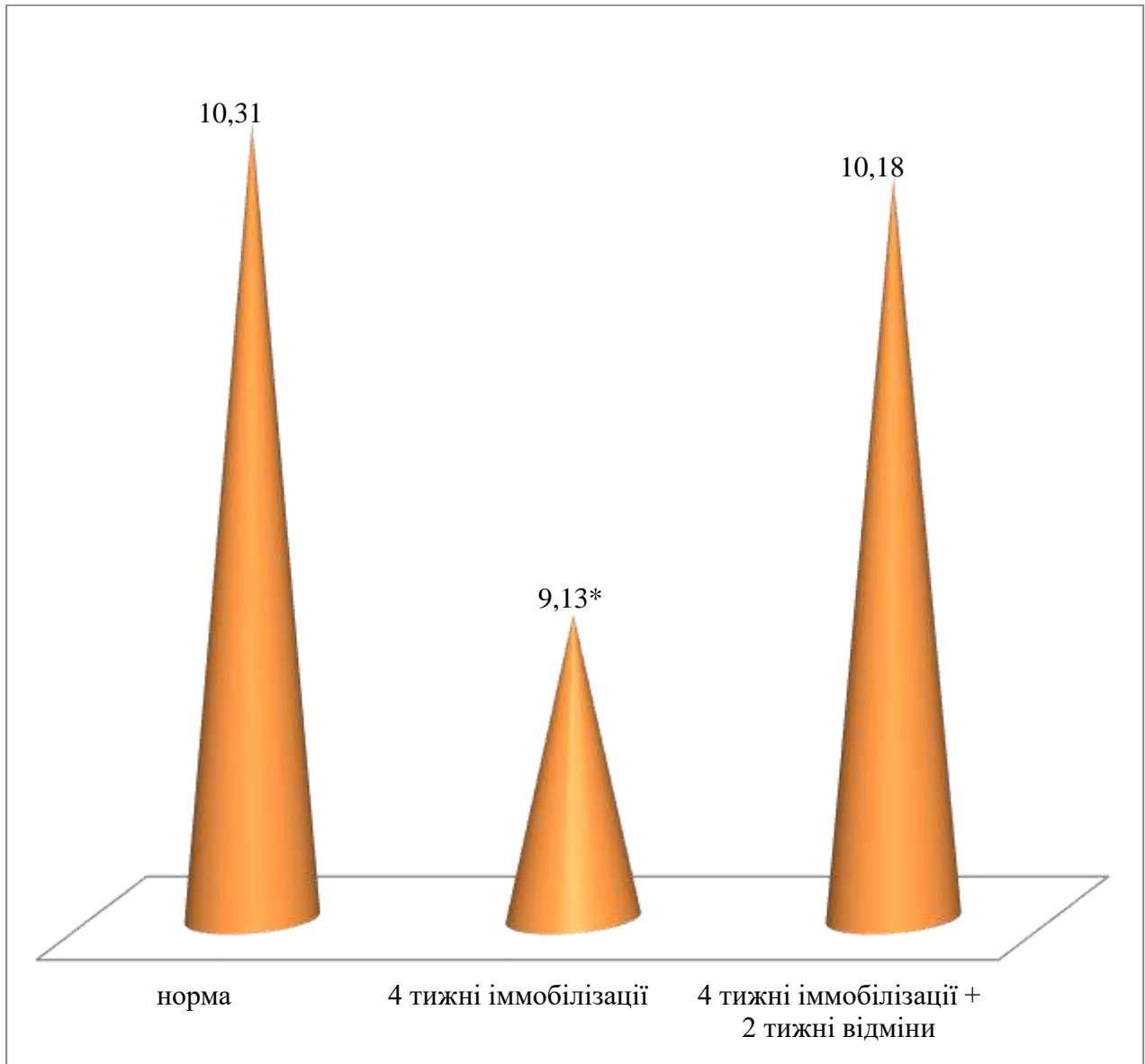


Рисунок 5.8. Динаміка вмісту фосфору в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Вміст магнію в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі чотиритижневої іммобілізації знижується до $2,19 \pm 0,33$ мг/г, а через 2 тижні після її відміни зростає до $2,21 \pm 0,04$ мг/г, відрізняючись від показника інтактних тварин на -5,5% (рис. 5.9).

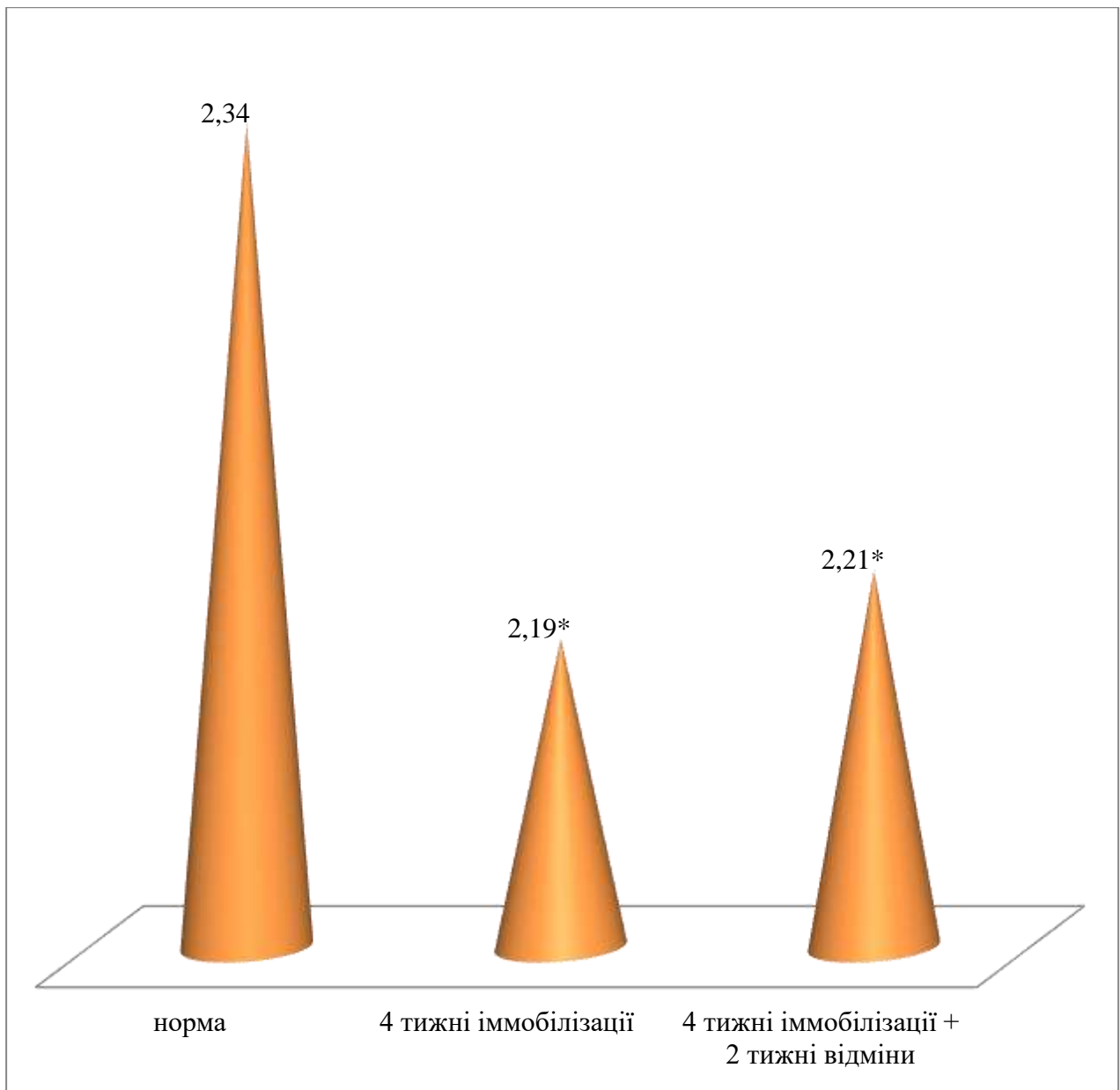


Рисунок 5.9. Динаміка вмісту магнію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Показник вмісту натрію в кістковій тканині стегнової кістки щура після чотирьох тижнів іммобілізації зростає до $2,98 \pm 0,21$ мг/г, а через два тижні після її відміни знижується до $2,89 \pm 0,12$ мг/г, залишаючись при цьому вищим від показника норми на 6,6% (рис. 5.10)

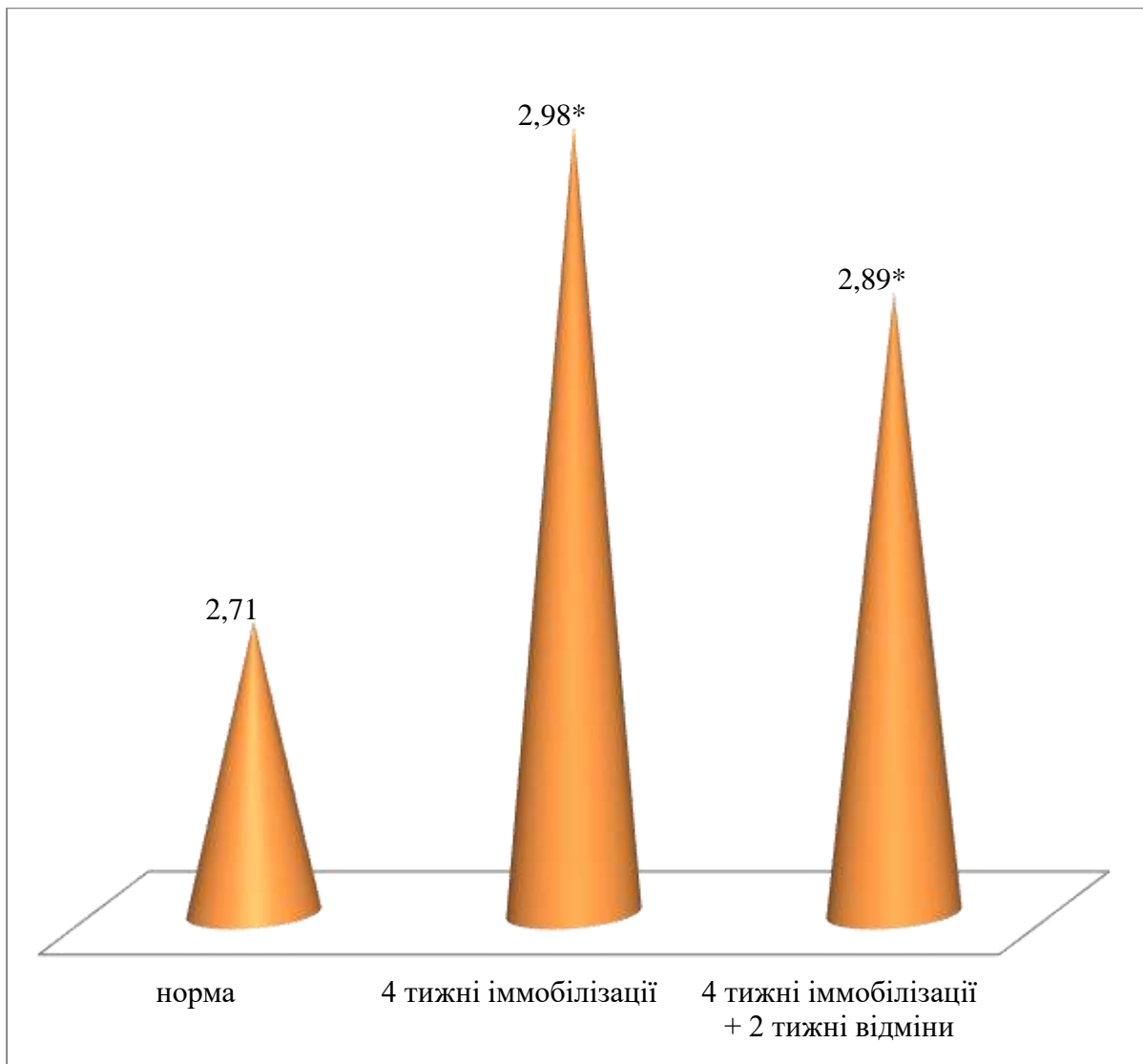


Рисунок 5.10. Динаміка вмісту натрію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Вміст цинку після чотиритижневої іммобілізації зростав до $0,33 \pm 0,01$, а через два тижні після її відміни повертався до показника норми $0,32 \pm 0,04$ мг/г (рис. 5.11).

Вміст стронцію після підвищення на тлі чотиритижневої іммобілізації до $0,022 \pm 0,001$ мг/г після її двотижневої відміни також повертався до норми і дорівнював $0,021 \pm 0,001$ мг/г (рис. 5.12)

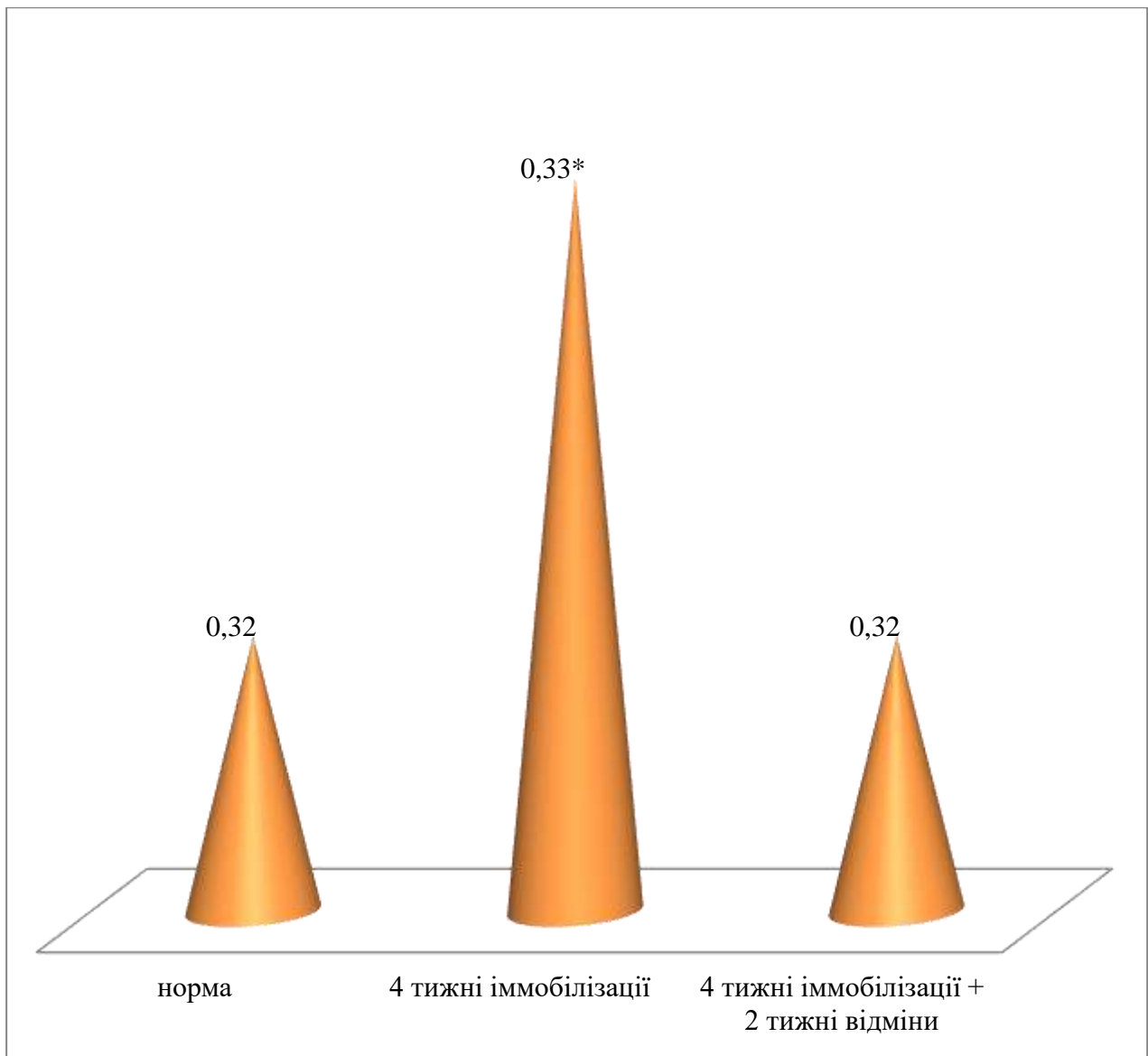


Рисунок 5.11. Динаміка вмісту цинку в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Таким чином, на підставі отриманих даних та результатів їх аналізу було встановлено особливості динаміки показників вмісту досліджуваних мінеральних елементів в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі чотиритижневої вимушеної іммобілізації та через два тижні після її відміни. Зокрема, було з'ясовано, що через два тижні відміни після 4-тижневої іммобілізації знижені показники вмісту кальцію, фосфору та магнію, а також

підвищений показник натрію максимально наближаються до показників інтактних тварин контрольної групи, а підвищені показники вмісту цинку та стронцію повністю повертаються до норми (рис. 5.7-5.12).

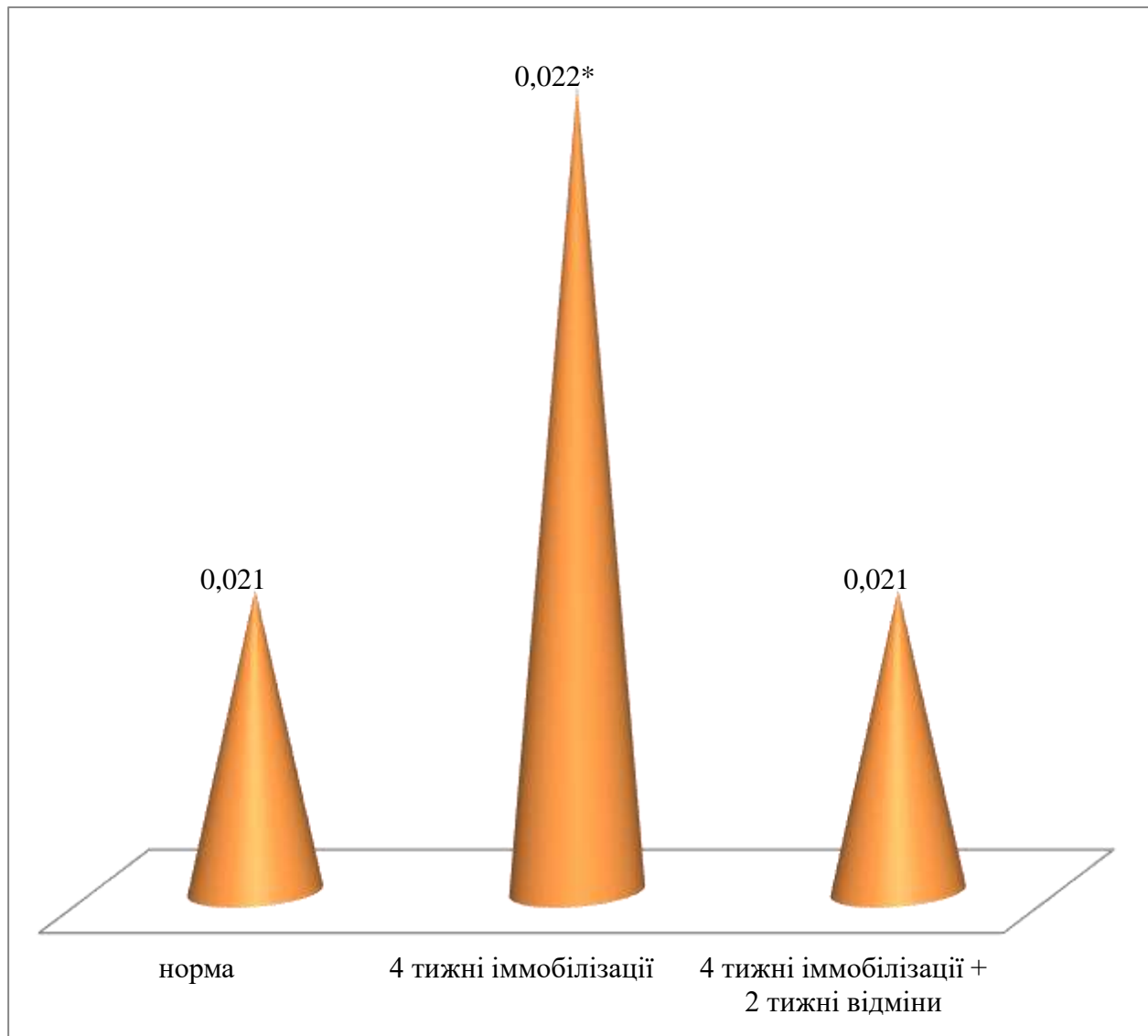


Рисунок 5.12. Динаміка вмісту стронцію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації зміни в мінеральному складі кісткової тканини стегнової кістки щура були виражені

більш істотно як у порівнянні з нормою, так і з показниками тварин, у яких іммобілізація тривала 4 тижні.

Зокрема, показник вмісту кальцію на тлі 6-тижневої іммобілізації різко зростав до $32,36 \pm 1,82$ мг/г, перевищуючи норму на 160%, а через два тижні після її відміни так само різко знижувався до $27,31 \pm 1,36$ мг/г, залишаючись, однак, вищим від норми на 120% (рис. 5.13).

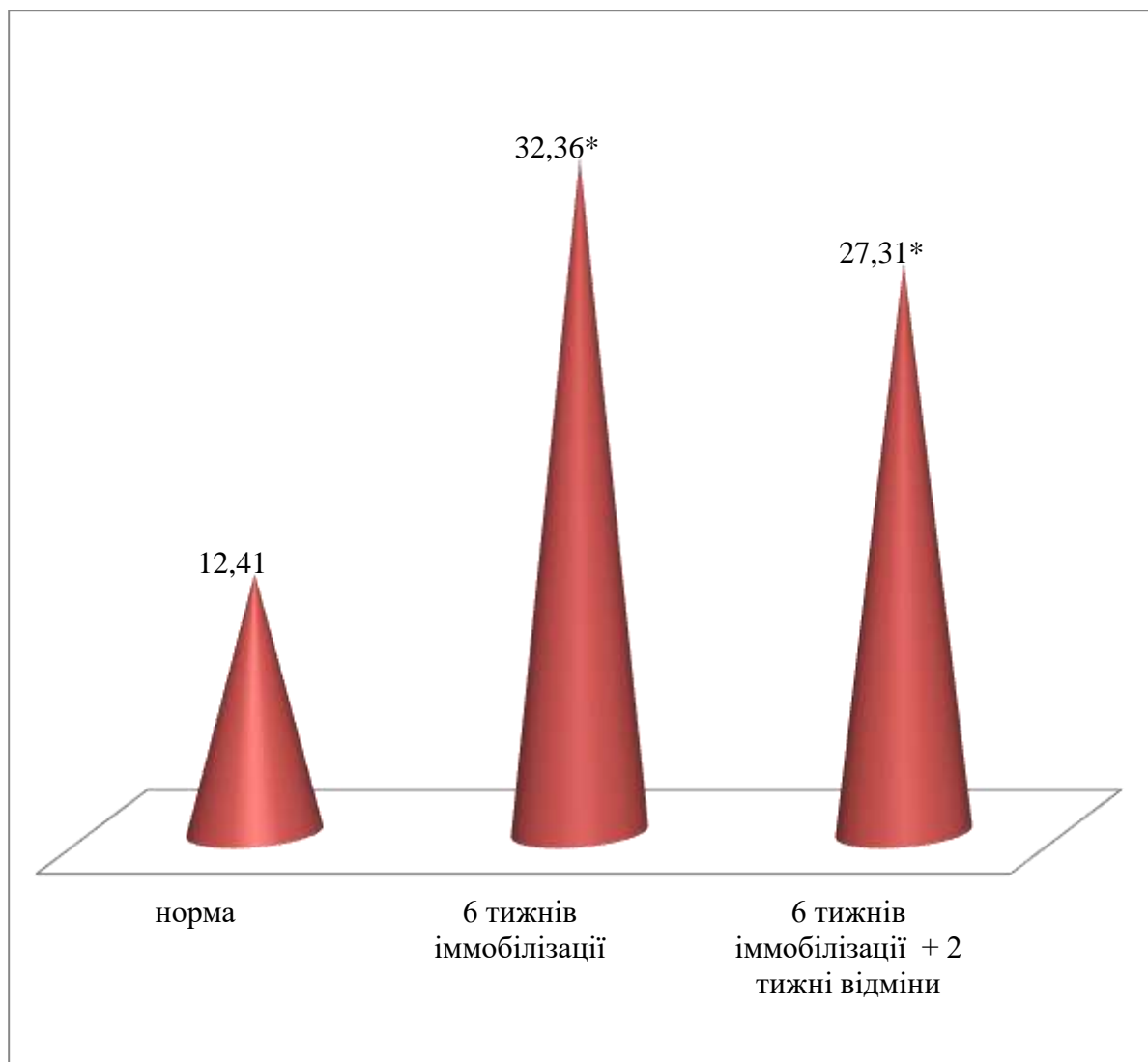


Рисунок 5.13. Динаміка вмісту кальцію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Вміст фосфору в кістковій тканині стегнової кістки щура на тлі шеститижневої іммобілізації знижувався до $9,97 \pm 0,45$ мг/г та продовжував знижуватись упродовж наступних двох тижнів після її відміни до $9,92 \pm 0,53$ мг/г, неістотно відрізняючись від попереднього показника та залишаючись на 4% нижчим, ніж у інтактних тварин (рис. 5.14).

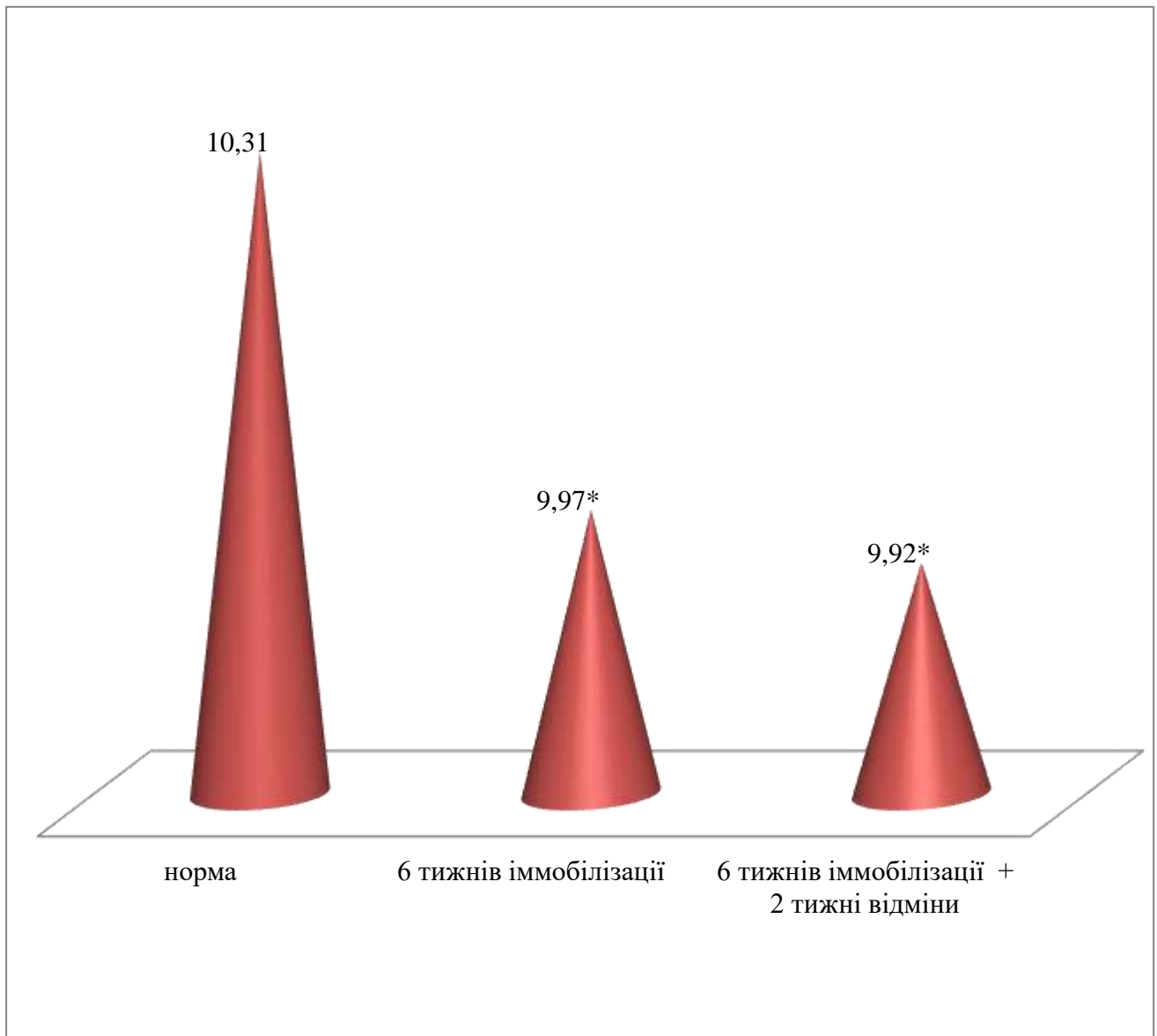


Рисунок 5.14. Динаміка вмісту фосфору в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Показник вмісту магнію в кістковій тканині стегнової кістки щура до кінця шостого тижня іммобілізації знижувався на 65% у порівнянні з нормою і становив $1,04 \pm 0,15$ мг/г, а упродовж двох тижнів після її відміни піднімався до $1,47 \pm 0,10$ мг, залишаючись, при цьому нижчим, ніж у інтактних тварин на 37% (рис. 5.15)

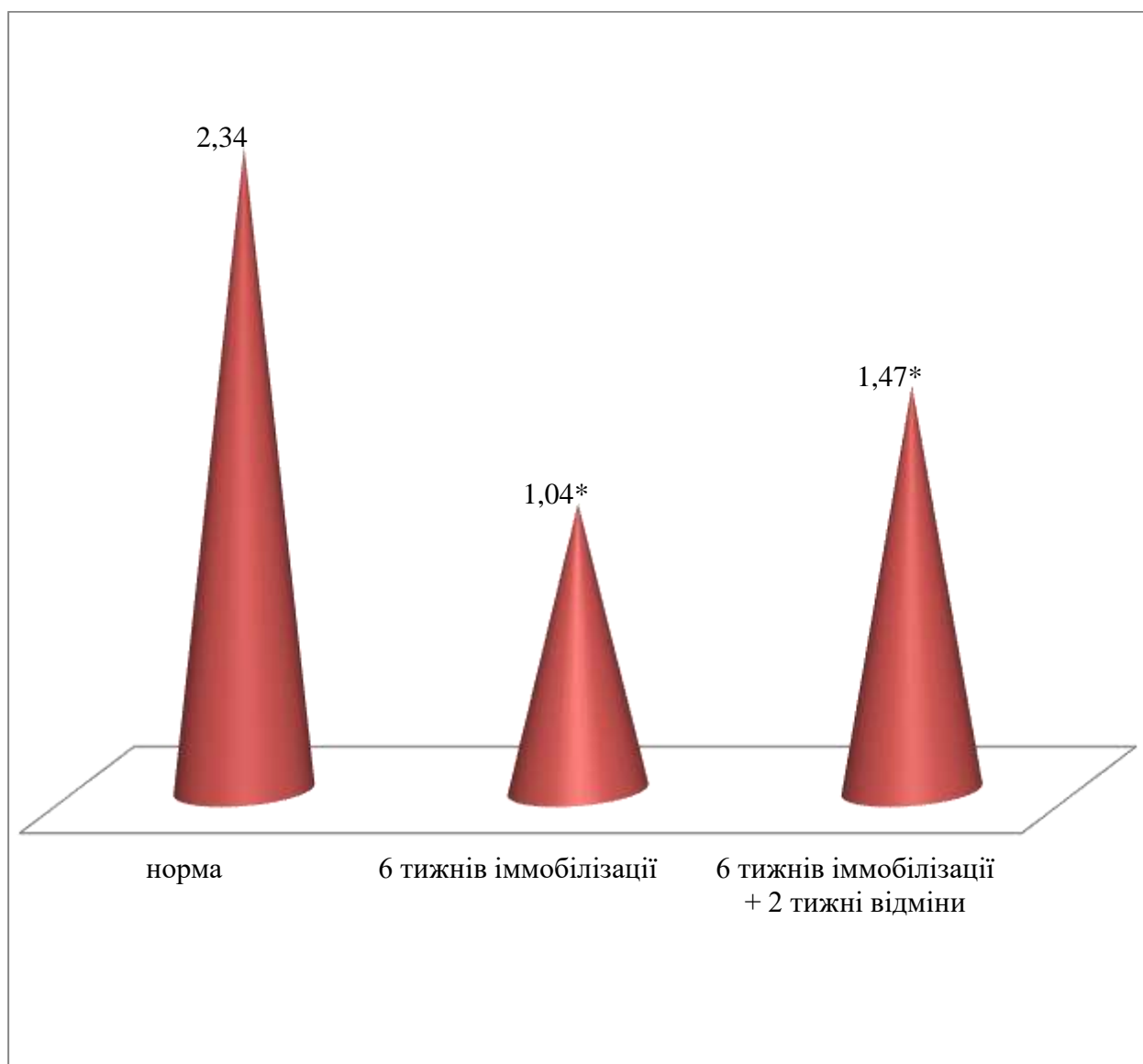


Рисунок 5.15. Динаміка вмісту магнію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

На тлі шеститижневої вимушеної іммобілізації показник вмісту натрію в кістковій тканині стегнової кістки щура зростав на 46% у порівнянні з нормою і становив $3,95 \pm 0,14$ мг/г. Через два тижні після відміни вимушеної іммобілізації вміст натрію в кістковій тканині знижувався до $3,42 \pm 0,26$ мг/г, залишаючись вищим, ніж у інтактних тварин на 26% (рис. 5.16).

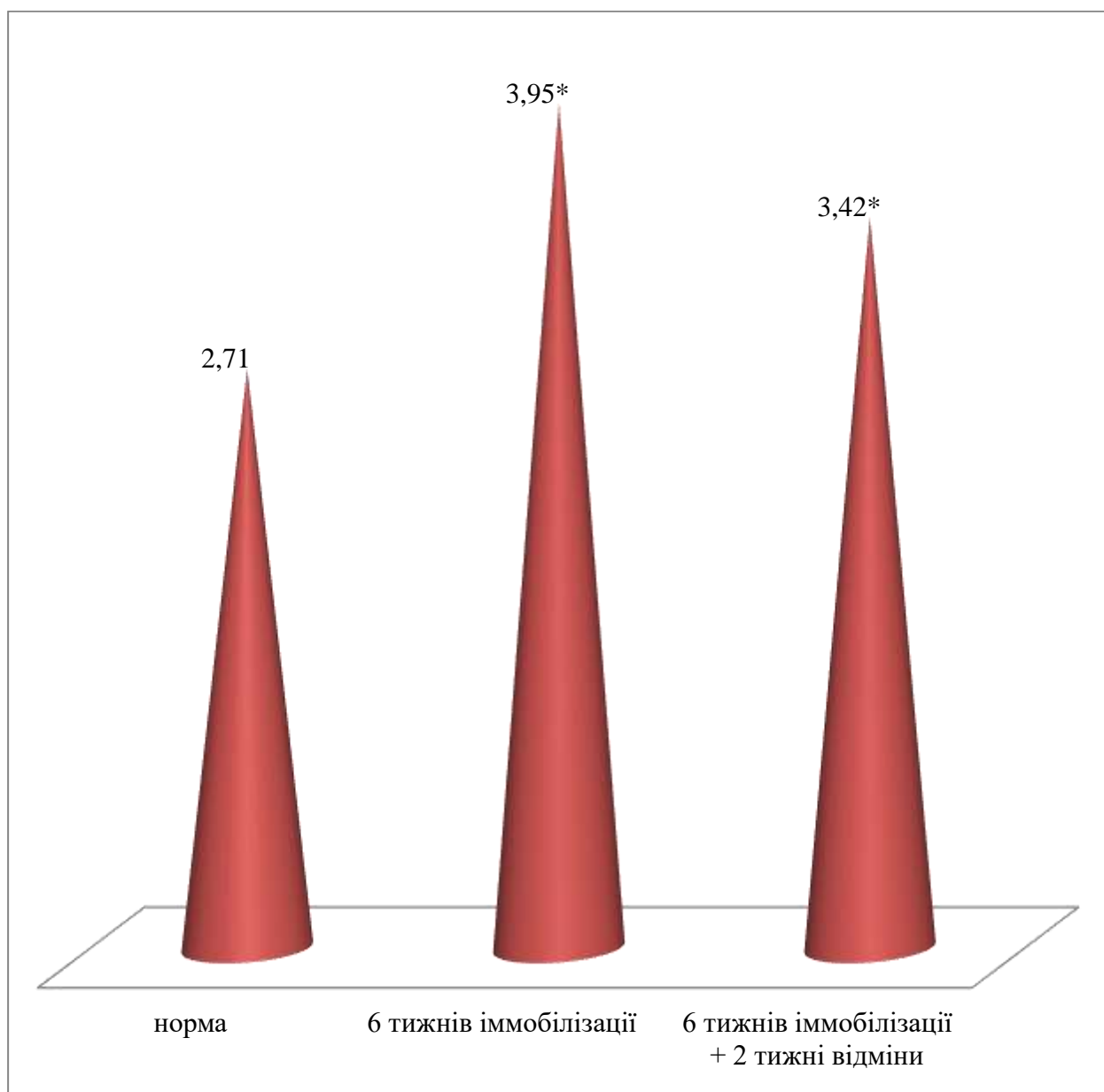


Рисунок 5.16. Динаміка вмісту натрію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Проведений аналіз виявлених змін показників вмісту цинку та стронцію в кістковій тканині стегнової кістки щура після шести тижнів вимушеної іммобілізації та через два тижні після її відміни засвідчив їх подібну динаміку (рис. 5.17, 5.18).

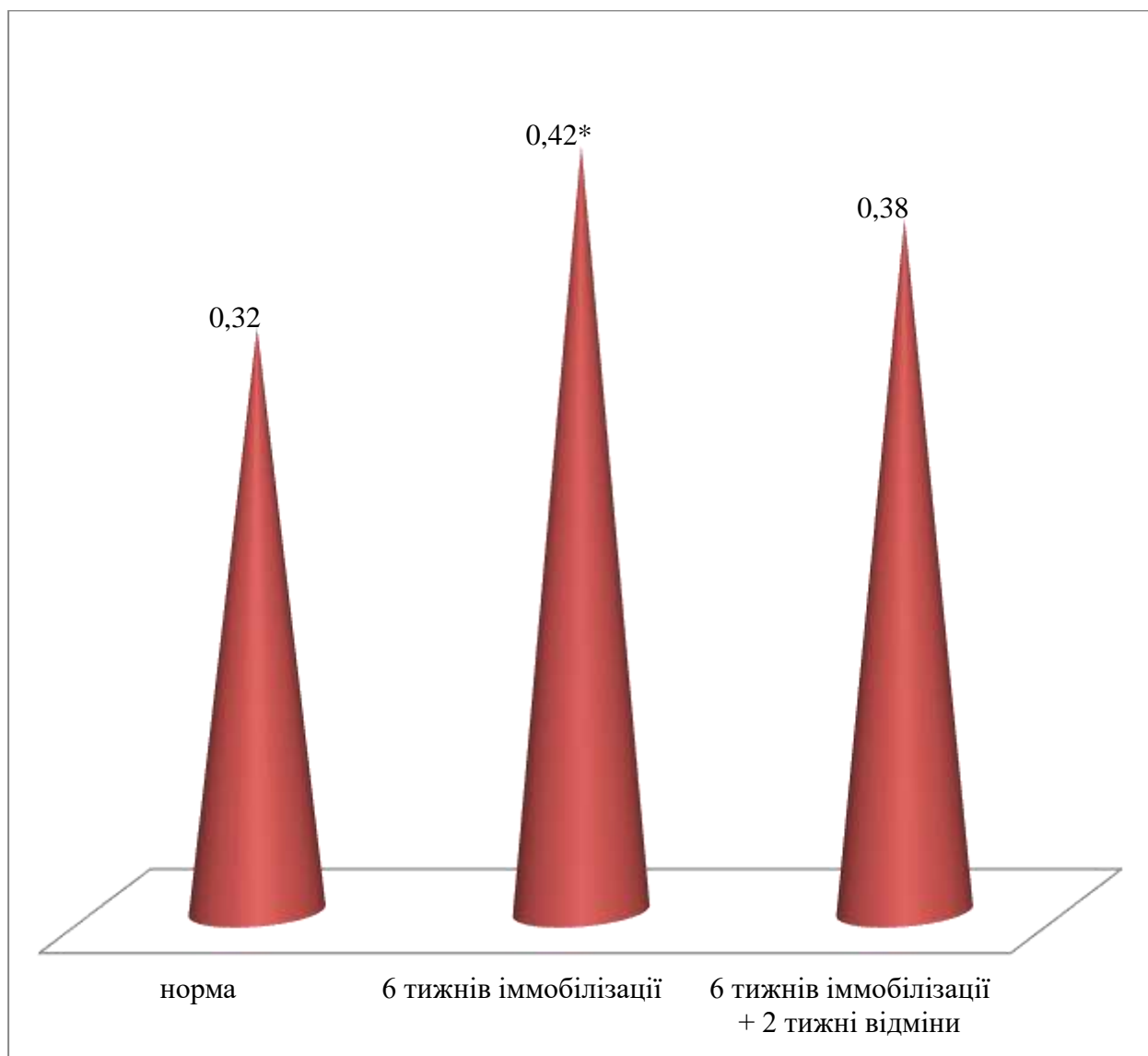


Рисунок 5.17. Динаміка вмісту цинку в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

Показник вмісту цинку наприкінці шостого тижня експерименту зростав до $0,42 \pm 0,01$ мг/г, перевищуючи аналогічний показник у інтактних тварин на

31%, а через 2 тижні після відміни іммобілізації знижувався до $0,38 \pm 0,02$ мг/г, залишаючись при цьому вищим від показників норми на 19% (рис. 5.17).

Вміст стронцію в кістковій тканині стегнової кістки щура після шести тижнів іммобілізації зростав до $0,028 \pm 0,002$ мг/г, що на 33% вище норми, а після двотижневої її відміни опускався до $0,023 \pm 0,001$ мг/г і при цьому залишався на 9,5% вищим, ніж у інтактних тварин (рис. 5.18).

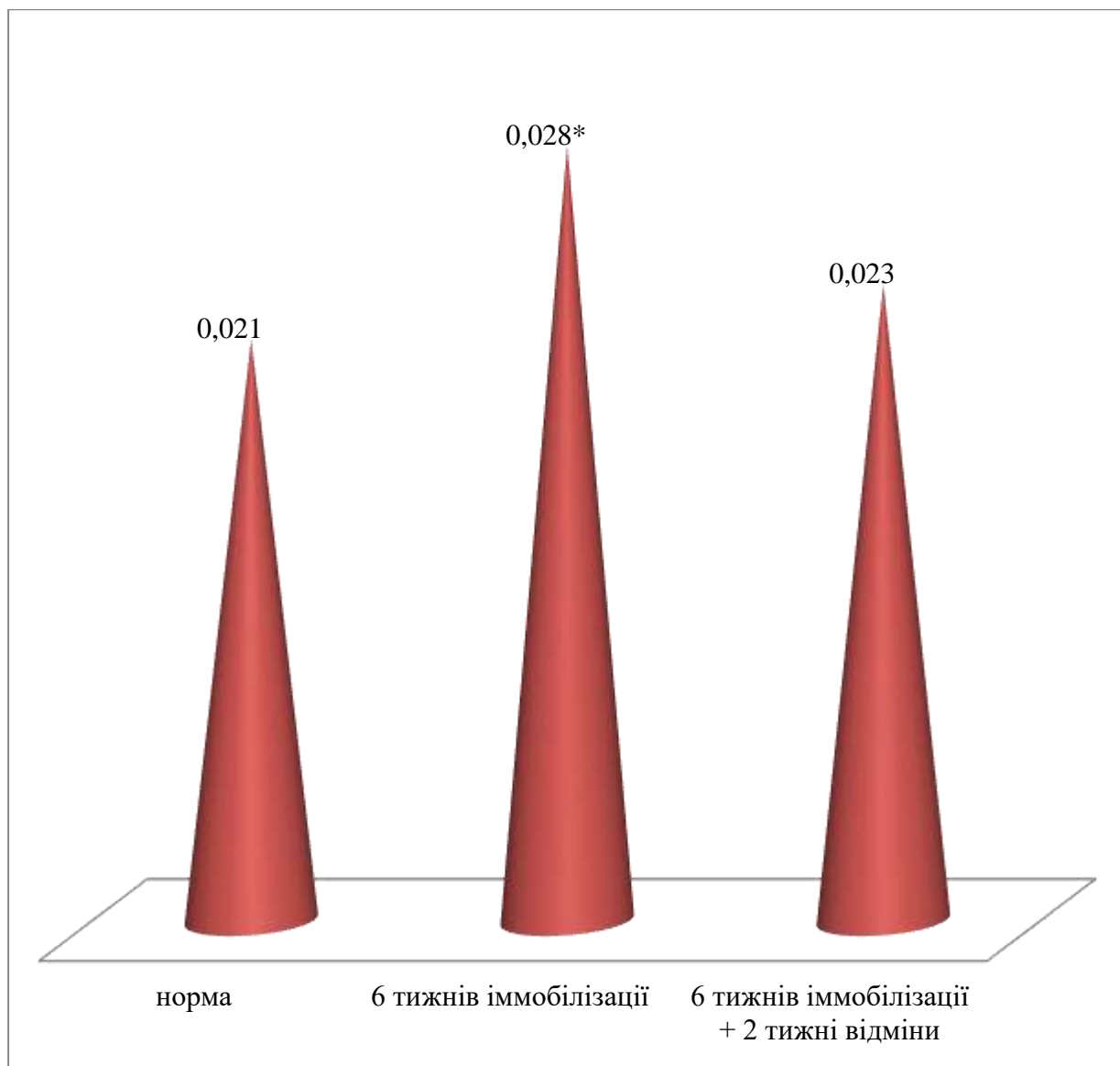


Рисунок 5.18 Динаміка вмісту стронцію в кістковій тканині стегнової кістки щура через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації (мг/г) (* $p < 0,05$ у порівнянні з інтактними тваринами).

В цілому отримані результати проведеного експерименту засвідчили наявність вираженої динаміки показників вмісту кожного з досліджуваних елементів в кістковій тканині стегнової кістки щура упродовж шести тижнів вимушеної іммобілізаційної гіподинамії, а також підтвердили наявність істотних змін у мінеральному складі кісткової тканини як через шість тижнів вимушеної іммобілізації, так і через два тижні після її відміни.

При цьому результати проведеного дослідження засвідчили також більш істотні зміни у мінеральному складі кісткової тканини, виявлені через два тижні після відміни шеститижневої вимушеної іммобілізації у порівнянні із змінами, які були виявлені через два тижні після завершення чотиритижневої іммобілізації.

Висновки:

1. Проведений аналіз мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура засвідчив наявність у її складі чотирьох макроелементів (кальцію, фосфору, магнію, натрію) та двох мікроелементів (цинку та стронцію) в кількостях, можливих для визначення. Вміст кальцію в кістковій тканині стегнової кістки інтактного щура становить $12,41 \pm 0,21$ мг/г, фосфору $10,31 \pm 0,87$ мг/г, магнію $2,34 \pm 0,36$ мг/г, натрію $2,71 \pm 0,19$ мг/г, цинку $0,32 \pm 0,04$ мг/г, та стронцію $0,021 \pm 0,001$ мг/г.

2. Показники вмісту фосфору і магнію в кістковій тканині упродовж всього експерименту залишалися нижчими, ніж у інтактних тварин з мінімальними значеннями для фосфору ($8,95 \pm 0,48$ мг/г) на п'ятий тиждень іммобілізації і для магнію ($1,04 \pm 0,15$ мг/г) – на шостий тиждень.

3. Показники вмісту натрію та стронцію упродовж всього експерименту залишаються вищими, ніж у нормі, сягаючи максимальних значень для обох елементів до кінця п'ятого тижня вимушеної іммобілізації ($4,18 \pm 0,34$ мг/г для натрію та $0,031 \pm 0,002$ мг/г для стронцію).

4. Показники вмісту кальцію та цинку мають однакову динаміку – до кінця третього тижня експерименту опускаються до мінімальних

значень ($11,32 \pm 0,42$ мг/г для кальцію та $0,28 \pm 0,02$ мг/г для цинку), а упродовж наступних термінів підвищуються і сягають максимальних значень на кінець шостого тижня вимушеної іммобілізації ($32,36 \pm 1,82$ мг/г для кальцію та $0,42 \pm 0,01$ мг/г для цинку).

5. Максимально наближеними до норми показники кальцію, магнію та стронцію були наприкінці четвертого тижня вимушеної іммобілізації, фосфору – наприкінці шостого тижня, натрію – наприкінці третього тижня та цинку – упродовж четвертого та п'ятого тижнів експерименту.

6. Через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації вміст кальцію становив $12,34 \pm 0,42$ мг/г, істотно не відрізняючись від норми, вміст фосфору – $10,18 \pm 0,46$ мг/г, відрізняючись від норми на $-1,3\%$, вміст магнію – $2,21 \pm 0,04$ мг/г, відрізняючись від показника інтактних тварин на $-5,5\%$, вміст натрію – $2,89 \pm 0,12$ мг/г, залишаючись вищим від норми на $6,6\%$, вміст цинку та стронцію повертався до показників норми ($0,32 \pm 0,04$ мг/г та $0,021 \pm 0,001$ мг/г відповідно).

7. Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації зміни в мінеральному складі кісткової тканини стегнової кістки щура були виражені більш істотно як у порівнянні з нормою, так і з показниками тварин, у яких іммобілізація тривала 4 тижні. Вміст кальцію через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації становив $27,31 \pm 1,36$ мг/г, перевищуючи норму на 120% , вміст фосфору – $9,92 \pm 0,53$ мг/г, відрізняючись від норми на -4% , вміст магнію становив $1,47 \pm 0,10$ мг, і був на 37% нижчим, ніж у інтактних тварин, вміст натрію становив $3,42 \pm 0,26$ мг/г, перевищуючи норму на 26% , вміст цинку сягав $0,38 \pm 0,02$ мг/г і перевищував норму на 19% , вміст стронцію становив $0,023 \pm 0,001$ мг/г і при цьому залишався на $9,5\%$ вищим, ніж у інтактних тварин.

Матеріали даного розділу висвітлені в наукових публікаціях автора:

1. Довган РР, Масна ЗЗ. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. *Morphologia* [Інтернет]. 2025;19(3):65-72. Доступно: https://drive.google.com/file/d/14Ixn9hEaboR-A1YfPD5RuAB2W4d_VXNs/view. DOI: DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>
2. Dovgan R, Masna Z. Comparison of the dynamics of bone tissue quality and mineral composition of the femoral neck in rats during different periods of experimental hypokinesia. В: *Матеріали Дев'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології*; 2025 Лист 6-7; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2025. с. 75-76.
3. Довган РР, Согуйко РР, Рудницька ХІ. Бондарчук НБ, Динаміка мінерального складу кісткової тканини під впливом патогенних чинників та гіподинамії. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Сучасні проблеми морфології людини» (присвяченої 80-річчю професора Ю.М.Вовка) – 2026. с. 60-62*

РОЗДІЛ 6

АНАЛІЗ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Серед причин стрімкого росту захворюваності та зниження якості життя сучасної людини в цілому світі численні наукові джерела та дані офіційної статистики вказують малорухливий спосіб життя, називаючи гіподинамію однією з найбільших медико-соціальних проблем сучасності, поряд з глобальними екологічними змінами, техногенними катастрофами, військовими конфліктами та інфекційними епідеміями [3-6].

Результати численних наукових експериментальних та клінічних досліджень свідчать, що недостатність фізичної активності веде до порушення обміну речовин, зниження синтезу білка, стає причиною зростання ризику розвитку серцево-судинних захворювань, хвороб опорно-рухового апарату, внутрішніх органів та систем [7, 22, 171, 196-198].

Сьогодні відомо, що надлишкова маса тіла та обмеження рухової активності, сповільнюючи як загальний, так і кістковий метаболізм, є ключовими чинниками зниження мінеральної маси кісткової тканини і ведуть до виникнення та прогресування кісткової патології, збільшення крихкості та ламкості кісток і ризику їх зламів навіть при незначній травмі [199, 200].

При цьому посттравматична іммобілізація стає додатковим чинником, який приводить до обмеження чи повного виключення функції іммобілізованих суглобів. На думку низки дослідників функціональні порушення іммобілізованих структур внаслідок тривалого функціонального обмеження нерідко переходять межу зворотності [201, 202].

Однією з найкритичніших з точки зору частоти виникнення і важкості перебігу патологій опорно-рухового апарату є кульшово-стегнова ділянка. Без сумніву, це зумовлено її анатомо-фізіологічними особливостями, до яких належать передусім складна анатомічна конфігурація, велика завантаженість

та необхідність поєднувати максимальну стабільність і рівновагу при утриманні тіла в певному положенні з високою мобільністю одного з найбільш функціональних суглобів людського організму.

Результати досліджень, проведених Dimitriou D, Helmy N, Hasler J, Flury A, Finsterwald M, Antoniadis A.(2019) засвідчують, що переломи шийки стегнової кістки належать до групи патологій, що є частою причиною смертності та інвалідності серед літнього населення [203].

Високий ризик зламів шийки стегнової кістки та інвалідизації і смертності пацієнтів з даною патологією привертає увагу до вивчення причин її виникнення та пошуку методів її профілактики і ефективного лікування. Метою дослідження Cha YH, Yoo JI (2021) став аналіз відмінностей геометрії проксимального відділу стегнової кістки та вивчення можливостей прогнозування ризику переломів шляхом порівняльного дослідження переломів шийки стегна вибірки пацієнтів з даною патологією [204]. Автори стверджують, що геометричний аналіз проксимального відділу стегнової кістки є корисним методом та основним прогностичним фактором для прогнозування базових переломів шийки стегна.

Вивченню геометрії проксимальної частини стегнової кістки з використанням рентгенівської абсорбціометрії з подвійною енергією присвятили свої дослідження Al Rassy N, Matta J, Frenn F, Maalouf G, Rizkallah M, Vachour F. et al. (2019). Це дослідження показало зв'язок між антропометричними та конституційними даними обстежуваних жінок та механічними властивостями кістки, що автори вважають ключовим фактором для визначення геометрії досліджуваної ділянки у жінок із недостатньою вагою [205].

Важливим елементом геометрії проксимальної ділянки стегнової кістки є положення ямки її головки, топографія якої є варіабельною і недостатньо вивченою, вважають Seynowa M, Rocławski M, Pankowski R, Mazurek T. (2019). Провівши дослідження для оцінки положення ямки в комп'ютерній томографії та його кореляції зі стандартними рентгенографічними

вимірюваннями проксимального відділу стегнової кістки, автори дійшли висновку, що вісь шийки стегнової кістки в поперечній площині завжди перетинає передню частину ямки, а положення ямки не пов'язане з кутовою геометрією проксимального відділу стегнової кістки, але пов'язане з розміром її головки [206].

Вивчаючи чинники, які впливають на якість кісткової тканини та функціональну спроможність стегново-кульшової ділянки Blümel S, Stadelmann VA, Brioschi M, Küffer A, Leunig M, Rüdiger HA. (2021) у своїй роботі наголошують, що неточна проекція на стандартних рентгенограмах органів малого таза призводить до недооцінки зміщення стегнової кістки – критичного визначального фактора післяопераційної функції кульшового суглоба [207.], а Buitendijk SKC, van de Laarschot DM, Smits AAA, Koromani F, Rivadeneira F, Beck TJ, Zillikens MC. (2019), досліджуючи причини атипових переломів стегнової кістки підкреслюють, що при вузькій шийці стегнової кістки обстежувані пацієнти мали нижчий коефіцієнт вигину та вищу центральну позицію, що відповідало меншому ризику класичних переломів [208].

Цікавими є результати досліджень, проведених Bento AO, Falótico G, Enseki K, Cunha RA, Ejnisman B, Arliani G, Cohen M. (2021), які засвідчують наявність клініко-рентгенологічних відмінностей геометричних показників кульшової ділянки між домінуючою і недомінуючою нижніми кінцівками у професійних футболістів [209].

Патологічні зміни у кульшових суглобах чи тривала іммобілізація тазово-стегнової ділянки у посттравматичному чи післяопераційному періодах ведуть до суттєвого обмеження рухових можливостей – вимушеної іммобілізаційної гіподинамії, що може мати різні наслідки, в тому числі для структури, мінерального складу та механічних властивостей кісткової тканини стегнової кістки.

В ґрунтовному дослідженні Vaidya S, Aroojis A, Mehta R.(2021) автори доводять, що традиційне сповивання, яке передбачає обмежувальну

імобілізацію нижніх кінцівок немовлят з примусовим розгинанням і приведенням стегон, є чинником ризику розвитку дисплазії кульшового суглоба та пропонують практику «безпечного» сповивання, яке дозволяє необмежені рухи згинання та відведення стегон немовляти, а також використання пристосувань для носіння дитини, які утримують нижні кінцівки в положенні згинання-відведення та згинання в колінах. для повноцінного розвитку стегна та зменшення частоти дисплазій [210].

Shoji T, Shozen H, Ueki S, Kaneta H, Morita H, Kozuma Y, Adachi N.(2025) провели оцінку кісткових особливостей, пов'язаних з нестабільністю кульшового суглоба при його дисплазії [211], Steiner Q, Walczak BE, Sanfilippo J, Joachim MR, Haraldsdottir K, Watson AM. (2024) вивчали біометричні зміни до 2-х років після артроскопії кульшового суглоба у спортсменів [212], Schroeder PB, Nicholes MA, Schmitz MR. (2021) провели аналіз патологій кульшового суглоба, що можуть мати важкі ускладнення, якщо їх не діагностувати та не розпочати лікування на ранній стадії [213].

Метою дослідження, виконаного Heckmann N, Tezuka T, Bodner RJ, Dorr LD.(2021) стало визначення функціональної анатомії кульшового суглоба за допомогою клінічного та рентгенографічного аналізів [214], а Lassalle L, Regnard NE, Durteste M, Ventre J, Marty V, Clovis L, et al.(2024) провели валідацію вимірювань, керованих штучним інтелектом, для оцінки морфології кульшового суглоба [215].

В контексті широкого спектру досліджень, присвячених вивченню функціональних обмежень кульшового суглоба та структурної перебудови стегнової кістки на тлі зниження рухової активності чи імобілізації тазово-стегнової ділянки, актуальним, на нашу думку, є комплексне вивчення змін, які виникають у структурі та мінеральному складі кісткової тканини стегнової кістки в умовах експериментальної гіподинамії різної тривалості. Тому метою нашого дослідження стало з'ясування закономірностей динаміки кількісних та якісних характеристик кісткової тканини стегнової кістки та

амплітуди рухів у кульшовому суглобі на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та після її завершення [216-226].

Дослідження було виконане в рамках планової наукової роботи кафедри нормальної анатомії і кафедри оперативної хірургії з топографічною анатомією Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького “Морфофункціональні особливості органів у пре- та постнатальному періодах онтогенезу, при впливі опіоїдів, харчових добавок, реконструктивних операціях та ожирінні” (номер державної реєстрації 0120U002129) та планової наукової роботи кафедри травматології, ортопедії та воєнно-польової хірургії Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького «Травма та захворювання опорно-рухового апарату (клініка, діагностика, лікування та профілактика)» (номер державної реєстрації 0120U002146).

Для досягнення поставленої мети було використано низку методів, зокрема: експериментальний (для моделювання тривалої гіподинамії); гоніометричний (для визначення амплітуди рухів у кульшовому суглобі), радіовізіографічний/рентгенанатомічний (для визначення якості кісткової тканини), метод атомно-абсорбційного спектрального аналізу (для вивчення мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки), статистичний (для опрацювання отриманих цифрових даних) [216-226].

Дослідження було проведено на 65 білих безпородних статевозрілих щурах-самцях віком 3-3,5 місяці і масою 180-200 г. Тварин утримували на стандартному раціоні віварію ДНП ЛНМУ імені Данила Галицького з вільним доступом до води, при сталій температурі й вологості.

Тварин було розділено на експериментальну (40 щурів) та контрольну (5 інтактних щурів) групи.

Всі досліджувані параметри у тварин експериментальної групи визначали через 3, 4, 5 та 6 тижнів після накладення іммобілізаційних пов'язок, а також через 2 тижні після відміни 4-тижневої та 6-тижневої іммобілізації.

Вимушену іммобілізацію моделювали шляхом накладення на крижово-тазову ділянку та задні кінцівки експериментальних тварин гіпсової пов'язки по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах.

Використання даної моделі дозволило не тільки повністю виключити рухи у кульшових та колінних суглобах, але й суттєво знизити загальну рухову активність щура та провести поетапне комплексне вивчення впливу вимушеної іммобілізаційної гіподинамії на організм експериментальних тварин і з'ясувати закономірності динаміки функціональних, морфологічних та хімічних змін у досліджуваних структурах [216-226].

До контрольної групи увійшли інтактні тварини відповідного віку.

Після завершення експерименту та зняття іммобілізуючих гіпсових пов'язок в рамках гоніометричного дослідження з використанням транспортира-кутоміра визначали амплітуду пасивних згинальних та розгинальних рухів у кульшовому суглобі експериментальних тварин, вважаючи початковим положення задньої кінцівки перпендикулярно до поздовжньої осі тіла щура.

Для вивчення рентгенологічно візуалізованих змін у кульшовому суглобі та визначення щільності кісткової тканини стегнової кістки тварин експериментальної та контрольної груп було опрацьовано 75 рентгенограм/радіовізіограм досліджуваної ділянки. Рентгенографічне дослідження проводили на апараті Zoo Max LG (Угорщина).

Щільність кісткової тканини в ділянці головки, шийки, великого вертлюга та проксимального відділу діафіза стегнової кістки щура визначали в умовних одиницях сірості (УОС) радіовізіографічним методом на апараті фірми Siemens з використанням програмного забезпечення TROPHI Radiologi.

Вивчення мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки здійснювали шляхом проведення атомно-абсорбційного та атомно-емісійного спектрального аналізу 30 фрагментів кісткової тканини стегнової

кістки, виконаного на атомно-абсорбційному спектрофотометрі AAS-1N (CarlZeissJena, Німеччина) із використанням полум'я пропан-бутан-повітря. Концентрацію досліджуваних елементів у зразках кісткової тканини вказували у мг/г.

Дослідження проводили у центральній науково-дослідній лабораторії Львівського національного університету ім. Івана Франка.

Всі результати, отримані при проведенні досліджень базувались на 5-15 паралельних визначеннях і були опрацьовані статистично.

Перед обробкою цифрових даних, для дослідження їх підпорядкування нормальному закону розподілу використовували аналіз гістограми розподілу, показники коефіцієнтів асиметрії та екстинкції та критерій Шапіро-Уїлка. Дані, які відповідали нормальному закону розподілу, подано у вигляді $M \pm SD$, де M – значення середнього, SD – стандартне відхилення.

Оцінку достовірності різниці середніх вибірок з нормальним розподілом було проведено з використанням параметричних методів – двостороннього t-критерію, з непараметричних методів використовували U-критерій Уїлкоксона (Манна-Уїтні). Рівень достовірності було встановлено на рівні 95%. Різницю між групами вважали достовірною при $p < 0,05$.

Всі статистичні розрахунки, створення графіків і таблиць проведені з застосуванням програмного забезпечення RStudio v1.2.5042 та електронних таблиць Excel з пакету MS Office 2010 з використанням ліцензійної програми STATISTICA (версія 6.1; серійний номер AGAR 909 E415822FA).

Першим етапом дослідження стало обстеження тварин контрольної групи: зважування, ввизначення з використанням транспортира-кутоміра амплітуди пасивних згинальних та розгинальних рухів у кульшовому суглобі, рентгенографія тазово-кульшової ділянки та стегнової кістки, визначення радіовізіографічним методом щільності кісткової тканини стегнової кістки в ділянці головки, шийки, великого вертлюга та проксимальної ділянки діафіза.

Після зняття іммобілізаційних пов'язок по завершенні кожного етапу експерименту (3, 4, 5, 6 тижнів іммобілізації та 2 тижні після завершення 4-

тижневої іммобілізації і 2 тижні після завершення 4-тижневої іммобілізації) вивчали вплив іммобілізаційної гіподинамії на загальний стан експериментальних тварин та амплітуду рухів у кульшовому суглобі [216, 217].

Результати проведеного спостереження за тваринами, які перебували в стані вимушеної гіподинамії, спричиненої тривалою іммобілізацією крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок гіпсовою пов'язкою по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах засвідчило її вплив як на фізичний стан так і на поведінку експериментальних тварин [216, 217].

Встановлено, що тривала іммобілізація даного типу веде до вимушеної гіподинамії та спричиняє фізичні зміни і поведінкові порушення у експериментальних тварин. Зокрема, упродовж перших трьох тижнів експерименту тварини були малорухомими, але активно працювали передніми кінцівками. В їх поведінці спостерігали елементи агресії, а у тварин, які 6 тижнів жили з іммобілізаційною пов'язкою відзначали підвищення апетиту та зниження охайності.

Проведений аналіз динаміки маси експериментальних тварин дозволив встановити, що досліджуваний показник знижувалась до кінця п'ятого тижня експерименту, сягаючи мінімального значення $164,67 \pm 4,12$ г при нормі $191,33 \pm 4,12$ г. у інтактних тварин. Упродовж наступних семи днів експерименту маса експериментальних тварин вже зростала, але на кінець шостого тижня залишалась нижчою, ніж у тварин контрольної групи.

У тварин, яким після 4-тижневої іммобілізації знімали пов'язку упродовж наступних двох тижнів маса різко зростала до $197,07 \pm 5,01$ г., перевищуючи норму, а у тварин, яким знімали пов'язку після 6-тижневої іммобілізації упродовж наступних двох тижнів маса тіла залишалась нижчою від норми і на завершення експерименту становила $180 \pm 3,42$ г.,

Результати проведеного гоніометричного дослідження переконливо засвідчили, що тривала іммобілізація вела до зменшення амплітуди пасивних

рухів в кульшовому суглобі, при цьому зниження амплітуди згинальних рухів було більше вираженим, ніж розгинальних.

Встановлено, що зменшення амплітуди рухів було пропорційним тривалості іммобілізації. Максимальне зниження показників амплітуди обох рухів фіксували через 6 тижнів вимушеної іммобілізації, коли величина кута згинання задньої кінцівки в кульшовому суглобі зменшувалась у порівнянні з нормою на 51-57%, к величина кута розгинання – на 9-10%.

Отримані дані також засвідчили, що після тривалої двосторонньої іммобілізації показники амплітуди рухів в кульшових суглобах були асиметричними [216, 217].

Особливе значення для клініки, на нашу думку, має встановлений факт про те, що зниження амплітуди рухів, зумовлене тривалою іммобілізацією, але такою, що не перевищує 6 тижнів є зворотнім, при цьому тривалість періоду відновлення об'єму та амплітуди визначуваних рухів є пропорційною тривалості іммобілізації.

Порівнюючи отримані результати з даними наукової літератури, зокрема, з опублікованими в роботі Цимбал ОС, Новакова ЛВ.(2024), вважаємо за необхідне наголосити, що результати наших досліджень засвідчують більш виражене зниження амплітуди згинальних рухів, хоча окремі літературні джерела вказують на швидшу і більш виражену атрофію м'язів розгиначів у порівнянні із згиначами [197]. На нашу думку збереження високих показників амплітуди розгинальних рухів в нашому експерименту зумовлене максимально розігнутим положенням кінцівки при накладанні іммобілізаційної пов'язки.

Хоча пасивні рухи не потребують активної участі скелетних м'язів, оскільки виконуються внаслідок дії зовнішньої сили, результати проведеного дослідження засвідчують, що стан м'язів, які забезпечують функціонування відповідного суглоба, також впливає на величину показників амплітуди доступних рухів. Цимбал ОС, Новакова ЛВ. (2024), Герцик А. (2016), Полковник-Маркова ВС.(2016) на підставі результатів своїх досліджень

стверджують, що блокування можливості суглоба забезпечити повну анатомічну амплітуду пасивного руху значною мірою зумовлене саме зниженням функціональної спроможності атрофованих м'язів [197, 201, 202].

Результати дослідження щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура в нормі і вивчення закономірностей її динаміки на тлі тривалої вимушеної іммобілізаційної гіподинамії та після її відміни дали змогу встановити, що досліджуваний показник у кожній ділянці був різним і мав різну динаміку упродовж експерименту [218-221].

Встановлено, що у інтактних тварин найвищою була щільність кісткової тканини в ділянці великого вертлюга, де становила $156, 80 \pm 8,49$ УОС, а найнижчою – $131, 28 \pm 6,25$ УОС – в ділянці шийки стегнової кістки. Щільність кісткової тканини в ділянці головки стегнової кістки становила $143, 92 \pm 6,06$ УОС, в проксимальній ділянці діафіза – $136, 32 \pm 7,53$ УОС.

Проведений аналіз особливостей динаміки щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки засвідчив, що в ділянках головки, шийки та великого вертлюга упродовж 6 тижнів іммобілізації показники щільності кісткової тканини був нижчими від норми і сягав мінімального значення наприкінці 6-го тижня експерименту.

Показник щільності кісткової тканини проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки упродовж 5-ти тижнів іммобілізації був вищим, ніж у тварин контрольної групи і тільки упродовж шостого тижня експерименту опускався до показників, нижчих від норми.

Через 6 тижнів вимушеної іммобілізації показник щільності кісткової тканини головки стегнової кістки був на 8,3% нижчим від норми, шийки – на 4,6%, великого вертлюга – 6,8%, проксимальної ділянки діафіза – на 2,1% [218-220].

Вивчення динаміки досліджуваного показника після відміни вимушеної іммобілізації дало змогу з'ясувати, що через 2 тижні після завершення 4-тижневої іммобілізації показники кісткової щільності зростали, залишаючись при цьому нижчими, ніж у інтактних тварин в ділянці великого

вертлюга (- 2,3%), та перевищуючи показники норми в проксимальній ділянці діафіза (+ 4,7%). Щільність кісткової тканини головки та шийки стегнової кістки у тварин даної експериментальної групи залишалась нижчою від норми на 0,8% та 0,2% відповідно.

Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації показники щільності кісткової тканини залишалися нижчими, ніж у тварин контрольної групи в усіх досліджуваних ділянках: в ділянці головки стегнової кістки – на 6,2%, шийки – на 3,2%, великого вертлюга – на 6,3% та в проксимальній ділянці діафіза стегнової кістки – на 0,9% [218-221].

Виявлені структурні особливості кісткової тканини щура, що можуть бути досліджені з використанням променевого методу, суттєво доповнюють існуючі дані щодо кількісних характеристик та співвідношення структурних компонентів кісткової тканини щура, з'ясовані та описані іншими дослідниками, зокрема Пилипенко ОВ, Шепітько ВІ.(2016)[227].

Проведений аналіз рентгенограм тазово-стегнової ділянки інтактних тварин та тварин, які увійшли до експериментальної групи дозволив встановити, що через 6 тижнів іммобілізації в ділянці кульшового суглоба візуалізуються ознаки розростання кісткових остеофітів, а кісткова тканина проксимальної частини стегнової кістки мала ознаки остеопорозу та остеосклерозу.

Виявлені зміни зберігались також на рентгенограмах досліджуваної ділянки у тварин через два тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації. У тварин з коротшими термінами іммобілізації (3, 4 і 5 тижнів) та через 2 тижні після завершення іммобілізації, тривалістю 4 тижні, жодних рентгенологічних змін у структурах кульшово-стегнової ділянки виявлено не було [222].

Через високу частоту травмування стегнової кістки та патологічних змін в кульшовому суглобі, результати вивчення динаміки якості кісткової тканини досліджуваних нами структур за умови вимушеної іммобілізаційної гіподинамії мають не тільки теоретичне, але й прикладне практичне значення.

Сучасна наукова медична література містить часто протилежні дані про вплив гіподинамії на стан кісток. Зокрема, праці Cao Y, et al. (2024), Chen Y, et al. (2024), Wang XS, et al. (2024) засвідчують наявність зв'язку між фізичною активністю та захворюваністю на остеопороз [2, 27, 116]. При цьому результати досліджень Gudmundsdóttir SL, et al. підтверджують, що малорухливий спосіб життя не є однозначною причиною зниження мінеральної щільності кісток та їх переломів [228]. Обидва твердження знаходять підтвердження в отриманих нами результатах проведеного дослідження, що засвідчують різну динаміку та різну вираженість зміни кісткової щільності в різних ділянках стегнової кістки на тлі вимушеної іммобілізації.

Важливим аспектом вивчення змін, які розвиваються в кістковій тканині на тлі вимушеної іммобілізації є, на нашу думку, дослідження її мінерального складу та з'ясування закономірностей його динаміки упродовж різних термінів експерименту [223-225].

Отримані нами результати проведеного аналізу мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура засвідчили наявність у її складі чотирьох мінеральних макроелементів (кальцію, фосфору, магнію, натрію) та двох мікроелементів (цинку та стронцію), вміст яких був виявлений у кількостях, можливих для визначення [223, 224].

Показники вмісту кальцію в кістковій тканині стегнової кістки інтактного щура становили $12,41 \pm 0,21$ мг/г, фосфору – $10,31 \pm 0,87$ мг/г, магнію – $2,34 \pm 0,36$ мг/г, натрію – $2,71 \pm 0,19$ мг/г, цинку – $0,32 \pm 0,04$ мг/г, та стронцію – $0,021 \pm 0,001$ мг/г.

Вивчення динаміки вмісту досліджуваних елементів в кістковій тканині експериментальних тварин дало змогу з'ясувати її особливості, характерні для кожного елемента.

Зокрема, було встановлено, що показники вмісту фосфору і магнію в кістковій тканині упродовж всього експерименту залишалися нижчими, ніж у інтактних тварин з мінімальними значеннями для фосфору ($8,95 \pm 0,48$ мг/г)

на п'ятий тиждень іммобілізації і для магнію ($1,04 \pm 0,15$ мг/г) – на шостий тиждень.

Показники вмісту натрію та стронцію упродовж всього експерименту залишались вищими, ніж у нормі, сягаючи максимальних значень для обох елементів до кінця п'ятого тижня вимушеної іммобілізації ($4,18 \pm 0,34$ мг/г для натрію та $0,031 \pm 0,002$ мг/г для стронцію).

Показники вмісту кальцію та цинку мали однакову динаміку – до кінця третього тижня експерименту вони опускалися до мінімальних значень ($11,32 \pm 0,42$ мг/г для кальцію та $0,28 \pm 0,02$ мг/г для цинку), а упродовж наступних термінів підвищувались і сягали максимальних значень на кінець шостого тижня вимушеної іммобілізації ($32,36 \pm 1,82$ мг/г для кальцію та $0,42 \pm 0,01$ мг/г для цинку) [223].

Було встановлено, що максимально наближеними до норми показники кальцію, магнію та стронцію були наприкінці четвертого тижня вимушеної іммобілізації, фосфору – наприкінці шостого тижня, натрію – наприкінці третього тижня та цинку – упродовж четвертого та п'ятого тижнів експерименту.

Вивчення змін мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки щура через два тижні після відміни вимушеної чотиритижневої та шеститижневої іммобілізації дало змогу встановити характерні для тварин кожної групи особливості постіммобілізаційної динаміки кожного з досліджуваних мінеральних елементів. Зокрема, було з'ясовано, що через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації вміст кальцію становив $12,34 \pm 0,42$ мг/г, істотно не відрізняючись від норми, вміст фосфору – $10,18 \pm 0,46$ мг/г, відрізняючись від норми на -1,3%, вміст магнію – $2,21 \pm 0,04$ мг/г, відрізняючись від показника інтактних тварин на -5,5%, вміст натрію – $2,89 \pm 0,12$ мг/г, залишаючись вищим від норми на 6,6%, вміст цинку та стронцію повертався до показників норми ($0,32 \pm 0,04$ мг/г та $0,021 \pm 0,001$ мг/г відповідно).

Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації зміни в мінеральному складі кісткової тканини стегнової кістки щура були виражені більш істотно як у порівнянні з нормою, так і з показниками тварин, у яких іммобілізація тривала 4 тижні.

Вмісту кальцію через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації перевищував норму на 120% і становив $27,31 \pm 1,36$ мг/г, вміст фосфору відрізнявся від норми на -4% і складав $9,92 \pm 0,53$ мг/г, вміст магнію становив $1,47 \pm 0,10$ мг, і був на 37% нижчим, ніж у інтактних тварин, вміст натрію становив $3,42 \pm 0,26$ мг/г, перевищуючи норму на 26%, вміст цинку сягав $0,38 \pm 0,02$ мг/г і перевищував норму на 19%, а вміст стронцію становив $0,023 \pm 0,001$ мг/г, залишаючись при цьому на 9,5% вищим, ніж у інтактних тварин [223, 224].

Отримані результати дослідження мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки щура упродовж різних термінів проведеного експерименту дозволили встановити критичні періоди максимальної різниці показників кожного з досліджуваних елементів з показниками норми.

Встановлено, що для кальцію, магнію та цинку таким критичним періодом є шостий тиждень експерименту, до кінця якого показники кальцію та цинку суттєво перевищують норму, а показник магнію опускається до мінімального рівня. Критичним періодом для фосфору та стронцію є п'ятий тиждень експерименту, коли показник вмісту фосфору в кістковій тканині сягає мінімального рівня, а вміст стронцію в кістковій тканині є максимальним.

Порівняння мінерального складу кісткової тканини експериментальних тварин з різними фоновими патологіями засвідчило виражену динаміку вмісту в кістковій тканині експериментальних тварин мінеральних елементів, яка була різною у тварин з експериментальною гіперглікемією, наркотичною залежністю та тривалою іммобілізацією, що, на нашу думку, необхідно брати до уваги при розпрацюванні протоколів корекції кісткової патології [225].

Підтверджуючи наявність вираженої динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки щура, а також зміни абсолютних показників вмісту в ній досліджуваних макро- та мікроелементів на тлі експериментальної гіподинамії, результати наших досліджень суттєво доповнюють і розширюють наявні літературні дані щодо структурної перебудови та функціональних змін кісткової тканини людини та експериментальних тварин при тривалих змінах фізичної активності, зокрема – при її вимушеному зниженні [12-14, 228-232].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі подано теоретичне узагальнення та нове вирішення актуального наукового завдання, що полягає у з'ясуванні закономірностей динаміки кількісних та якісних характеристик кісткової тканини стегнової кістки та амплітуди рухів у кульшовому суглобі щура на тлі тривалої експериментальної іммобілізаційної гіподинамії та після її завершення.

1. Тривала іммобілізація крижово-тазової ділянки та задніх кінцівок експериментальних тварин гіпсовою пов'язкою по типу кокситної (з укріпленням металевим дротом), з повним обмеженням рухів у кульшових та колінних суглобах веде до вимушеної гіподинамії та спричиняє фізичні зміни і поведінкові порушення у експериментальних тварин. Упродовж перших трьох тижнів експерименту тварини були малорухомими, але активно працювали передніми кінцівками. В поведінці спостерігали елементи агресії. У тварин, які 6 тижнів жили з іммобілізаційною пов'язкою спостерігали підвищення апетиту та зниження охайності

2. Маса експериментальних тварин знижувалась до кінця 5-го тижня експерименту, сягаючи мінімального значення $164,67 \pm 4,12$ г при нормі $191,33 \pm 4,12$ г. у інтактних тварин. Та залишалась нижчою, ніж у тварин контрольної групи до кінця експерименту. Через 2 тижні після завершення 4-тижневої іммобілізації маса експериментальних тварин різко зростала до $197,07 \pm 5,01$ г., перевищуючи норму, через 2 тижні після завершення 6-тижневої іммобілізації – сягала $180 \pm 3,42$, залишаючись нижчою від норми.

3. На тлі тривалої іммобілізації зменшувалась амплітуда пасивних рухів в кульшовому суглобі, при цьому зниження амплітуди згинальних рухів було більше вираженим, ніж розгинальних. Зменшення амплітуди рухів було пропорційним тривалості іммобілізації. Максимальне зниження показників амплітуди обох рухів фіксували через 6 тижнів вимушеної іммобілізації, коли величина кута згинання задньої кінцівки в кульшовому суглобі

зменшувалась у порівнянні з нормою на 51-57%, а величина кута розгинання – на 9-10%.

4. Щільність кісткової тканини є різною в різних ділянках стегнової кістки і становить в ділянці головки $143, 92 \pm 6,06$ УОС, в ділянці шийки $131, 28 \pm 6,25$ УОС, в ділянці великого вертлюга $156, 80 \pm 8,49$ УОС та в проксимальній ділянці діафіза $136, 32 \pm 7,53$ УОС. Вимушена 6-тижнева іммобілізація веде до виражених змін показників щільності кісткової тканини різних ділянок стегнової кістки щура. Динаміка щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної вимушеної гіподинамії є різною в різних ділянках.

5. В ділянках головки, шийки та великого вертлюга упродовж 6-ти тижнів іммобілізації показники щільності кісткової тканини є нижчими від норми і сягають мінімального значення наприкінці 6-го тижня експерименту. Показник щільності кісткової тканини проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки упродовж 5-ти тижнів іммобілізації є вищим, ніж у тварин контрольної групи, на кінець 6-го тижня експерименту є нижчим від норми. Через 6 тижнів вимушеної іммобілізації показник щільності кісткової тканини головки стегнової кістки є на 8,3% нижчим від норми, шийки – на 4,6%, великого вертлюга – на 6,8%, проксимальної ділянки діафіза – на 2,1%.

6. Через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації показники кісткової щільності зростають, залишаючись при цьому нижчими, ніж у інтактних тварин в ділянці великого вертлюга на 2,3%, та перевищуючи показники норми в проксимальній ділянці діафіза на 4,7%. Щільність кісткової тканини головки та шийки стегнової кістки є нижчою від норми на 0,8% та 0,2% відповідно. Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації показники щільності кісткової тканини залишаються нижчими, ніж у тварин контрольної групи в ділянці головки на 6,2%, шийки – на 3,2%, великого вертлюга – на 6,3% та проксимальної ділянки діафіза стегнової кістки на 0,9%.

7. Проведений аналіз мінерального складу кісткової тканини стегнової кістки інтактного щура засвідчив наявність у її складі кальцію ($41 \pm 0,21$ мг/г), фосфору ($10,31 \pm 0,87$ мг/г), магнію ($2,34 \pm 0,36$ мг/г), натрію ($2,71 \pm 0,19$ мг/г), цинку ($0,32 \pm 0,04$ мг/г), та стронцію ($0,021 \pm 0,001$ мг/г).

8. Показники вмісту фосфору і магнію в кістковій тканині упродовж всього експерименту залишалися нижчими, ніж у інтактних тварин з мінімальними значеннями для фосфору ($8,95 \pm 0,48$ мг/г) на 5-й тиждень іммобілізації і для магнію ($1,04 \pm 0,15$ мг/г) – на 6-й тиждень. Показники вмісту натрію та стронцію упродовж всього експерименту залишаються вищими, ніж у нормі, сягаючи максимальних значень для обох елементів до кінця 5-го тижня ($4,18 \pm 0,34$ мг/г для натрію та $0,031 \pm 0,002$ мг/г для стронцію). Показники вмісту кальцію та цинку мають однакову динаміку – до кінця 3-го тижня експерименту опускаються до мінімальних значень ($11,32 \pm 0,42$ мг/г для кальцію та $0,28 \pm 0,02$ мг/г для цинку), а упродовж наступних термінів підвищуються і сягають максимальних значень на кінець 6-го тижня ($32,36 \pm 1,82$ мг/г для кальцію та $0,42 \pm 0,01$ мг/г для цинку).. Максимально наближеними до норми показники кальцію, магнію та стронцію були наприкінці 4-го тижня, фосфору – наприкінці 6-го тижня, натрію – наприкінці 3-го тижня та цинку – упродовж 4-го та 5-го тижнів експерименту.

9. Через 2 тижні після відміни 4-тижневої іммобілізації вміст кальцію становив $12,34 \pm 0,42$ мг/г, істотно не відрізняючись від норми, вміст фосфору – $10,18 \pm 0,46$ мг/г, відрізняючись від норми на $-1,3\%$, вміст магнію – $2,21 \pm 0,04$ мг/г, відрізняючись від показника інтактних тварин на $-5,5\%$, вміст натрію – $2,89 \pm 0,12$ мг/г, залишаючись вищим від норми на $6,6\%$, вміст цинку та стронцію повертався до показників норми ($0,32 \pm 0,04$ мг/г та $0,021 \pm 0,001$ мг/г відповідно). Через 2 тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації зміни в мінеральному складі кісткової тканини стегнової кістки щура були виражені більш істотно. Вміст кальцію становив $27,31 \pm 1,36$ мг/г (вище норми на 120%), вміст фосфору – $9,92 \pm 0,53$ мг/г (нижче норми на 4%), магнію – $1,47 \pm 0,10$ мг (на 37% нижче норми), натрію – $3,42 \pm 0,26$ мг/г

(на 26% вище норми), цинку – $0,38 \pm 0,02$ мг/г (на 19% вище норми), стронцію – $0,023 \pm 0,001$ мг/г (на 9,5% вище норми).

10. Зниження амплітуди рухів, зумовлене тривалою іммобілізацією є зворотнім. Щільність кісткової тканини та її мінеральний склад через 2 тижні після завершення тривалої іммобілізації зберігають різницю з нормою, характерну для кожного з досліджуваних показників. Тривалість періоду відновлення є пропорційною тривалості іммобілізації. Через 6 тижнів іммобілізації рентгенологічно було виявлено прояви незворотніх зміни: в ділянці кульшового суглоба візуалізувались ознаки розростання кісткових остеофітів, а кісткова тканина проксимальної частини стегнової кістки мала ознаки остеопору та остеосклерозу. Виявлені зміни зберігались також на рентгенограмах тварин через два тижні після відміни 6-тижневої іммобілізації. У тварин з коротшими термінами іммобілізації (3, 4 і 5 тижнів) жодних рентгенологічних змін у структурах кульшово-стегнової ділянки виявлено не було.

11. При істотному відновленні амплітуди рухів у кульшовому суглобі після завершення експериментальної гіподинамії, якість та мінеральний склад кісткової тканини через два тижні після шеститижневої іммобілізації зберігають істотну різницю з аналогічними показниками у інтактних тварин, що засвідчує необхідність більш тривалої реабілітації з урахуванням необхідності корекції мінерального складу кісткової тканини з метою відновлення її якісних характеристик і механічних властивостей.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Отримані нові дані щодо динаміки, глибини та зворотності змін, які розвиваються на тлі вимушеної іммобілізації в іммобілізованих суглобах, а також в структурі та мінеральному складі кісткової тканини суміжних з ними кісток необхідно брати до уваги при плануванні та проведенні реабілітаційних заходів, спрямованих на забезпечення ефективної корекції виявлених змін у кістковій тканині пацієнтів відповідної категорії

2. Отримані результати доцільно використовувати як морфологічну, рентгенанатомічну та хімічну базу для вивчення патології кісткової тканини, а також для дослідження перебігу її розвитку за умов впливів зовнішніх чинників, зокрема – пов'язаних з руховою активністю та фізичними навантаженнями.

3. У клініці травматології та ортопедії отримані результати проведеного морфологічного дослідження можуть стати теоретичним підґрунтям для напрацювання нових ефективних методів профілактики та ранньої діагностики патологічних станів кісткової тканини при вимушеній тривалій іммобілізації.

4. Результати проведеного дослідження щодо мінерального складу та щільності кісткової тканини та їх динаміки упродовж тривалої іммобілізації і після її завершення рекомендовані до використання в навчальному процесі кафедр морфологічного профілю, травматології та ортопедії, геронтології, реабілітології, а також при написанні монографій, підручників та навчальних посібників з цих дисциплін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bourke E, Rawstorn J, Maddison R, Blakely T. The effects of physical inactivity on other risk factors for chronic disease: A systematic review of reviews. *Prev Med Rep.* 2024;46:102866. DOI: 10.1016/j.pmedr.2024.102866.
2. Chen Y, Yu J, Li W, Wang L, Zhou X, Zhuang C, et al. Potential causal association between leisure sedentary behaviors and osteoporosis: A two-sample Mendelian randomization analysis. *Medicine (Baltimore).* 2024;103(12):e37467. DOI: 10.1097/MD.00000000000037467
3. Черниченко ІО, Баленко НВ, Литвиченко ОМ, Бабій ВФ, Кондратенко ОЄ, Главачек ДО. Хімічне забруднення атмосферного повітря і сучасна політика щодо його якості на міжнародному рівні та у провідних країнах світу (огляд літератури та нормативних даних). *Довкілля та здоров'я.* 2023;(1):135-142. DOI: <https://doi.org/10.32402/dovkil2023.01.035>
4. Бази́ка ДА, Бру́слова КМ, Ля́шенко ЛО, Пушкарьова ТІ, Цвєткова НМ, Зайцева АЛ, та ін. Вплив заліза на процеси метаболізму в кістковій тканині та функцію щитоподібної залози у дітей, які живуть на радіоактивно забруднених територіях після аварії на ЧАЕС. В: Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of Radiation Medicine and Radiobiology : збірник наукових праць. Київ; 2022. Вип. 27. с. 264-275.
5. Бази́ка ДА, Бру́слова КМ, Ля́шенко ЛО, Цвєткова НМ, Пушкарьова ТІ, Галкіна СГ, та ін. Чинники, які впливають на механізми формування підвищеної щільності кісткової тканини у дітей, жителів радіоактивно забруднених територій, після аварії на ЧАЕС. В: Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of Radiation Medicine and Radiobiology : збірник наукових праць. Київ; 2022. Вип. 27. с. 276-289.
6. Адамович ОО, Сафонов АС, Кривецький ВВ, Кордіяк ОЙ, Согуйко РР, Пальтов ЄВ, та ін. Порівняльний аналіз змін щільності та

мінерального складу кісткової тканини на тлі експериментального цукрового діабету та тривалого опіюючого впливу. [Український радіологічний та онкологічний журнал](#). 2021;29(4):39-47.

7. Залюбовская ОІ, Трифонова НС, Крапівко СО, Наріжна АВ. Стан мінерального обміну та метаболічної функції кісткової тканини у хворих на цукровий діабет в поєднанні з ожирінням. [Проблеми ендокринної патології](#). 2021;(2):19-26.

8. Fayad I, Pinti A, Zouhal H, El Hage R. Sprinting performance correlates with composite indices of femoral neck strength in middle-aged active men. *J Clin Densitom*. 2025;28(3):101586. DOI: 10.1016/j.jocd.2025.101586.

9. Guo C, Dai T, Zhang H, Luo M, Gao J, Feng X. Effect of resistance training on body composition and physical function in older females with sarcopenic obesity-a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Aging Neurosci*. 2025;17:1495218. DOI: 10.3389/fnagi.2025.1495218.

10. Jeng B, Motl RW. Is sedentary behavior associated with body composition in multiple sclerosis? *Mult Scler Relat Disord*. 2024;92:105922. DOI: 10.1016/j.msard.2024.105922.

11. Cieplińska J, Kopiczko A. Bone mineral density and body composition in Polish girls with Myelomeningocele: effects of adapted physical activity and past fractures. *Homo*. 2021 Jun 25;72(2):149-157. DOI: 10.1127/homo/2021/1357.

12. Dalla Via J, Duckham RL, Peake JM, Kukuljan S, Nowson CA, Daly RM. Circulating Levels of Inflammation and the Effect on Exercise-Related Changes in Bone Mass, Structure and Strength in Middle-Aged and Older Men. *Calcif Tissue Int*. 2019 Jan;104(1):50-58. DOI: 10.1007/s00223-018-0475-4.

13. Savikangas T, Suominen TH, Alén M, Rantalainen T, Sipilä S. Changes in femoral neck bone mineral density and structural strength during a 12-month multicomponent exercise intervention among older adults – Does accelerometer-measured physical activity matter?. *Bone*. 2024 Jan;178:116951. DOI: 10.1016/j.bone.2023.116951.

14. Stapledon CJM, Stamenkov R, Cappai R, Clark JM, Bourke A, Bogdan Solomon L, et al. Relationships between the Bone Expression of Alzheimer's Disease-Related Genes, Bone Remodelling Genes and Cortical Bone Structure in Neck of Femur Fracture. *Calcif Tissue Int.* 2021 May;108(5):610-621. DOI: 10.1007/s00223-020-00796-y.
15. Zaia A, Rossi R, Galeazzi R, Sallei M, Maponi P, Scendoni P. Fractal lacunarity of trabecular bone in vertebral MRI to predict osteoporotic fracture risk in over-fifties women. The LOTO study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Jan 23;22(1):108. DOI: 10.1186/s12891-021-03966-7.
16. Zimmermann EA, Fiedler IAK, Busse B. Breaking new ground in mineralized tissue: Assessing tissue quality in clinical and laboratory studies. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021 Jan;113:104138. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2020.104138.
17. Масна ЗЗ, Адамович ОП, Челпанова ІВ, Генік ІД, Рудницька ХІ. Мінеральна щільність як універсальний біомаркер якості кісткової тканини в стоматологічній практиці. Актуальні проблеми профілактичної медицини. 2023;(25):131-135. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-9067-2023-25-14>
18. Масна ЗЗ, Челпанова ІВ, Амбарова НО, Масна-Чала ОЗ, Чалий ІТ. Динаміка перебігу різних видів посттравматичної регенерації кісткової тканини нижньої щелепи за даними рентгенографії. *Morphologia [Інтернет].* 2023;17(3):81-86. Доступно: <http://morphology.dma.dp.ua/article/view/325983/315863>. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2023.3.81-86>
19. Shah FA. Revisiting the physical and chemical nature of the mineral component of bone. *Acta Biomater.* 2025;196:1-16. DOI: 10.1016/j.actbio.2025.01.055.
20. Taylor EA, Mileti CJ, Ganesan S, Kim JH, Donnelly E. Measures of Bone Mineral Carbonate Content and Mineral Maturity/Crystallinity for FT-IR and Raman Spectroscopic Imaging Differentially Relate to Physical-Chemical

Properties of Carbonate-Substituted Hydroxyapatite. *Calcif Tissue Int.* 2021 Jul;109(1):77-91. DOI: 10.1007/s00223-021-00825-4.

21. Масна ЗЗ, Челпанова ІВ, Геник ІД, Масна-Чала ОЗ, Рудницька ХІ. Порівняння мінерального складу кісткової тканини щелеп осіб різної статі зралою віку. *Актуальні проблеми профілактичної медицини.* 2023;(26):91-97.

22. Челпанова І, Масна З, Амбарова Н. Динаміка вмісту мінеральних елементів у кістковій тканині нижньої щелепи експериментальних тварин упродовж загоєння штучного дефекту, заповненого октакальційфосфатом. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка. Медичні науки.* 2024,76(2):100-113. DOI: 10.25040/ntsh2024.02.06

23. Aștilean Perteana AN, Dreancă A, Gog-Bogdan S, Sevastre B, Ungur A, Negoescu A, et al. Bone proliferation in osteoporotic experimental animals using alginate-pullulan-bioactive glass-gold nanoparticles composite. *Bone.* 2025;194:117439. DOI: 10.1016/j.bone.2025.117439.

24. Kassey VB, Walle M, Yeritsyan D, Kassey DV, Wu Y, Snyder BD, et al. Using solid-state MRI and a double-tuned RF coil to quantify bone matrix and mineral densities in rat bones. *J Magn Reson.* 2025;378:107925. DOI: 10.1016/j.jmr.2025.107925.

25. Костишин Н. Мінеральна щільність великогомілкової кістки за умови моделювання глюкокортикоїд-індукованого остеопорозу та впливу загальної вібрації: експериментальне дослідження. *Буковинський медичний вісник.* 2021;25(2):62-67. DOI: 10.24061/2413-0737.XXV.2.98.2021.10

26. Cao Y, Hu Y, Lei F, Zhang X, Liu W, Huang X, et al. Associations between leisure-time physical activity and the prevalence and incidence of osteoporosis disease: Cross-sectional and prospective findings from the UK biobank. *Bone.* 2024;187:117208. DOI: 10.1016/j.bone.2024.117208.

27. Kopiczko A, Bałdyka J, Adamczyk JG, Nyrć M, Gryko K. Association between long-term exercise with different osteogenic index, dietary patterns, body composition, biological factors, and bone mineral density in female elite masters athletes. *Sci Rep.* 2025;15(1):9167. DOI: 10.1038/s41598-025-93891-9

28. Ігнат'єв ОМ, Ермоленко ТО, Турчин МІ, Пан'юта ОІ, Прутіян ТЛ. Маркери метаболізму кісткової тканини. Вісник морської медицини. 2020;(2):127-148.
29. Кузняк НБ, Бойцанюк СІ, Суховолець ІО. Використання біохімічних маркерів кісткового метаболізму в стоматології. Клінічна стоматологія. 2015;(1):99-104.
30. Chun BJ, Jang IG. Determination of the representative static loads for cyclically repeated dynamic loads: a case study of bone remodeling simulation with gait loads. *Comput Methods Programs Biomed.* 2021 Mar;200:105924. DOI: 10.1016/j.cmpb.2020.105924.
31. Челпанова ІВ. Структурно-функціональні особливості кісткової тканини та їх значення для остеорегенерації. *Morphologia* [Інтернет]. 2025;19(1):13-22. Доступно: <http://morphology.dma.dp.ua/article/view/326405/316224>. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.1.13-22>
32. Pang S, Schwarcz HP, Jasiuk I. Interfacial bonding between mineral platelets in bone and its effect on mechanical properties of bone. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021 Jan;113:104132. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2020.104132.
33. Pang S, Su FY, Green A, Salim J, McKittrick J, Jasiuk I. Comparison of different protocols for demineralization of cortical bone. *Sci Rep.* 2021 Mar 29;11(1):7012. DOI: 10.1038/s41598-021-86257-4.
34. Ahn T, Gidley DW, Thornton AW, Wong-Foy AG, Orr BG, Kozloff KM, et al. Hierarchical Nature of Nanoscale Porosity in Bone Revealed by Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy. *ACS Nano.* 2021 Mar 23;15(3):4321-4334. DOI: 10.1021/acsnano.0c07478.
35. Milazzo M, David A, Jung GS, Danti S, Buehler MJ. Molecular origin of viscoelasticity in mineralized collagen fibrils. *Biomater Sci.* 2021 May 4;9(9):3390-3400. DOI: 10.1039/d0bm02003f.
36. Fan F, Cai X, Follet H, Peyrin F, Laugier P, Niu H, et al. Cortical bone viscoelastic damping assessed with resonant ultrasound spectroscopy reflects

porosity and mineral content. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021 May;117:104388. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104388.

37. Ошурко АП, Олійник ІЮ, Грищук ГВ. Перспективи вивчення якісних та кількісних характеристик кісткової тканини плодів людини комбінованими та гібридними методами дослідження. *Вісник проблем біології і медицини.* 2018;1(2):43-48.

38. Павлів ХІ, Масна ЗЗ, Масна-Чала ОЗ, Габа МЄ, Челпанова ІВ. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини щелеп у дітей різного віку. В: *Збірник тез доповідей VII Конгресу наукового товариства анатомів, гістологів, ембріологів, топографоанатомів України; 2019 Жовт 2-4; Одеса. Одеса; 2019. с.119.*

39. Шаравар МЄ. Особливості будови та функцій опорно-рухового апарату людини в різні вікові періоди. В: *Матеріали Всеукр. студ. наук.-практ. конф. (для молодих науковців, студентів, магістрантів, аспірантів). Сучасні досягнення природничих наук; 2020 Квіт 29-30; Полтава. Полтава; 2020. с. 336.*

40. Корж МО, Воронцов ПМ, Ашукіна НО, Мальцева ВЄ. Вікові аспекти регенерації кістки (огляд літератури). *Ортопедія, травматологія та протезування.* 2021;(3):92-100. DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872021392-100>

41. Chandra A, Rajawat J. Skeletal Aging and Osteoporosis: Mechanisms and Therapeutics. *Int J Mol Sci.* 2021 Mar 29;22(7):3553. DOI: 10.3390/ijms22073553.

42. Aldegaither N, Sernicola G, Mesgarnejad A, Karma A, Balint D, Wang J, et al. Fracture toughness of bone at the microscale. *Acta Biomater.* 2021 Feb;121:475-483. DOI: 10.1016/j.actbio.2020.12.007.

43. Михайлова БА, Бобро ЛМ. Оцінка впливу цукрового діабету на стан кісткового метаболізму. In: *International Scientific innovations in human life : Proceedings of V International Scientific and Practical Conference; 2021 Nov 17-19; Manchester. Manchester; 2021. p. 164-167.*

44. Тітова ЮО, Кравчун НО. Особливості мінеральної щільності кісткової тканини у хворих на цукровий діабет 2 типу у поєднанні з неалкогольною жировою хворобою печінки. Проблеми ендокринної патології. 2018;(1):49-55. DOI: <https://doi.org/10.21856/j-PEP.2018.1.06>
45. Cortet B, Lucas S, Legroux-Gerot I, Penel G, Chauveau C, Raccou J. Bone disorders associated with diabetes mellitus and its treatments. *Joint Bone Spine*. 2019 May;86(3):315-320. DOI: 10.1016/j.jbspin.2018.08.002.
46. Dixit M, Liu Z, Poudel SB, Yildirim G, Zhang YZ, Mehta S, et al. Skeletal Response to Insulin in the Naturally Occurring Type 1 Diabetes Mellitus Mouse Model. *JBMR Plus*. 2021 Mar 17;5(5):e10483. DOI: 10.1002/jbm4.10483.
47. Hu P, McKenzie JA, Buettmann EG, Migotsky N, Gardner MJ, Silva MJ. Type 1 diabetic Akita mice have low bone mass and impaired fracture healing. *Bone*. 2021 Jun;147:115906. DOI: 10.1016/j.bone.2021.115906.
48. Joseph TV, Caksa S, Misra M, Mitchell DM. Hip Structural Analysis Reveals Impaired Hip Geometry in Girls With Type 1 Diabetes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2020 Dec 1;105(12):e4848- e4856. DOI: 10.1210/clinem/dgaa647.
49. Sewing L, Potasso L, Baumann S, Schenk D, Gazozcu F, Lippuner K, et al. Bone Microarchitecture and Strength in Long-Standing Type 1 Diabetes. *J Bone Miner Res*. 2022 May;37(5):837-847. DOI: 10.1002/jbmr.4517.
50. Андруша АБ. Механізми впливу цукрового діабету 1 типу та гіперурикемії на стан кісткової тканини у пацієнтів молодого віку. В: Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю Ендокринна патологія у віковому аспекті; 2018 Лист 22-23; Харків. Харків; 2018. с. 13-14.
51. Mitchell A, Larsson SC, Fall T, Melhus H, Michaëlsson K, Byberg L. Fasting glucose, bone area and bone mineral density: a Mendelian randomisation study. *Diabetologia*. 2021 Jun;64(6):1348-1357. DOI: 10.1007/s00125-021-05410-w.
52. Shitole P, Choubey A, Mondal P, Ghosh R. Influence of low dose naltrexone on Raman assisted bone quality, skeletal advanced glycation end-

products and nano-mechanical properties in type 2 diabetic mice bone. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2021 Apr;123:112011. DOI: 10.1016/j.msec.2021.112011.

53. Sihota P, Yadav RN, Dhaliwal R, Bose JC, Dhiman V, Neradi D, et al. Investigation of Mechanical, Material, and Compositional Determinants of Human Trabecular Bone Quality in Type 2 Diabetes. *J Clin Endocrinol Metab.* 2021 Apr 23;106(5):e2271-e2289. DOI: 10.1210/clinem/dgab027.

54. Napoli N, Incalzi RA, De Gennaro G, Marcocci C, Marfella R, Papalia R, et al. Bone fragility in patients with diabetes mellitus: A consensus statement from the working group of the Italian Diabetes Society (SID), Italian Society of Endocrinology (SIE), Italian Society of Gerontology and Geriatrics (SIGG), Italian Society of Orthopaedics and Traumatology (SIOT). *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2021 May 6;31(5):1375-1390. DOI: 10.1016/j.numecd.2021.01.019.

55. Madeira E, Madeira M, Guedes EP, Mafort TT, Moreira RO, de Mendonça LMC, et al. Impact of Weight Loss With Intra-gastric Balloon on Bone Density and Microstructure in Obese Adults. *J Clin Densitom.* 2019 Apr-Jun;22(2):279-286. DOI: 10.1016/j.jocd.2017.12.002.

56. Yuan X, Zhu W, Hao Z, Li J, Zhang T, Li W, et al. Characteristics of changes in bone mineral density and body composition in obesity patients after metabolic and bariatric surgery: A prospective cohort study. *Diabetes Obes Metab.* 2025 Sep;27(9):4968-4977. DOI: 10.1111/dom.16543.

57. Suttho D, Apibantaweesakul S, Soponputthaporn J, Hemapaibun S, Santipongphibool M, Tengcharoenkul C. Relationships among Physical Activity Bone Mineral Density and Body Composition in Obese and Athletes. *J Bone Metab.* 2024;31(4):326-334. DOI: 10.11005/jbm.24.791.

58. Maïmoun L, Renard E, Humbert L, Aouinti S, Mura T, Boudousq V, et al. Modification of bone mineral density, bone geometry and volumetric BMD in young women with obesity. *Bone.* 2021 Sep;150:116005. DOI: 10.1016/j.bone.2021.116005.

59. Матюха ЛФ, Гриб НВ. (). Остеопороз як прояв дефіциту вітаміну D. Методи профілактики та корекції. В: Збірник наукових праць співробітників НМАПО ім. П. Л. Шупика. Київ; 2019. Вип. 34. с. 193-201.
60. Liu J, Kim EK, Ni A, Kim YR, Zheng F, Lee BS, et al. Multiscale characterization of ovariectomized rat femur. *J Biomech.* 2021 Jun 9;122:110462. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2021.110462.
61. Kaur M, Kaur R. Association between Body Composition Characteristics and Bone Mineral Density across Menopausal Transition Stages. *J Menopausal Med.* 2025;31(1):12-20. DOI: 10.6118/jmm.24021.
62. Пилипчук ІС. Остеопоротичні зміни кісткової та хрящової тканини у жінок з гіпофункцією яєчників. Вісник Вінницького національного медичного університету. 2021;25(4):657-662. DOI: 10.31393/reports-vnmedical-2021-25(4)-26
63. Амосова КМ, Нішкумай ОІ, Лазарева КП, Мостбауер ГВ, Лазарєв ПО, Руденко ЮВ. Вплив терапії вторинного гіперпаратиреозу на показники пульсової хвилі та мінеральної щільності кісткової тканини у пацієнток похилого віку з неускладненою артеріальною гіпертензією. *Серце і судини.* 2019;(1):13-22. DOI: <http://doi.org/10.30978/HV2019-1-13>
64. Стойка ВВ. Мінеральна щільність та метаболізм кісткової тканини у разі тиреотоксикозу. В: Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Медицина. Ужгород; 2022. Вип. 1. с. 44-48. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8127.2022.65.8>
65. Messina OD, Vidal LF, Wilman MV, Bultink IEM, Raterman HG, Lems W. Management of glucocorticoid-induced osteoporosis. *Aging Clin Exp Res.* 2021 Apr;33(4):793-804. DOI: 10.1007/s40520-021-01823-0.
66. Pereira RMR, Perez MO, Paula AP, Moreira C, Castro CHM, Zerbini CAF, et al. Guidelines for the prevention and treatment of glucocorticoid-induced osteoporosis: an update of Brazilian Society of Rheumatology (2020). *Arch Osteoporos.* 2021 Mar 1;16(1):49. DOI: 10.1007/s11657-021-00902-z.

67. Іваницький І, Шилкіна Л. Вираженість остеопенічних змін в залежності від ступеню фіброзу печінки. Молодий вчений. 2018;(10):470-472.
68. Мялюк ОП, Марущак МІ, Баб'як ОВ, Сабадишин РО, Палапа ВВ. (). Остеопороз у разі хронічних захворювань печінки: патогенез, діагностика та лікування. Одеський медичний журнал. 2023;(3):84-88.
69. Ткаченко ТВ, Пентюк НО, Пентюк ЛО, Томашкевич ПІ. Остеопороз у хворих на хронічні захворювання печінки: патогенез, діагностика та лікування. Буковинський медичний вісник. 2023;27(2):53-59.
70. Іванова КВ. Динаміка показників ремодулювання, резорбції кісткової тканини та ліпідного профілю крові у хворих на ішемічну хворобу серця залежно від індексу маси тіла. В: Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної медичної конференції Сучасна медицина: тенденції та перспективи розвитку; 2018 Лип 9; Жешув. Жешув; 2018. с. 91-94.
71. Kahnert K, Jörres RA, Lucke T, Trudzinski FC, Mertsch P, Bickert C, et al. Lower Prevalence of Osteoporosis in Patients with COPD Taking Anti-Inflammatory Compounds for the Treatment of Diabetes: Results from COSYCONET. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2021 Nov 24;16:3189-3199. DOI: 10.2147/COPD.S335029.
72. Shen L, Lv J, Li J, Zhou J, Wang X. Managing Osteoporosis in COPD. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*. 2024;24(8):896-901. DOI: 10.2174/1871530323666230913105752.
73. Чаплинська НВ, Рудник ВТ. Вторинний остеопороз у хворих на хронічне обструктивне захворювання легень. *Галицький лікарський вісник*. 2019;26(1):39-41. DOI: 10.21802/gmj.2019.1.6
74. Jørgensen HS, David K, Salam S, Evenepoel P, European Renal Osteodystrophy (EUROD) workgroup, an initiative of the CKD-MBD working group of the ERA-EDTA. Traditional and Non-traditional Risk Factors for Osteoporosis in CKD. *Calcif Tissue Int*. 2021 Apr;108(4):496-511. DOI: 10.1007/s00223-020-00786-0.

75. Дудар СЛ. Переломи кісток у хворих на хронічну хворобу нирок. Український журнал нефрології та діалізу. 2021;(3):88-96. DOI: 10.31450/ukrjnd.3(71).2021.10
76. Pazianas M, Miller PD. Osteoporosis and Chronic Kidney Disease-Mineral and Bone Disorder (CKD-MBD): Back to Basics. *Am J Kidney Dis.* 2021 Oct;78(4):582-589. DOI: 10.1053/j.ajkd.2020.12.024.
77. Pothula Venkata V, Scialla JJ. Momentum toward patient outcome trials in chronic kidney disease-mineral bone disorder. *Curr Opin Nephrol Hypertens.* 2025;34(4):304-313. DOI: 10.1097/MNH.0000000000001087
78. Горішний ІМ, Горішний МІ, Мочульська ОМ, Черноמידз ІБ, Синовєрська ОБ. Дослідження стану кісткової тканини в дітей із хронічним гастродуоденітом. *Актуальні питання педіатрії, акушерства та гінекології.* 2019;(1):15-18.
79. Kaur S, Nimmala S, Singhal V, Mitchell DM, Pedreira CC, Lauze M, et al. Bone changes post-sleeve gastrectomy in relation to body mass and hormonal changes. *Eur J Endocrinol.* 2023 Sep 1;189(3):346-354. DOI: 10.1093/ejendo/lvad121. PMID: 37633255.
80. Марушко ТВ, Голубовська ЮЄ. Забезпеченість вітаміном D та мінеральна щільність кісткової тканини у хворих на ювенільний ревматоїдний артрит. *Здоров'я дитини.* 2019;14(1):13-18. DOI: 10.22141/2224-0551.14.1.2019.157873
81. Wysham KD, Baker JF, Shoback DM. Osteoporosis and fractures in rheumatoid arthritis. *Curr Opin Rheumatol.* 2021 May 1;33(3):270-276. DOI: 10.1097/BOR.0000000000000789.
82. Zheng X, Qi Y, Zhou H, Kang H, Tong Y, Bi L. Bone Mineral Density at the Distal Femur and Proximal Tibia and Related Factors During the First Year of Spinal Cord Injury. *Int J Gen Med.* 2021 Mar 26;14:1121-1129. DOI: 10.2147/IJGM.S297660.

83. Kimball JS, Johnson JP, Carlson DA. Oxidative Stress and Osteoporosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2021 Aug 4;103(15):1451-1461. DOI: 10.2106/JBJS.20.00989.

84. Jadzic J, Milovanovic P, Cvetkovic D, Ivovic M, Tomanovic N, Bracanovic M, et al. Mechano-structural alteration in proximal femora of individuals with alcoholic liver disease: Implications for increased bone fragility. *Bone.* 2021 Sep;150:116020. DOI: 10.1016/j.bone.2021.116020.

85. Martiniakova M, Kovacova V, Biro R, Mondockova V, Sarocka A, Penzes N, et al. Relationships among osteoporosis, redox homeostasis, and alcohol addiction: Importance of the brain-bone axis. *Biomed Pharmacother.* 2025;187:118063. DOI: 10.1016/j.biopha.2025.118063.

86. Wang X, Chen X, Lu L, Yu X. Alcoholism and Osteoimmunology. *Curr Med Chem.* 2021;28(9):1815-1828. DOI: 10.2174/1567201816666190514101303.

87. da Silva AF, Lima FJ, Moreira AR, Silva CDN, de Oliveira IB, Callera AF, et al. Cigarette Smoke Exposure Leads to Organic and Mineral Bone Component Changes: The Importance of Rho Kinase Function in These Events. *Cells.* 2025;14(7):503. DOI: 10.3390/cells14070503.

88. Kopiczko A, Czapla M, Kubiela G, Uchmanowicz B. Determinants of bone mineral density in various regions of the skeleton among smokers and non-smokers: the role of physical activity. *Front Physiol.* 2024;15:1403102. DOI: 10.3389/fphys.2024.1403102.

89. Согуйко РР. Порівняння посттравматичної динаміки щільності кісткової тканини нижньої щелепи у інтактного щура та на тлі тривалого вживання налбуфіну. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія.* 2019;18(1):27-35.

90. Согуйко РР, Масна ЗЗ, Павлів ХІ. Аналіз посттравматичної динаміки щільності та мінерального складу кісткової тканини нижньої щелепи щура на тлі тривалого вживання налбуфіну та після лікування лінкоміцином. *Вістник проблем біології і медицини.* 2019;(4):231-237.

91. Sohuyko RR, Masna ZZ, Pavliv KhI. Posttraumatic density of the bone tissue of the rat's mandible without pathology, on the background of nalbuphine intake and after lincomycin treatment. *World science*. 2019 Nov2;11(51):25-29.

92. Sohuyko R, Pavliv Kh, Masna-Chala O, Diskovskyi I, Masna Z. Density and mineral content dynamics of bone tissue of the lower jaw of the rat on the background of opioid influence and after its withdrawal. *Wiadomości Lekarskie*. 2019;72(12):2300-2304.

93. Marasco E, Mussa M, Motta F, Bobbio-Pallavicini F, Maserati R, Montecucco C, et al. Denosumab for the treatment of HIV-associated osteoporosis with fractures in a premenopausal woman. *Reumatismo*. 2021 Apr 19;73(1):54-58. DOI: 10.4081/reumatismo.2021.1358.

94. Баннікова Р, Пархоменко М. Перспективи застосування оздоровчих технологій у профілактиці остеопорозу у ВІЛ-інфікованих. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*. 2018;(2):53-60.

95. Fujihara N, Fujihara Y, Hamada S, Yoshida M, Tsukushi S. Current practice patterns of osteoporosis treatment in cancer patients and effects of therapeutic interventions in a tertiary center. *PLoS One*. 2021 Mar 11;16(3):e0248188. DOI: 10.1371/journal.pone.0248188.

96. Fuggle NR, Singer A, Gill C, Patel A, Medeiros A, Mlotek AS, et al. How has COVID-19 affected the treatment of osteoporosis? An IOF-NOF-ESCEO global survey. *Osteoporos Int*. 2021 Apr;32(4):611-617. DOI: 10.1007/s00198-020-05793-3.

97. Hampson G, Stone M, Lindsay JR, Crowley RK, Ralston SH. Diagnosis and Management of Osteoporosis During COVID-19: Systematic Review and Practical Guidance. *Calcif Tissue Int*. 2021 Oct;109(4):351-362. DOI: 10.1007/s00223-021-00858-9.

98. Wang XS, Chen Y, Zhao YW, Chen MW, Wang H. Assessing the association between a sedentary lifestyle and prevalence of primary osteoporosis:

a community-based cross-sectional study among Chinese population. *BMJ Open*. 2024;14(6):e080243. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-080243.

99. Nevill AM, Wallace E, Stewart AD, Wyon M. Bone mineral density varies throughout the skeleton of athletes dependent on their sport: Allometric modelling identifies the "effective" forces associated with body mass. *J Sci Med Sport*. 2025 Apr 23:S1440-2440(25)00122-7. DOI: 10.1016/j.jsams.2025.04.006.

100. Polat C, Unveren A, Ertan H, Migliaccio GM, Pancar Z, Russo L. Effects of Recreational Football on Bone Mineral Density and Isokinetic Muscle Strength in Elderly Men: A Study of Turkish Older Men. *Medicina (Kaunas)*. 2025;61(2):219. DOI: 10.3390/medicina61020219

101. Kinoshita N, Tokita M, Okuyama K. Trajectory Analysis of the Four-Year Changes in Body Composition and Bone Mineral Characteristics Among Highly Competitive Male University Long-Distance Runners. *Am J Hum Biol*. 2025;37(1):e24179. DOI: 10.1002/ajhb.24179

102. Liang Z, Lan J, Sun X, Guo R, Tian Y, Wang Y, et al. Physical activity attenuates the excess mortality risk from prolonged sitting time among adults with osteoporosis or osteopenia. *Endocrine*. 2024;85(3):1365-1378. DOI: 10.1007/s12020-024-03871-8.

103. Areeckal AS, Kocher M, S SD. Current and Emerging Diagnostic Imaging-Based Techniques for Assessment of Osteoporosis and Fracture Risk. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2019;12:254-268. DOI: 10.1109/RBME.2018.2852620.

104. Barnsley J, Buckland G, Chan PE, Ong A, Ramos AS, Baxter M, et al. Pathophysiology and treatment of osteoporosis: challenges for clinical practice in older people. *Aging Clin Exp Res*. 2021 Apr;33(4):759-773. DOI: 10.1007/s40520-021-01817-y.

105. Liu Y, He Y, He B, Kong L. The Anti-osteoporosis Effects of Vitamin K in Postmenopausal Women. *Curr Stem Cell Res Ther*. 2022;17(2):186-192. DOI: 10.2174/1574888X16666210512020103.

106. Hadjab I, Farlay D, Crozier P, Douillard T, Boivin G, Chevalier J, et al. Intrinsic properties of osteomalacia bone evaluated by nanoindentation and

FTIRM analysis. *J Biomech.* 2021 Mar 5;117:110247. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2021.110247.

107. Huidrom S, Beg MA, Masood T. Post-menopausal Osteoporosis and Probiotics. *Curr Drug Targets.* 2021;22(7):816-822. DOI: 10.2174/1389450121666201027124947.

108. Kraljević Pavelić S, Micek V, Bobinac D, Bazdulj E, Gianoncelli A, Krpan D, et al. Treatment of osteoporosis with a modified zeolite shows beneficial effects in an osteoporotic rat model and a human clinical trial. *Exp Biol Med (Maywood).* 2021 Mar;246(5):529-537. DOI: 10.1177/1535370220968752.

109. Prost S, Pesenti S, Fuentes S, Tropiano P, Blondel B. Treatment of osteoporotic vertebral fractures. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2021 Feb;107(1S):102779. DOI: 10.1016/j.otsr.2020.102779.

110. Rinaldi C, Bortoluzzi S, Airoidi C, Leigh F, Nicolini D, Russotto S, et al. The Early Detection of Osteoporosis in a Cohort of Healthcare Workers: Is There Room for a Screening Program?. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Feb 2;18(3):1368. DOI: 10.3390/ijerph18031368.

111. Sezlev Bilecen D, Uludag H, Hasirci V. Development of PEI-RANK siRNA Complex Loaded PLGA Nanocapsules for the Treatment of Osteoporosis. *Tissue Eng Part A.* 2019 Jan;25(1-2):34-43. DOI: 10.1089/ten.TEA.2017.0476.

112. Rinonapoli G, Ruggiero C, Meccariello L, Bisaccia M, Ceccarini P, Caraffa A. Osteoporosis in Men: A Review of an Underestimated Bone Condition. *Int J Mol Sci.* 2021 Feb 20;22(4):2105. DOI: 10.3390/ijms22042105.

113. Kaufman JM. Management of osteoporosis in older men. *Aging Clin Exp Res.* 2021 Jun;33(6):1439-1452. DOI: 10.1007/s40520-021-01845-8.

114. Fuggle NR, Curtis B, Clynes M, Zhang J, Ward K, Javaid MK, et al. The treatment gap: The missed opportunities for osteoporosis therapy. *Bone.* 2021 Mar;144:115833. DOI: 10.1016/j.bone.2020.115833.

115. Ma HJ, Fu SC, Xiao A, Cai WK, Wang P, Shen ML, et al. The associations of *CYP19A1* rs700518 polymorphism with bone mineral density and

risk of osteoporosis: a meta-analysis. *Gynecol Endocrinol.* 2020 Jul;36(7):626-631. DOI: 10.1080/09513590.2020.1727431.

116. Li S, Zhang Y, Ding S, Chang J, Liu G, Hu S. Curcumin Ameliorated Glucocorticoid-Induced Osteoporosis While Modulating the Gut Microbiota and Serum Metabolome. *J Agric Food Chem.* 2025;73(14):8254-8276. DOI: 10.1021/acs.jafc.4c06689

117. LeBoff MS, Chou SH, Murata EM, Donlon CM, Cook NR, Mora S, et al. Effects of Supplemental Vitamin D on Bone Health Outcomes in Women and Men in the VITamin D and Omega-3 Trial (VITAL). *J Bone Miner Res.* 2020 May;35(5):883-893. DOI: 10.1002/jbmr.3958.

118. Wang Y, Deng H, Zhang Z, Wu H, Wang X, Zhang Z. Irisin mitigates osteoporotic-associated bone loss and gut dysbiosis in ovariectomized mice by modulating microbiota, metabolites, and intestinal barrier integrity. *BMC Musculoskelet Disord.* 2025;26(1):374. DOI: 10.1186/s12891-025-08622-y.

119. Lafage-Proust MH, Magne D. Biology of bone mineralization and ectopic calcifications: the same actors for different plays. *Arch Pediatr.* 2024;31(4S1):4S3-4S12. DOI: 10.1016/S0929-693X(24)00151-9.

120. Pedrosa M, Ferreira MT, E Batista de Carvalho LA, M Marques MP, Curate F. The association of osteochemometrics and bone mineral density in humans. *Am J Phys Anthropol.* 2021 Nov;176(3):434-444. DOI: 10.1002/ajpa.24283.

121. Wang C, Zhang T, Wang P, Liu X, Zheng L, Miao L, et al. Bone metabolic biomarker-based diagnosis of type 2 diabetes osteoporosis by support vector machine. *Ann Transl Med.* 2021 Feb;9(4):316. DOI: 10.21037/atm-20-3388.

122. Xi L, Zhang Y, Gupta H, Terrill N, Wang P, Zhao T, et al. A multiscale study of structural and compositional changes in a natural nanocomposite: Osteoporotic bone with chronic endogenous steroid excess. *Bone.* 2021 Feb;143:115666. DOI: 10.1016/j.bone.2020.115666.

123. Задерей ОВ, Ходаков ІВ. Зміни щільності і складу кісткової тканини та атрофії альвеолярної кістки у щурів при гіпотиреозі та корекції

комплексом мінералів та вітамінів. Вісник Одеського національного університету. Біологія. 2023;28(1):108-117. DOI: [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1\(52\).284690](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2023.1(52).284690)

124. Макаренко ОА, Майкова ГВ, Кириленко НА, Еберле ЛВ. Обмін різних форм кальцію в організмі щурів з преднізолоновим остеопорозом. Вісник Одеського національного університету. Біологія. 2020;25(1):123-131. DOI: 10.18524/2077-1746.2020.1(46).205837

125. Могилевська ТВ, Макаренко ОА, Гладкій ТВ. Морфометричні та метаболічні порушення у кістковій тканині лабораторних щурів з хронічним токсичним гепатитом. Український журнал медицини, біології та спорту. 2021;6(3):347-352.

126. Рудик ГВ. Будова губчастої речовини стегнової кістки щурів, за експериментального фумонізінотоксикозу. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2019;20(1):129-138.

127. Рудик ГВ. Визначення показників мінеральної щільності стегнової кістки за даними денситометрії у щурів, за експериментального фумонізінотоксикозу. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки. 2019;21(93):169-178.

128. Хопта НС, Ерстенюк АМ. Метаболічні зміни в кістковій тканині тварин за умов експериментального кадміозу. ScienceRise. Biological science. 2018;(5):31-35. DOI: 10.15587/2519-8025.2018.147090

129. Согуйко Р, Масна З. Аналіз динаміки мінерального складу кісткової тканини на тлі опіюючого впливу. Праці наукового товариства ім. Шевченка. Медичні науки. 2019;55(1):40-55. DOI: 10.25040/ntsh2019.01.04

130. Согуйко РР, Масна ЗЗ, Фік ВБ, Пальтов ЄВ. Аналіз посттравматичної динаміки щільності кісткової тканини нижньої щелепи, на тлі тривалого вживання налбуфіну та після лікування лінкоміцином. В:

Збірник тез доповідей VII Конгресу наукового товариства анатомів, гістологів, ембріологів, топографоанатомів України; 2019 Жовт 2-4; Одеса. Одеса; 2019. с. 292-293.

131. Tiyasatkulkovit W, Aksornthong S, Adulyarittikul P, Upanan P, Wongdee K, Aeimlapa R, et al. Excessive salt consumption causes systemic calcium mishandling and worsens microarchitecture and strength of long bones in rats. *Sci Rep.* 2021 Jan 20;11(1):1850. DOI: 10.1038/s41598-021-81413-2.

132. Toscano-Angulo JJ, Mora-Macías J, Blázquez-Carmona P, Morgaz J, Navarrete-Calvo R, Domínguez J, et al. Risk of fragility fracture is aggravated during bone regeneration processes in osteoporotic sheep. *PLoS One.* 2025;20(5):e0319910. DOI: 10.1371/journal.pone.0319910.

133. Mu X, Du X, Han H, Liu F, Zheng Z, Hao J, et al. Intravenous Administration of sRNA Nanoparticles for Treatment of Osteoporosis in Mice. *Pharmaceutics.* 2025;17(6):789. DOI: 10.3390/pharmaceutics17060789.

134. Согуйко РР, Коцаренко МВ, Масна ЗЗ. Аналіз динаміки якості кісткової тканини після травми. In: *Innovative Technology in Medicine: Experience of Poland and Ukraine : international research and practices conference*; 2017 Apr 28-29; Lublin. Lublin; 2017. p. 83-85.

135. Согуйко РР Особливості динаміки щільності та мінерального складу кісткової тканини нижньої щелепи після кісткоруйнуючої травми та застосування лінкоміцину. *Морфологія.* 2019;(2):320-325.

136. Согуйко РР, Масна ЗЗ, Масна-Чала ОЗ, Челпанова ІВ. Аналіз щільності і мінерального складу кісткової тканини нижньої щелепи щура та закономірностей їх посттравматичної динаміки. *Morphologia* [Інтернет]. 2019;13(2):54-62.

Доступно: <https://drive.google.com/file/d/1xgc0OLV5gCAk4xfecBreiS3pIOgV7Boq/view>. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2019.2.54-62>

137. Zhu L, Han J, Guo R, Wu D, Wei Q, Chai W, et al. An Automatic Classification of the Early Osteonecrosis of Femoral Head with Deep Learning.

Curr Med Imaging. 2020;16(10):1323-1331. DOI: 10.2174/1573405615666191212104639.

138. Челпанова ІВ, Масна-Чала ОЗ, Ященко АМ, Масна ЗЗ, Рудницька ХІ Динаміка стану кісткової тканини нижньої щелепи після дентальної імплантації та ударно-хвильової терапії. Morphologia [Інтернет]. 2021;15(3):175-179. Доступно: <https://drive.google.com/file/d/1M5gPEHU1WxNyet9i3YM-npjMjnD4GUkr/view>. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2021.3.175-179>

139. Согуйко РР, Масна ЗЗ, Павлів ХІ, Габа МЄ. Особливості посттравматичної динаміки щільності кісткової тканини нижньої щелепи шура. В: Матеріали VI науково-практичної конференції з міжнародною участю Природничі читання; 2019 Трав 30-31; Чернівці. Чернівці; 2019. с. 64-65.

140. Челпанова ІВ, Масна-Чала ОЗ, Масна ЗЗ. Динаміка мінерального складу кісткової тканини нижньої щелепи кролика після нанесення кістковоруйнівної травми. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(1):48-52.

141. Масна ЗЗ, Масна-Чала ОЗ, Челпанова ІВ, Дудок ОВ, Чалий ТВ. Аналіз посттравматичних змін в кістковій тканині нижньої щелепи (експериментальне дослідження). В: Матеріали науково-практичної конференції Сучасна стоматологія та щелепно-лицева хірургія. Київ; 2022. с. 79-143.

142. Костишин Н, Гжегоцький М. Вплив загальної вібрації на структурні властивості кісток за умови ожиріння та обмеженої рухливості. Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. 2020;(2):14-20.

143. Duarte Silva F, Ormond Filho AG, de Oliveira TL, Andrew D, Chhabra A, Pinheiro MM, et al. CT-based comprehensive scoring system for assessing hip arthropathy in ankylosing spondylitis: feasibility study with clinical correlation. Rheumatology (Oxford). 2024;63(12):3322-3330. DOI: 10.1093/rheumatology/keae415

144. Fang H, Zhang X, Wang J, Xing X, Shen Z, Cai G. The relationship between MRI-detected hip abnormalities and hip pain in hip osteoarthritis: a systematic review. *Rheumatol Int.* 2024;44(10):1887-1896. DOI: 10.1007/s00296-024-05678-2.

145. Fischer S, Haramati N. MR Imaging of Tumors and Tumor-Like Conditions of the Hip. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2025;33(1):183-201. DOI: 10.1016/j.mric.2024.05.005.

146. Gourineni P, Valleri D, Mungalpara N, Mahapatra S, Senthil V. Arthroscopic and Radiographic Features Distinguish Femoral Head Deformity from Idiopathic Cam, Slipped Capital Femoral Epiphysis, and Recurrent Cam After Slipped Epiphysis. *Indian J Orthop.* 2024;58(2):204-209. DOI: 10.1007/s43465-023-01082-3.

147. Le Corroller T, Arrigoni F. ESR Essentials: percutaneous bone consolidation-practice recommendations by the European Society of Musculoskeletal Radiology. *Eur Radiol* https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=%22Eur+Radiol%22%5Bjour%5D&sort=date&sort_order=deschttps://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=%22Eur+Radiol%22%5BTitle+Abbreviation%5Dhttps://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40050453/. 2025 Sep;35(9):5369-5380. DOI: 10.1007/s00330-025-11478-4.

148. Mercer RW, Peter CA, Habib U, Xie J, Graeber A, Simeone FJ, et al. Anterior and posterior hip osteoarthritis: prevalence and potential value of CT compared to radiographs. *Skeletal Radiol.* 2024;53(3):473-479. DOI: 10.1007/s00256-023-04434-0.

149. Olivos-Meza A, Mata-Miranda MM, Robles-Rodríguez M, Vázquez-Zapién GJ, Guerrero-Ruiz M, Landa-Solís C. Osteogenic Potential and Bone Matrix Maturity: Comparison of Demineralized Bone Matrix and P15 Polypeptide iFactor[®] in an In Vitro Study. *Medicina (Kaunas).* 2025;61(5):914. DOI: 10.3390/medicina61050914.

150. Singh DK, Kumar N, Jalan D, Khanna G, Rustagi A, Saran S. Aggressive bone tumours: what a radiologist can offer to the surgeon?. Br J Radiol. 2025;98(1165):1-12. DOI: 10.1093/bjr/tqae224.

151. Thornhill BA, Thompson L. MR Imaging of the Hip: Infectious and Inflammatory Conditions. Magn Reson Imaging Clin N Am. 2025;33(1):167-181. DOI: 10.1016/j.mric.2024.07.003

152. Лук'янчук СМ, Челпанова ІВ, Адамович ОО, Чалий ІТ, Масна ЗЗ, Дудок ОВ, та ін. Аналіз частоти маніфестації деяких ізольованих та поєднаних вад розвитку опорно-рухового апарату в дітей молодшого шкільного віку. Сучасна педіатрія. Україна. 2024;(1):52-58. DOI: 10.15574/SP.2024.137.52

153. Василів МАЛ, Масна ЗЗ Аналіз варіантів прохідності отвору лобової пазухи за даними комп'ютерної томографії. Буковинський медичний вісник. 2023;27(4):21-25. DOI: 10.24061/2413-0737.27.4.108.2023.5

154. Масна З, Сергієнко В, Жураківська О, Челпанова І, Хачкевич-Лесняк К, Вергун А, та ін. Проблема «норми» в сучасній медицині – тенденції індивідуальної перебудови людського організму та нові можливості досліджень в контексті академічної доброчесності. Праці Наукового товариства ім. Шевченка. Медичні науки. 2024;73(1):342-359. DOI: 10.25040/ntsh2024.01.24

155. Василів МАЛ, Масна ЗЗ. Топографічні особливості якості кісткової тканини стінок лобової пазухи осіб зрілого віку. Буковинський медичний вісник. 2023;27(2):10-14. DOI: 10.24061/2413-0737.27.2.106.2023.2

156. Барна ОМ, Головач ІЮ, Погребняк ОО, Корост ЯВ, Пехенько ВС, Аліфер ОО, та ін. Оцінка стану кісткової тканини за показниками УЗ денситометрії у віковому аспекті. Ліки України. 2017;(8):66-67.

157. Криницький РП, Дахно ЛО, Масна ЗЗ, Рижук ХА, Кухлевський Ю. Порівняльний аналіз стану кісткової тканини коміркових ділянок верхньої та нижньої щелеп у осіб зрілого віку за умови збереження зубних рядів, при адентії та після дентальної імплантації. В: Матеріали міжнародної науково-

практичної конференції Стоматологічні новини. Актуальні питання стоматології; 2015 Жовт 28-29; Львів. Львів; 2015. с. 38-39.

158. Кухлевський Ю, Угрин М, Масна З. Вікові та гендерні відмінності факторів ризику змін кісткової щільності в осіб з дентальною імплантацією. В: Праці наукового товариства ім. Шевченка. Т. 43. Медичні науки. Лікарський збірник. Нова серія. Т. 27. Львів; 2015. с. 150-157.

159. Кухлевський ЮІ, Студент ВО, Масна ЗЗ. Вплив функціонального навантаження на структуру та якість кісткової тканини коміркових відростків верхньої щелепи у молодих осіб. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2017;16(1):24-29.

160. Zhao R, Cai H, Tian H, Zhang K. Morphological consistency of bilateral hip joints in adults based on the X-ray and CT data. Surg Radiol Anat. 2021 Jul;43(7):1107-1115. DOI: 10.1007/s00276-020-02676-4.

161. Кухлевський ЮІ, Масна ЗЗ. Променеві біомаркери за даними конусно-променевої комп'ютерної томографії для виявлення ознак анатомічної асиметрії верхньої та нижньої щелеп у осіб зрілого віку. Світ медицини та біології. 2018;(4):167-171.

162. Ісакова ОО, Колесніченко ОВ. Використання показників денситометрії кісткової тканини для оптимізації діагностики та лікування дітей у стоматолога. Via Stomatologiae. 2024;1(1):58-67. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-1394.2024-1.7>

163. Aparisi Gómez MP, Wáng YJ, Yu JS, Johnson R, Chang CY. Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Osteoporosis Screening: AJR Expert Panel Narrative Review. AJR Am J Roentgenol. 2025 Dec;225(6):e2532802. DOI: 10.2214/AJR.25.32802.

164. Veneziano A, Cazenave M, Alfieri F, Panetta D, Marchi D. Novel strategies for the characterization of cancellous bone morphology: Virtual isolation and analysis. Am J Phys Anthropol. 2021 Aug;175(4):920-930. DOI: 10.1002/ajpa.24272.

165. Челпанова ІВ. Ремоделювання кістки нижньої щелепи після трансплантації натурального колагену: гістологічні, імуногістохімічні та ультраструктурні аспекти. *Morphologia* [Інтернет]. 2023;17(2):75-86. Доступно:

<https://drive.google.com/file/d/1gEIA39Ng7oXVsRNR4tvLneEkhSkFJtr4/view>.

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2023.2.75-86>

166. Челпанова ІВ. Перебудови кістки нижньої щелепи після трансплантації октакальційфосфату: гістологічні, імуногістохімічні та ультраструктурні аспекти. *Morphologia* [Інтернет]. 2022;16(2):60-68. Доступно:

https://drive.google.com/file/d/1JGX9XOualJbc_8h4wniSSbXJ6q51kg86/view.

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2022.2.60-68>

167. Chelpanova IV. Dynamics of regeneration following transplantation of octacalcium phosphate into an experimental defect in the rabbit mandibular bone: electron microscopic and morphometric study. *Патологія = Pathologia*. 2024;21(3):244-252.

168. Chelpanova IV Ultrastructural and morphometric study of regeneration dynamics in the rabbit lower jaw after β -tricalcium phosphate transplantation. *Wiad Lek*. 2024;77(11):2303-2310.

169. Chelpanova IV. Mandible bone remodeling after natural collagen transplantation: morphological and radiological aspects. *Pol Merkur Lek*. 2024;52(6):660-667.

170. Chelpanova IV. Morphological and radiological aspects of post-traumatic remodeling of the lower jaw after octacalcium phosphate transplantation. *Вісник проблем біології і медицини = Bulletin of problems in biology and medicine*. 2024;(4):590-599.

171. Челпанова ІВ, Масна ЗЗ. Порівняння мінерального складу кісткової тканини нижньої щелепи кроликів у нормі, після кісткоруйнівної травми та при різних варіантах заповнення кісткового дефекту

остеопластичними матеріалами. Буковинський медичний вісник. 2024;28(4):68-73.

172. Согуйко РР, Челпанова ІВ, Масна ЗЗ. Аналіз посттравматичної динаміки вмісту кальцію в кістковій тканині нижньої щелепи щура на тлі тривалого вживання налбуфіну та після лікування лінкоміцином. В: Матеріали третьої всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю Теорія та практика сучасної морфології; 2019 Жовт 9-11; Дніпро. Дніпро; 2019. с.125-127.

173. Масна ЗЗ, Согуйко РР, Рудницька ХА, Пальтов ЄВ, Челпанова ІВ. Порівняльний аналіз структури та мінерального складу кісткової тканини нижньої щелепи в нормі, на різних термінах опіодного впливу та після травми. In: International scientific and practical conference; 2020 Sept 25-26; Lublin. Lublin; 2020. p. 49-54.

174. Vasyliv M-Al, Chervinska MY, Pavliv K, Sohujko R, Cherkes M, Kotsarenko M, et al. Comparative analysis of the mineral composition of bone tissue of the jaws in human and experimental animals. In: XXVI International Symposium of Morphological Sciences (ISMS); 2018 July 5-7; Prague. Prague; 2018. p. 80.

175. Chelpanova IV. Morphological characteristics of mandibular bone regeneration in an experiment using natural collagen. Світ медицини = World of Medicine and Biology. 2024;(4):223-228.

176. Chelpanova I. Morphological characteristics of regeneration of the lower jaw bone in an experiment using natural collagen with lincomycin. Медичні перспективи. 2024;29(4):73-83.

177. Chelpanova I. Morphological and radiological aspects of post-traumatic remodeling of the mandibular bone after transplantation of natural collagen with lincomycin. Acta Medica Leopoliensia = Львівський медичний часопис. 2024;30(1-2):133-151.

178. Челпанова ІВ. Морфологічні та рентгенологічні аспекти ремоделювання кістки нижньої щелепи після імплантації активованого

хітозану. Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії. 2024;(4):229-236.

179. Челпанова ІВ. Ультроструктурне та морфометричне дослідження динаміки регенерації кісткової тканини при застосуванні комбінації октакальційфосфату з хітозаном і ампіциліном для остеопластики. *Morphologia* [Інтернет]. 2022;16(4):51-59. Доступно: https://drive.google.com/file/d/1SO_jgBGQ1_CHhrJphoKPMbQrAfa1yGKY/view. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2022.4.51-59>

180. Челпанова ІВ. Перебудови кістки нижньої щелепи після трансплантації октакальційфосфату та хітозану: гістологічні, імуногістохімічні та ультроструктурні аспекти. *Morphologia* [Інтернет]. 2023;17(1):63-77. Доступно: https://drive.google.com/file/d/12r18p_5jSJRLjqXPEOhZLQdmCRR7yp-x/view. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2023.1.63-77>

181. Челпанова ІВ. Ремоделювання кістки нижньої щелепи після трансплантації β -трикальційфосфату: гістологічні, імуногістохімічні та ультроструктурні аспекти. *Morphologia* [Інтернет]. 2024;18(4):101-113. Доступно: <https://drive.google.com/file/d/1m9MqDnh1Sg0eyKIg8DnfdpipvOcDPSLS/view>. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2024.4.101-113>

182. Челпанова ІВ. Порівняння динаміки змін щільності кісткової тканини нижньої щелепи кролика при застосуванні різних остеопластичних матеріалів. *Morphologia* [Інтернет]. 2024;18(2):84-90. Доступно: https://drive.google.com/file/d/1CnyvkvREM-iu9KCZfHT5Q1_jrH1WqVxs/view DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2024.2.84-90>

183. Кореньков ОВ. Комп'ютерно-томографічний і денситометричний аналіз впливу кальцій-фосфатної біокераміки на регенерацію експериментального дефекту компактної кісткової тканини. В: Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології. Дніпро; 2016. с. 81-83.

184. Korenkov AV. Regeneration of the long bone after implantation into its defect of osteoplastic material. Cerabone. Osteologicky Bulletin. 2016;21(1):24-27.

185. Korenkov AV. Computed tomography densitometry of femoral defect healing after implantation of calcium phosphate bioceramics in rats. Bulgar J Vet Med. 2016;19(2):87-95.

186. Sohuyko RR, Masna ZZ, Pavliv KhI. Peculiarities of density and mineral content dynamics of mandible bone tissue after application of bone destructive trauma with the following correction with lincjmycin. In: Natural science readings: abstracts dook; 2020 May 28-30; Bratislava. Bratislava; 2020. p. 3-5.

187. Согуйко РР, Коцаренко МВ, Масна ЗЗ. Дослідження динаміки якості кісткової тканини при тривалому вживанні препаратів опіоїдної групи. В: Матеріали наук.-практ.конф. з міжнар. участю Теорія та практика сучасної морфології, присв. 100-річчю Дніпропетровської (Катеринославської) школи морфологів; 2016 Жовт 5-7; Дніпро. Дніпро; 2016. с. 147-148.

188. Костишин НМ, Гжегоцький МР, Серветник МІ. Оцінка структурно-функціонального стану кісткової тканини щурів під впливом загальної вібрації Український журнал з проблем медицини праці. 2017;(2):37-45.

189. Костишин НМ, Гжегоцький МР, Костишин ЛП, Кулик ЮО. Вплив механічних коливань на структурну організацію великогомілкової кістки у щурів з глюкокортикоїдіндукованим остеопорозом. Фізіологічний журнал. 2021;67(1):29-36.

190. Костишин НМ, Гжегоцький МР, Ярова ОА, Костишин ЛП, Кулик ЮО. Вплив загальної вібрації на організацію кісткових нанокompatитів та запобігання втрати мінеральної маси кісткової тканини за умови моделювання ожиріння та обмеженої рухомості: експериментальне дослідження. Медичні перспективи. 2021;26(1):30-39.

191. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes. Strasbourg, 18.III.1986. Available from: <https://rm.coe.int/168007a67b>

192. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the Protection of Animals Used for Scientific Purposes. Official Journal of the European Union. 2010;53(L276):33-79.

193. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Reference Index. Version 4.5.2 (2025-10-31). R Foundation for Statistical Computing; Available from: <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/fullrefman.pdf>

194. Van der Loo MPJ. Learning RStudio for R Statistical Computing. Packt Publishing Ltd; 2012. 111 p.

195. R Studio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston: RStudio, PBC; 2021.

196. Костишин НМ. Оцінка мінеральної щільності великогомілкової кістки щурів за умови моделювання ожиріння, малорухомого способу життя та впливу нефізіологічної загальної вібрації. Вісник проблем біології і медицини. 2021;(1):393-396. DOI: 10.29254/2077-4214-2021-1-159-393-396

197. Цимбал ОС, Новакова ЛВ. Особливості контрактури нижніх кінцівок. Медсестринство. 2024;(4):62-64.

198. 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.

199. Fassio A, Idolazzi L, Rossini M, Gatti D, Adami G, Giollo A, et al. The obesity paradox and osteoporosis. Eat Weight Disord. 2018 Jun;23(3):293-302. DOI: 10.1007/s40519-018-0505-2.

200. Pagnotti GM, Styner M, Uzer G, Patel VS, Wright LE, Ness KK, et al. Combating osteoporosis and obesity with exercise: leveraging cell mechanosensitivity. Nature Reviews Endocrinology. 2019;15(6):339-355.

201. Герцик А. Ресурси системи фізичної реабілітації / фізичної терапії при порушеннях діяльності опорно-рухового апарату. Слобожанський науково-спортивний вісник. 2016;(5):22-27.

202. Полковник-Маркова ВС. Особливості обстеження опорно-рухового апарату в фізичній реабілітації. Фізична реабілітація та рекреаційно-оздоровчі технології. 2016;(3):173-179.

203. Dimitriou D, Helmy N, Hasler J, Flury A, Finsterwald M, Antoniadis A. The Role of Total Hip Arthroplasty Through the Direct Anterior Approach in Femoral Neck Fracture and Factors Affecting the Outcome. *J Arthroplasty*. 2019 Jan;34(1):82-87. DOI: 10.1016/j.arth.2018.08.037.

204. Cha YH, Yoo JI. Comparison of hip structure analysis and grip strength between femoral neck and basicervical fractures. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021 May 19;22(1):461. DOI: 10.1186/s12891-021-04363-w.

205. Al Rassy N, Matta J, Frenn F, Maalouf G, Rizkallah M, Bachour F, et al. Bone Geometric Properties of the Femoral Neck in Underweight Eumenorrhic Women. *J Clin Densitom*. 2019 Apr-Jun;22(2):272-278. DOI: 10.1016/j.jocd.2017.09.002.

206. Ceynowa M, Rocławski M, Pankowski R, Mazurek T. The position and morphometry of the fovea capitis femoris in computed tomography of the hip. *Surg Radiol Anat*. 2019 Jan;41(1):101-107. DOI: 10.1007/s00276-018-2097-y.

207. Blümel S, Stadelmann VA, Brioschi M, Küffer A, Leunig M, Rüdiger HA. The trochanteric double contour is a valuable landmark for assessing femoral offset underestimation on standard radiographs: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021 Mar 29;22(1):310. DOI: 10.1186/s12891-021-04133-8.

208. Buitendijk SKC, van de Laarschot DM, Smits AAA, Koromani F, Rivadeneira F, Beck TJ, et al. Trabecular Bone Score and Hip Structural Analysis in Patients With Atypical Femur Fractures. *J Clin Densitom*. 2019 Apr-Jun;22(2):257-265. DOI: 10.1016/j.jocd.2018.03.005.

209. Bento AO, Falótico G, Enseki K, Cunha RA, Ejnisman B, Arliani G, et al. Morphological Changes of the Hip Commonly Associated With Femoroacetabular Impingement Are Not Correlated With Rotational Range of Hip Motion in Elite Soccer Athletes. *Sports Health*. 2021 Jul-Aug;13(4):341-346. DOI: 10.1177/1941738120973662.

210. Vaidya S, Aroojis A, Mehta R. Developmental Dysplasia of Hip and Post-natal Positioning: Role of Swaddling and Baby-Wearing. *Indian J Orthop*. 2021 Sep 25;55(6):1410-1416. DOI: 10.1007/s43465-021-00513-3.

211. Shoji T, Shozen H, Ueki S, Kaneta H, Morita H, Kozuma Y, et al. Evaluation of bony features associated with hip instability in hip dysplasia. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2025;35(1):206. DOI: 10.1007/s00590-025-04336-y.

212. Steiner Q, Walczak BE, Sanfilippo J, Joachim MR, Haraldsdottir K, Watson AM. Biometric Changes Up to 2 Years After Hip Arthroscopy in National Collegiate Athletic Association Division I Athletes. *Orthop J Sports Med*. 2024;12(11):23259671241284642. DOI: 10.1177/23259671241284642.

213. Schroeder PB, Nicholes MA, Schmitz MR. Hip Injuries in the Adolescent Athlete. *Clin Sports Med*. 2021 Apr;40(2):385-398. DOI: 10.1016/j.csm.2020.12.003.

214. Heckmann N, Tezuka T, Bodner RJ, Dorr LD. Functional Anatomy of the Hip Joint. *J Arthroplasty*. 2021 Jan;36(1):374-378. DOI: 10.1016/j.arth.2020.07.065.

215. Lassalle L, Regnard NE, Durteste M, Ventre J, Marty V, Clovis L, et al. Validation of AI-driven measurements for hip morphology assessment. *Eur J Radiol*. 2025;183:111911. DOI: 10.1016/j.ejrad.2024.111911.

216. Довган РР, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44

217. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз впливу іммобілізаційної гіподинамії на амплітуду рухів у кульшовому суглобі. *Morphologia* [Інтернет]. 2025;19(2):16-22.

Доступно:

<https://drive.google.com/file/d/1rhcyW4zbEXMrxTnSZUJoBLGIvT8-84l1/view>

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.2.16-22>

218. Довган РР, Масна ЗЗ. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. *Morphologia* [Інтернет]. 2025;19(3):65-72. Доступно: https://drive.google.com/file/d/14Ixn9hEaboR-A1YfPD5RuAB2W4d_VXNs/view. DOI: DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>

219. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії. *Вісник проблем біології і медицини*. 2025;(4):312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317

220. Довган РР, Пальтов ЄВ, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на кульшовий суглоб і стегнову кістку за даними рентгенографії в експерименті. In: *Proceedings of XI international scientific and practical conference; 2022 May 11-13; Manchester. Manchester; 2022. p. 70-73.*

221. Довган Р, Чалий І-В, Камінська М, Онутчак Т, Масна З. Аналіз динаміки змін мінеральної щільності кісткової тканини стегнової кістки щура при посиленні фізичних навантажень та гіподинамії. В: *Збірник тез науково-практичної конференції з міжнародною участю Досягнення та перспективи лектино-морфології до 70-річного ювілею професора кафедри гістології, цитології та ембріології, Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Олександра Дмитровича Луцика; 2024 Трав 10; Львів. Львів; 2024. с. 47-48.*

222. Довган Р, Масна З. Динаміка вмісту мінеральних елементів у кістковій тканині стегнової кістки щура при гіподинамії. В: *Матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології; 2024 Лист 6-8; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2024. с. 44-45.*

223. Довган Р, Масна З. Динаміка зміни амплітуди рухів у кульшовому суглобі після іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості. В: Матеріали 9-го Міжнародного наукового Симпозіуму SMARTLION 2025 Медична освіта та наукові дослідження в Україні під час війни. Львів; 2025. с. 26-28.

224. Dovgan R, Masna Z. Comparison of the dynamics of bone tissue quality and mineral composition of the femoral neck in rats during different periods of experimental hypokinesia. В: Матеріали Дев'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології; 2025 Лист 6-7; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2025. с. 75-76.

225. Адамович ОО, Довган РР, Согуйко РР, Рудницька ХІ, Орел МГ, Масна ЗЗ. Аналіз симетричності якості кісткової тканини різних ділянок скелета людини і експериментальних тварин. Вісник проблем біології і медицини. 2025;(4 дод):15-17. DOI 10.29254/2523-4110-2025-4-179/addition-15-17

226. Довган Р, Адамович О, Согуйко Р, Рудницька Х, Масна З Динаміка мінерального складу кісткової тканини під впливом патогенних чинників та гіподинамії. В: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми морфології людини» (присвяченої 80-річчю професора Ю.М.Вовка), Львів; 2026. с.60-62

227. Gudmundsdóttir SL, Berger C, Macdonald H, Adachi JD, Norman WM, Kaiser SM, et al. Sedentary behavior does not predict low BMD nor fracture-population-based Canadian Multicentre Osteoporosis Study. J Bone Miner Res. 2024;39(3):231-240. DOI: 10.1093/jbmr/zjae004.

228. Давибіда НО, Безпалова НМ, Новакова ЛВ, Руцька АВ. Перебудова хімічного складу кісткової тканини у віковому аспекті за різних режимів рухової активності. Здобутки клінічної і експериментальної медицини. 2016;(4):40-43.

229. Козак ДВ, Давибіда НО. Мінералізація кісткової тканини за різних режимів рухової активності у віковому аспекті. Галицький лікарський вісник. 2015;22(4 ч.1):30-32.

230. Костишин НМ. Вплив загальної вібрації на мікроструктуру кісткової тканини шийки стегна у щурів за умов вживання фруктози та висококалорійної дієти. Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. 2021;(1-2):29-35.

231. Кривенко ВІ, Радомська ТЮ, Бородавко ОІ. Оцінка взаємозв'язку мінеральної щільності кісткової тканини, ризику переломів та кісткового метаболізму в осіб, які постійно проживають в умовах промислового регіону. Буковинський медичний вісник. 2019;23(1):47-52.

232. Пилипенко ОВ, Шепітько ВІ. Кількісні співвідношення структурних компонентів кісткової тканини щурів. Вісник проблем біології і медицини. 2016;2(2):249-252.

ДОДАТКИ

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор закладу вищої освіти з науково-педагогічної роботи Буковинського державного медичного університету, доцент


Володимир ХОДОРОВСЬКИЙ

« 02 » _____ року



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. Пропозиція для впровадження: Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження).

2. Установа-розробник: Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України (79010, м. Львів, вул. Пекарська, 69).

Розроблювач: Довган Ростислав Романович (кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією).

3. Джерела інформації:

3.1 Довган РР, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44.

3.2 Довган РР, Масна ЗЗ. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>

3.3 Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії. Вісник проблем біології і медицини. 2025;4(179):312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317

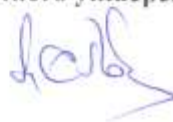
4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії Буковинського державного медичного університету.

5. Термін впровадження: 2025-2026 навчальний рік.

6. Форми впровадження: у матеріали лекцій та практичних занять з анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, а також у наукову роботу кафедри.

Затверджено на засіданні кафедри (протокол № 10 від «16» грудня 2025 р.).

Завідувач кафедри анатомії,
клінічної анатомії та оперативної хірургії
Буковинського державного медичного університету,
доктор медичних наук,
професор



Олександр СЛОБОДЯН

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор закладу вищої освіти
з науково-педагогічної роботи
Буковинського державного
медичного університету
доц. Ходоровський В.М.

« 23 » 02 2025 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. **Пропозиція для впровадження:** Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження).
2. **Установа-розробник:** Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович
3. **Джерело інформації:**
 - 3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44
 - 3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>
 - 3.3 Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317
4. **Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра анатомії людини імені М.Г. Туркевича Буковинського державного медичного університету.
5. **Термін впровадження:** листопад-грудень 2025 року
6. **Форма впровадження:** в навчальний процес та наукову роботу кафедри.
7. **Зауваження та пропозиції:** не поступило.
Обговорено та затверджено на засіданні кафедри анатомії людини ім. М.Г. Туркевича. протокол № 15 від 09 грудня 2025 року.

Відповідальний за впровадження:
завідувач кафедри анатомії людини
імені М.Г. Туркевича
д. мед. наук, професор

Кривецький В.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного
медичного університету
імені І.Я. Горбачевського
д.б.н., професор Кліш І.М.

« » 2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ


1. **Пропозиція для впровадження:** Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження)
2. **Установа-розробник:** Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович
3. **Джерело інформації:**
 - 3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44
 - 3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>
 - 3.3 Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179): 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317
4. **Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра оперативної хірургії та клінічної анатомії Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського МОЗ України.
5. **Термін впровадження:** січень-лютий 2026 року
6. **Форма впровадження:** в навчальний процес та наукову роботу кафедри.
7. **Зауваження та пропозиції:** не поступило.
8. **Протокол засідання кафедри № 2** від 15 січня 2026 р.

Відповідальний за впровадження:
Завідувач кафедри
оперативної хірургії та клінічної анатомії
Тернопільського національного медичного університету
імені І.Я. Горбачевського МОЗ України
д. мед. наук, професор



Михайло Гнатюк

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
Івано-Франківського національного
медичного університету
професор  Сергій ГЕРАЩЕНКО



_____ 2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. **Пропозиція для впровадження:** Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження)
2. **Установа-розробник:** Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович
3. **Джерела інформації:**
 - 3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44
 - 3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>
 - 3.3 Довган Р.Р., Масна З.З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317
4. **Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра анатомії людини Івано-Франківського національного медичного університету.
5. **Термін впровадження:** січень-лютий 2026 року
6. **Форма впровадження:** в навчальний процес та наукову роботу кафедри анатомії людини.
7. **Зауваження та пропозиції:** не поступило.
8. **Протокол засідання кафедри № 7 від 8 січня 2026 р.**


Відповідальний за впровадження:
завідувач кафедри анатомії людини
Івано-Франківського національного
медичного університету
д. мед. наук, професор

Оксана ПОПАДИНЕЦЬ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Дніпровського державного
медичного університету



Професор  Олександр ГУДАР'ЯН
« _____ » 2026 р.

АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

**результатів, отриманих у дисертаційній роботі, у наукову роботу
та навчальний процес**

1. Пропозиція для впровадження: Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження)

2. Установа-розробник: Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович

3. Джерела інформації:

3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44

3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>

3.3 Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317

4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Дніпровського державного медичного університету.

5. Термін впровадження: січень-лютий 2026 року

6. Форма впровадження: в наукову роботу та навчальний процес кафедри.

7. Зауваження та пропозиції: не поступило.

8. Протокол засідання кафедри № _____ від _____ 2026 р.

Відповідальний за впровадження:

В.о. завідувача кафедри анатомії людини,
клінічної анатомії та оперативної хірургії
д. мед. наук, професор



Володимир КОШАРНИЙ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В. о. першого проректора з науково-педагогічної роботи Полтавського державного медичного університету

професор

I. I. Старченко

2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. **Пропозиція для впровадження:** вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження).

2. **Установа-розробник:** Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська, 69), Довган Ростислав Романович.

3. **Джерела інформації:**

• Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44;

• Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>;

• Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317;

4. **Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра анатомії з клінічною анатомією та оперативною хірургією Полтавського державного медичного університету.

5. **Термін впровадження:** грудень 2025 року – січень 2026 року.

6. **Форма впровадження:** в навчальний процес та наукову роботу кафедри при вивченні тем «Опорно-руховий апарат».

7. **Ефективність впровадження за критеріями, висловленими в джерелах інформації (п.3):** використання результатів наукових досліджень у навчальному процесі дозволяє розширити знання студентів щодо впливу гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини.

8. **Зауваження та пропозиції:** не поступило.

9. **Обговорено та затверджено** на засіданні кафедри, протокол № 11 від 08.01.2026 року.

Відповідальний за впровадження:
завідувач кафедри анатомії з клінічною анатомією та оперативною хірургією Полтавського державного медичного університету
доктор біологічних наук, професор



ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ

Начальник відділу кадрів
З.Т. Бойко

Сергій БЛАЗШ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної роботи Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького к.б.н., доц. Солонинко І.І.

« » 2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1 Пропозиція для впровадження: Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження)

2 Установа-розробник: Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович

3 Джерело інформації:

3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44

3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>

3.3 Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317

4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра нормальної анатомії Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького.

5. Термін впровадження: січень-лютий 2026 року

6. Форма впровадження: в навчальний процес та наукову роботу кафедри.

7. Зауваження та пропозиції: не поступило.

8. Протокол засідання кафедри № 5 від 15.01 2026 р.

Відповідальний за впровадження:
Завідувач кафедри нормальної анатомії
Львівського національного медичного університету
імені Данила Галицького
д. мед. наук, професор

Матешук-Вацеба Л.Р.

Матешук-Вацеба Л.Р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної
роботи Львівського національного медичного
університету імені Данила Галицького
к.б.н., доц. Солонинко І.І.

2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. Пропозиція для впровадження: Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження)

2. Установа-розробник: Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович

3. Джерело інформації:

3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44

3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>

3.3 Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317

4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра радіології та радіаційної медицини Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького.

5. Термін впровадження: січень-лютий 2026 року

6. Форма впровадження: в навчальний процес та наукову роботу кафедри.

7. Зауваження та пропозиції: не поступило.

8. Протокол засідання кафедри № 8 від 19.02. 2026 р.

Відповідальний за впровадження:
Завідувач кафедри радіології та радіаційної медицини
Львівського національного медичного університету
імені Данила Галицького
к. мед. наук, доцент

Дац І.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної роботи Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького к.б.н., доц. Солонинко І.І.



2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. **Пропозиція для впровадження:** Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження)
2. **Установа-розробник:** Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович
3. **Джерело інформації:**
 - 3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44
 - 3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>
 - 3.3 Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317
4. **Базова установа, яка проводить впровадження:** кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького.
5. **Термін впровадження:** січень-лютий 2026 року
6. **Форма впровадження:** в навчальний процес та наукову роботу кафедри.
7. **Зауваження та пропозиції:** не поступило.
8. **Протокол засідання кафедри №6 від 14 січня 2026 р.**

Відповідальний за впровадження:
Завідувач кафедри
оперативної хірургії з топографічною анатомією
Львівського національного медичного університету
імені Данила Галицького
д. мед. наук, професор

Масна З.З.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної роботи Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького к.б.н., доц. Солонинко І.І.

« _____ 2026 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

4 Пропозиція для впровадження: Вплив гіподинамії на структуру та мінеральний склад кісткової тканини стегнової кістки щура (експериментальне дослідження)

5 Установа-розробник: Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького МОЗ України, кафедра оперативної хірургії з топографічною анатомією (79010 м. Львів, вул. Пекарська,69), Довган Ростислав Романович

6 Джерело інформації:

3.1 Довган Р.Р., Масна З.З. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44

3.2 Довган Р.Р., Масна З.З. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Морфологія. 2025;19(3):65-72. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>

3.3 Довган Р. Р., Масна З. З. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії Вісник проблем біології і медицини – 2025 – Вип. 4 (179); 312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317

4. Базова установа, яка проводить впровадження: кафедра травматології, ортопедії та воєнно-польової хірургії Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького.

5. Термін впровадження: січень-лютий 2026 року

6. Форма впровадження: в навчальний процес та наукову роботу кафедри.

7. Зауваження та пропозиції: не поступило.

8. Протокол засідання кафедри № 10 від 22.01. 2026 р.

Відповідальний за впровадження:
Завідувач кафедри травматології,
ортопедії та воєнно-польової хірургії
Львівського національного медичного університету
імені Данила Галицького
к. мед. наук, доцент

 Яцкевич А.Я.

ДОДАТОК Б

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.

1. Довган РР, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на якість кісткової тканини стегнової кістки в експерименті. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2022;21(3):40-44

2. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз впливу іммобілізаційної гіподинамії на амплітуду рухів у кульшовому суглобі. Morphologia [Інтернет]. 2025;19(2):16-22. Доступно: <https://drive.google.com/file/d/1rhcyW4zbEXMrxTnSZUJoBLGIVT8-8411/view> DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.2.16-22>

3. Довган РР, Масна ЗЗ. Порівняння динаміки якості кісткової тканини шийки стегнової кістки щура та її мінерального складу упродовж різних термінів експериментальної гіподинамії. Morphologia [Інтернет]. 2025;19(3):65-72. Доступно: https://drive.google.com/file/d/14Ixn9hEaboR-AIYfPD5RuAB2W4d_VXNs/view. DOI: DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.65-72>

4. Довган РР, Масна ЗЗ. Аналіз динаміки щільності кісткової тканини стегнової кістки на тлі експериментальної гіподинамії. Вісник проблем біології і медицини. 2025;(4):312-317. DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-312-317

5. Довган РР, Пальтов ЄВ, Масна ЗЗ. Вплив гіподинамії на кульшовий суглоб і стегнову кістку за даними рентгенографії в експерименті. In: Proceedings of XI international scientific and practical conference; 2022 May 11-13; Manchester. Manchester; 2022. p. 70-73. (

6. Довган Р, Чалий І-В, Камінська М, Онучак Т, Масна З. Аналіз динаміки змін мінеральної щільності кісткової тканини стегнової кістки щура

при посиленні фізичних навантажень та гіподинамії. В: Збірник тез науково-практичної конференції з міжнародною участю Досягнення та перспективи лектино-морфології до 70-річного ювілею професора кафедри гістології, цитології та ембріології, Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Олександра Дмитровича Луцика; 2024 Трав 10; Львів. Львів; 2024. с. 47-48.

7. Довган Р, Масна З. Динаміка вмісту мінеральних елементів у кістковій тканині стегнової кістки щура при гіподинамії. В: Матеріали Восьмої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології; 2024 Лист 6-8; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2024. с. 44-45.

8. Довган Р, Масна З. Динаміка зміни амплітуди рухів у кульшовому суглобі після іммобілізаційної гіподинамії різної тривалості. В: Матеріали 9-го Міжнародного наукового Симпозіуму SMARTLION 2025 Медична освіта та наукові дослідження в Україні під час війни. Львів; 2025. с. 26-28.

9. Dovgan R, Masna Z. Comparison of the dynamics of bone tissue quality and mineral composition of the femoral neck in rats during different periods of experimental hypokinesia. В: Матеріали Дев'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології; 2025 Лист 6-7; Дніпро. Дніпро: ДДМУ; 2025. с. 75-76.

10. Адамович ОО, Довган РР, Согуйко РР, Рудницька ХІ, Орел МГ, Масна ЗЗ. Аналіз симетричності якості кісткової тканини різних ділянок скелета людини і експериментальних тварин. Вісник проблем біології і медицини. 2025; (4 дод):15-17. DOI 10.29254/2523-4110-2025-4-179/addition-15-17

11. Довган Р., Согуйко Р., Бондарчук Н., Рудницька Х. Динаміка мінерального складу кісткової тканини під впливом патогенних чинників та гіподинамії. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми морфології людини» (присвяченої 80-річчю професора Ю.М.Вовка) – 2026. с. 60-62

ДОДАТОК В

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

XI International Scientific and Practical Conference. (Manchester. Great Britain. May 11 – 13, 2022) – публікація тез;

науково-практична конференція з міжнародною участю «Досягнення та перспективи лектино-морфології» до 70-річного ювілею професора кафедри гістології, цитології та ембріології, Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Олександра Дмитровича ЛУЦИКА (м. Львів, Україна 10 травня 2024) – публікація тез, усна доповідь;

Восьма Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології (м. Дніпро, Україна. 6-8 листопада 2024) – публікація тез;

9-ий Міжнародний науковий Симпозіум SMARTLION 2025 «Медична освіта та наукові дослідження в Україні під час війни» (Львів, Україна 16 жовтня 2025) – публікація тез, постерна доповідь;

Дев'ята Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю Теорія та практика сучасної морфології (м. Дніпро, Україна. 6-7 листопада 2025) – публікація тез, постерна доповідь;

Четвертий міжнародний морфологічний симпозіум «Новітні досягнення клінічної анатомії і оперативної хірургії в розвитку сучасної медицини і стоматології (м. Полтава, Україна. 18-19 грудня 2025 року) – публікація тез, усна доповідь;

Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Сучасні проблеми морфології людини» (присвяченої 80-річчю професора Ю.М.Вовка) – публікація тез, усна доповідь