

УДК 617.58-089.873-057.36-074:57.088.6](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025312-19>

Мінеральна щільність кісткової тканини та статус вітаміну D у військовослужбовців після ампутації нижніх кінцівок

Н. В. Григор'єва¹, А. Б. Віленський², О. З. Стеф'юк³,
І. І. Каут², Д. Ю. Курило¹, А. В. Інюшина¹

¹ ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України», Київ

² Благодійна організація «Благодійний фонд «Суперлюди», Львів, Україна

³ Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького, Україна

The study aimed to assess bone mineral density (BMD) and vitamin D status in war veterans after unilateral lower limb amputation (ULLA). Methods. In the case-control study, 64 men aged 20–54 years were examined and divided into two groups: healthy subjects without any diseases or conditions affecting bone metabolism (control group) and men who received ULLA (study group). The analysis was performed depending on the presence and level of amputation. BMD was measured by two energy X-ray absorptiometry, and vitamin D status was assessed by serum dihydroxyvitamin D (25(OH)D) levels. Results. Significantly lower BMD values were found in the femoral neck and the hip of the amputated ($p = 0.00002$ and $p = 0.0002$, respectively), but not in the contralateral side or lumbar spine in amputees compared with controls. Significantly worse BMD indices were found in the femoral neck and the hip in men with transfemoral amputation compared with those with transtibial amputation at the level of the amputation, but not the contralateral side. BMD of the femoral neck of the amputated side significantly correlated with the duration of the post-amputation period ($r = -0.47$; $p = 0.01$). Significantly lower serum level of 25(OH)D was found in amputees compared to controls (25.9 ± 4.8) and (32.0 ± 9.8) ng/ml; $p = 0.002$). 50 % of the control group and 81.25 % of the study group had low side of 25(OH)D. Conclusions. The results demonstrated BMD changes in subjects after ULLA, a significant relationship between BMD and the duration of the post-amputation period, and a high proportion of vitamin D deficiency and insufficiency, which should be taken into account when planning rehabilitation measures in this category of patients. Keywords. Lower-limb amputation; bone mineral density; 25(OH)D; DXA; osteoporosis.

Мета. Оцінити мінеральну щільність кісткової тканини (МЩКТ) та статус вітаміну D у військовослужбовців після односторонньої ампутації нижньої кінцівки (НК). Методи. Обстежено 64 чоловіків віком 20–54 років, поділених на 2 групи: здорові особи без будь-яких захворювань і станів із визначеним впливом на метаболізм кісткової тканини (контрольна група) та потерпілі після ампутації однієї НК (досліджувана група). Аналіз проводили залежно від наявності й рівня ампутації. Вимірювання МЩКТ здійснювали за допомогою двофотонної рентгенівської абсорбціометрії, статус вітаміну D оцінювали за сироватковим рівнем ди-гідроксिवітаміну D (25(OH)D). Результати. Виявлено достовірно нижчі показники МЩКТ шийки стегнової кістки (ШСК) та проксимального відділу стегнової кістки (ПВСК) ампутованої кінцівки ($p = 0.00002$ та $p = 0.0002$, відповідно), проте не контрлатеральної НК чи хребта в ампутованих осіб порівняно з показниками контролю. Зафіксовано достовірно гірші показники МЩКТ ШСК та ПВСК у чоловіків із трансфеморальною ампутацією порівняно з особами з транстібіальною на рівні ампутованої, проте не контрлатеральної НК. МЩКТ ШСК ампутованої НК достовірно корелювала з тривалістю постампутаційного періоду ($r = -0.47$; $p = 0.01$). Виявлено достовірно нижчі показники сироваткового рівня 25(OH)D в осіб із ампутацією порівняно з контролем (25.9 ± 4.8) та (32.0 ± 9.8) нг/мл; $p = 0.002$). Низькі рівні 25(OH)D мали 50 % осіб контрольної та 81,25 % досліджуваної групи. Висновки. Результати дослідження продемонстрували погіршення стану кісткової тканини на тлі односторонньої ампутації НК, достовірний зв'язок між МЩКТ і тривалістю постампутаційного періоду та високу частку дефіциту й недостатності вітаміну D, що слід урахувати під час планування реабілітаційних заходів у цієї категорії хворих.

Ключові слова. Ампутація нижньої кінцівки; мінеральна щільність кісткової тканини; 25(OH)D; ДРА; остеопороз

Вступ

Повномасштабне вторгнення росії в Україну за три роки призвело до безпрецедентного збільшення кількості бойових вогнепальних і мінно-вибухових уражень як серед військовослужбовців, так і цивільного населення. Серед цих травм особливе місце займають ампутації кінцівок (АК), які не лише порушують цілісність опорно-рухової системи, але й характеризуються глибокими фізіологічними, психоемоційними та соціальними наслідками для травмованих осіб і суспільства загалом. Важливими ускладненнями ампутацій є посттравматичний стресовий розлад, фантомний біль, інфекційні ураження, а також постімобілізаційний остеопороз, який перешкоджає адекватній реабілітації хворих і спричинює розвиток малотравматичних переломів у віддаленому періоді [1–2].

На жаль, сьогодні в літературних джерелах є обмежені дані, опубліковані останніми роками, щодо розвитку постімобілізаційного остеопорозу та його ускладнень в осіб з ампутаціями [3–6], а наявна інформація щодо впливу ампутації на темпи розвитку захворювання є фрагментарною та не повною мірою відображає її реальні наслідки для здоров'я травмованих. Більшість існуючих досліджень чи систематичних оглядів щодо постімобілізаційного остеопорозу вивчають особливості втрати кісткової тканини в астронавтів [7, 8] та осіб із хронічними захворюваннями, які призводять до тривалої іммобілізації [9, 10], а високоякісних наукових досліджень щодо комплексної оцінки стану кісткової тканини в осіб після АК вкрай мало.

Тому подальші спостереження стану кісткової тканини в цієї категорії поранених дозволять виявити особливості її втрати, розробити персоналізовані підходи до профілактики та лікування постімобілізаційного остеопорозу, а також зменшити кількість ускладнень через тривалу реабілітацію та інвалідизацію. Вивчення цього питання сприятиме формуванню нових протоколів фізичної терапії та медикаментозної корекції з урахуванням анатомо-функціональних змін після ампутації. Результати матимуть не лише клінічну, але й гуманітарну та стратегічну цінність для післявоєнного відновлення країни, реінтеграції ветеранів у суспільство та формування ефективної системи військової медицини в майбутньому. **Мета:** оцінити мінеральну щільність кісткової тканини (МЩКТ) та статус вітаміну D у військовослужбовців після односторонньої ампутації нижньої кінцівки.

Матеріал і методи

Для реалізації поставленої мети нами на базі центру «Superhumans», Львівського територіального медичного об'єднання «Клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги» та ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України» (м. Київ) у червні–серпні 2024 р. проведено дослідження «випадок – контроль» за участю 64 чоловіків віком 20–54 років (середній вік $35,0 \pm 8,3$).

Для аналізу виділено дві групи: здорові чоловіки без будь-яких захворювань і станів із визначеним впливом на метаболізм кісткової тканини (контрольна група, $n = 32$, середній вік $34,9 \pm 9,0$ років) та особи, які отримали ампутацію однієї нижньої кінцівки внаслідок військових дій та знаходились у центрі «Superhumans» з метою первинного чи вторинного протезування (досліджувана група, $n = 32$, середній вік $35,1 \pm 7,8$ років). У подальшому для аналізу чоловіки другої групи були поділені на дві підгрупи: А — особи з трансфеморальною ампутацією та Б — із транстібіальною.

Дослідження проводили з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини (2000 р.), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (1997 р.), основ законодавства України про охорону здоров'я (1992 р.), чинними національними етичними стандартами проведення клінічних досліджень. Роботу було схвалено локальним етичним комітетом ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України» (протокол № 4 від 20.06.2024). Усі учасники надали письмову інформовану згоду на участь у ньому.

У роботі використовували загальноклінічні, інструментальні та лабораторні методи дослідження.

Вимірювання основних антропометричних показників (зросту та маси тіла) з розрахунком індексу маси тіла (ІМТ) проводили за допомогою каліброваного стаціонарного ростоміра «Seca202», РП-200 та медичних терезів «Здоров'я» уранці, натщесерце, у спокійному стані після сечовипускання, у легкому одязі, без взуття та головних уборів. Результати вимірювання зросту фіксували з точністю до 1 см, маси тіла — до 0,1 кг.

У осіб досліджуваної групи також обчислювали скориговану масу тіла (маса (кор.)), яка відображає наближене значення «повної» ваги в пацієнта без ампутації з використанням формули:

$$\text{маса (кор.)} = \text{маса (фактична)} - P,$$

де маса (фактична) — це маса тіла пацієнта (кг) без урахування протеза; P — частка загальної маси тіла, що втрачена внаслідок ампутації (у десятковому форматі, напр. $0,059 = 5,9\%$). Для ампутації однієї кінцівки нижче колінного суглоба вона складає $\sim 5,9\%$ ($p = 0,059$), вище 16% , повної стопи $\sim 1,5\%$ [11].

ІМТ розраховували за загальноприйнятою формулою ($\text{ІМТ} = \text{маса тіла (кг)} / \text{зріст (м)}^2$) для осіб контрольної групи та за подібною, але адаптованою формулою з показником скоригованої маси тіла (маса тіла кор.) залежно від рівня АК ($\text{ІМТ кор.} = \text{маса тіла кор. (кг)} / \text{зріст (м)}^2$) у чоловіків досліджуваної групи.

Вимірювання МЩКТ проводили за допомогою методу двофотонної рентгенівської абсорбціометрії (ДРА) із використанням двох денситометрів DISCOVERY з автоматичним розрахунком Z-показника за допомогою програмного забезпечення денситометра. Показники вимірювали на рівні проксимального відділу стегнової кістки (ПВСК) та її шийки в ампутованій та контрлатеральній кінцівках, а також на рівні поперекового відділу хребта (ПВХ) L_1 – L_{IV} . Дослідження здійснювали в першій половині дня два кваліфіковані фахівці. Підготовку та позиціонування обстежених, автокалібрування та контроль якості денситометрів за допомогою QA-фантому проводили згідно з вимогами виробника.

Лабораторні дослідження передбачали вимірювання рівня дигідроксिवітаміну D ($25(\text{OH})\text{D}$) у сироватці крові методом електрохемілюмінесцентного імуноаналізу (ECLIA) за допомогою автоматизованого аналізатора Cobas e411 (Roche Diagnostics) з використанням оригінальних реагентів Roche. Забір венозної крові обстежених здійснювали вранці натщесерце з наступним її центрифугуванням (за 2 000 об/хв протягом 10 хв для отримання сироватки) й аналізом.

Статистичний аналіз проводили з використанням програм «Statistika 10.0» Copyright© StatSoft, Inc. 1984–2001, Serial number 31415926535897. Характер розподілу результатів визначали за критерієм Шапіро-Вілکا. За умови нормального розподілу даних їх подавали у вигляді середнього значення та стандартного відхилення ($M \pm SD$), за умов розподілу, відмінному від нормального — у вигляді медіани (Me) і міжквартильного інтервалу [LQ – UQ]. Зв'язки між показниками оцінювали за допомогою кореляційного аналізу Пірсона чи Спірмена залежно від характеру їхнього розподілу. Відмінності між кількісними показниками досліджуваних груп оцінювали за

допомогою тесту Стюдента для непов'язаних вибірок і критерію Манна-Уїтні (Mann-Whitney U Test), відмінності між відсотковими показниками оцінювали за допомогою χ^2 і вважали достовірними за умови $p < 0,05$.

Результати

Проведений аналіз результатів продемонстрував, що обстежені не відрізнялись за віком ($t = 0,11$, $p = 0,91$), масою тіла ($81,4 \pm 13,9$) у контрольній та ($77,1 \pm 13,8$) кг у досліджуваних групах, відповідно, $t = 1,2$; $p = 0,22$), скоригованою масою тіла ($81,4 \pm 13,9$) та ($88,7 \pm 16,8$) кг, відповідно, $t = 1,9$; $p = 0,07$) та ІМТ ($25,2 \pm 3,6$) та ($25,0 \pm 4,1$) кг/м^2 ; $t = 1,1$; $p = 0,82$), хоча особи досліджуваної групи мали достовірно менші показники зросту (відповідно $175,6 \pm 5,2$) та ($179,6 \pm 6,3$) см; $t = 2,7$; $p = 0,008$) та більші значення скоригованої маси тіла ($28,7 \pm 5,0$) та ($25,2 \pm 3,6$) кг/м^2 , відповідно, $t = 3,2$; $p = 0,002$).

Травматична ампутація у пацієнтів досліджуваної групи підтверджена на рівні гомілки ($n = 21$) чи стегна ($n = 11$). Тривалість постампутаційного періоду в обстежених цієї групи була від 1,5 до 27 міс. і склала, у середньому, 5,0 (4,0–7,0) міс. Вона не відрізнялась залежно від рівня ампутації (транстібіальна (5,0 (3,5–6,0) міс. чи трансфemorальна (6,0 (4,0–7,0) міс.; у $Z = 1,28$; $p = 0,20$). Також хворі досліджуваної групи не відрізнялись між собою за показниками віку ($t = 0,62$; $p = 0,54$), зросту ($t = 0,34$; $p = 0,73$), маси тіла ($t = 0,68$; $p = 0,50$) й ІМТ ($t = 0,85$; $p = 0,40$), хоча чоловіки з трансфemorальною ампутацією мали достовірно більші показники скоригованих маси тіла ($t = 2,11$; $p = 0,04$) та ІМТ ($t = 2,20$; $p = 0,04$).

Вивчення факторів ризику низької МЩКТ встановило, що серед обстежених 65,6 % осіб досліджуваної групи та 31,3 % чоловіків контрольної групи палили ($\chi^2 = 7,57$; $p = 0,006$). Попередні високотравматичні переломи мали 18,8 % осіб досліджуваної та 15,6 % чоловіків контрольної групи. Супутні хронічні захворювання з боку дихальної, серцево-судинної системи, шлунково-кишкового тракту мали 31,3 % осіб дослідної та 18,8 % чоловіків контрольної групи ($\chi^2 = 1,22$; $p = 0,24$).

Аналіз показників ДРА (табл. 1) в обстежених залежно від наявності травматичної ампутації виявив достовірно нижчі дані МЩКТ в осіб досліджуваної групи порівняно зі значеннями контролю на рівні шийки стегнової кістки (ШСК) та ПВСК ампутованої кінцівки ($t = 4,7$; $p = 0,00002$ та $t = 4,0$; $p = 0,0002$ відповідно). На відміну від вищезазначеного, достовірних відмінностей МЩКТ на рівні ШСК та ПВСК контрлатеральної

до ампутації кінцівки нами не виявлено ($t = 0,2$; $p = 0,84$ та $t = 1,0$; $p = 0,33$ відповідно). Показники МЩКТ на рівні ПВХ мали тенденцію до відмінностей, проте достовірних значень не досягали ($t = 1,8$; $p = 0,07$, табл. 1).

Низьку МЩКТ ШСК та ПВСК ($Z\text{-index} \leq -2\text{ SD}$) на рівні ампутованої кінцівки виявлено в 42 та 39 % випадків досліджуваної групи й у жодного хворого на рівні контрлатеральної до АК, тоді як у осіб контрольної групи низьку МЩКТ ($Z\text{-index} \leq -2\text{ SD}$) не зафіксовано в жодного чоловіка ні на рівні ШСК, ні ПВСК.

Оцінювання результатів ДРА в осіб досліджуваної групи залежно від рівня ампутації (табл. 2) виявило достовірно гірші показники в чоловіків із трансфеморальною ампутацією порівняно з особами з транстібіальною на рівні ампутованої,

проте не контрлатеральної до ампутації кінцівки. Достовірних відмінностей МЩКТ ПВХ залежно від рівня ампутації нами не отримано.

МЩКТ ШСК (рис. 1) ампутованої кінцівки достовірно корелювала з тривалістю постампуційного періоду ($r = -0,47$; $p = 0,01$). Подібні зв'язки на рівні ПВСК цієї кінцівки були менш виражені ($r = -0,35$; $p = 0,06$) та відсутні на рівні ПВХ ($r = -0,09$; $p = 0,64$) та проксимального відділу контрлатеральної. Оцінювання зв'язку між показниками МЩКТ ШСК ампутованої кінцівки та тривалістю постампуційного періоду у хворих дослідної групи залежно від рівня ампутації (трансфеморальна чи транстібіальна) виявило достовірний зв'язок в осіб з ампутацією на рівні стегна ($R = -0,78$; $p = 0,008$), проте не на рівні гомілки ($R = -0,20$; $p = 0,40$).

Таблиця 1

Показники двоенергетичної рентгенівської денситометрії в обстежених залежно від наявності ампутації нижньої кінцівки

Показник / Група	Контрольна група	Досліджувана група	t	p
МЩКТ ПВХ, г/см ²	1,06 ± 0,11	1,00 ± 0,11	1,8	0,07
Показник Z ПВХ, SD	-0,31 ± 1,05	-0,71 ± 1,03	1,5	0,13
МЩКТ ШСК контрлатеральної кінцівки, г/см ²	0,87 ± 0,14	0,87 ± 0,12	0,2	0,84
Показник Z ШСК контрлатеральної кінцівки, SD	-0,06 ± 0,98	-0,12 ± 0,83	0,3	0,78
МЩКТ ПВСК, контрлатеральної кінцівки, г/см ²	1,00 ± 0,20	1,04 ± 0,13	1,0	0,33
Показник Z ПВСК, контрлатеральної кінцівки, SD	0,07 ± 0,81	0,18 ± 0,83	0,6	0,58
МЩКТ ШСК ампутованої кінцівки, г/см ²	0,87 ± 0,14	0,66 ± 0,20	4,7	0,000020
Показник Z ШСК ампутованої кінцівки, SD	-0,06 ± 0,98	-1,61 ± 1,48	4,8	0,000010
МЩКТ ПВСК ампутованої кінцівки, г/см ²	1,00 ± 0,20	0,78 ± 0,22	4,0	0,000200
Показник Z ПВСК ампутованої кінцівки, SD	0,07 ± 0,81	-1,51 ± 1,46	5,2	0,000003

Примітка. SD — сигмальне відхилення.

Таблиця 2

Показники двоенергетичної рентгенівської денситометрії в обстежених залежно від рівня ампутації нижньої кінцівки

Показник / Група	Підгрупа А	Підгрупа Б	t	p
МЩКТ ПВХ, г/см ²	0,97 ± 0,11	1,02 ± 0,12	1,0	0,31
Показник Z ПВХ, SD	-1,02 ± 0,98	-0,56 ± 1,05	1,2	0,25
МЩКТ ШСК контрлатеральної кінцівки, г/см ²	0,85 ± 0,11	0,87 ± 0,13	0,5	0,65
Показник Z ШСК контрлатеральної кінцівки, SD	-0,31 ± 0,80	-0,02 ± 0,84	0,9	0,38
МЩКТ ПВСК, контрлатеральної кінцівки, г/см ²	1,03 ± 0,07	1,04 ± 0,15	0,3	0,75
Показник Z ПВСК, контрлатеральної кінцівки, SD	0,08 ± 0,46	0,23 ± 0,96	0,5	0,64
МЩКТ ШСК ампутованої кінцівки, г/см ²	0,47 ± 0,12	0,76 ± 0,16	5,0	0,000030
Показник Z ШСК ампутованої кінцівки, SD	-3,11 ± 0,87	-0,86 ± 1,10	5,6	0,000005
МЩКТ ПВСК ампутованої кінцівки, г/см ²	0,59 ± 0,18	0,88 ± 0,17	4,3	0,000200
Показник Z ПВСК ампутованої кінцівки, SD	-2,81 ± 1,21	-0,86 ± 1,11	4,4	0,000100

Примітки: А — ампутація нижньої кінцівки на рівні стегна, Б — на рівні гомілки.

Аналіз рівня 25(OH)D сироватки крові в обстежених залежно від наявності ампутації нижньої кінцівки виявив достовірно нижчі показники в досліджуваній групі порівняно з контролем ($(25,9 \pm 4,8)$ та $(32,0 \pm 9,8)$ нг/мл; $t = 3,2$; $p = 0,002$). Низькі рівні 25(OH)D сироватки крові були у 50 % групи контролю та 81,25 % осіб досліджуваної групи. Дефіцит вітаміну D мали 6,25 % чоловіків досліджуваної та контрольної груп, 75 та 43,75 % — його недостатність і 18,75 і 50 % — нормальні сироваткові значення 25(OH)D. Проте достовірних відмінностей ($t = 0,42$; $p = 0,68$) рівня 25(OH)D залежно від рівня ампутації нами не виявлено. За трансформальної ампутації він склав $(25,4 \pm 3,84)$ нг/мл, трансгібіальної — $(26,2 \pm 5,21)$ нг/мл.

Обговорення

Через вторгнення росії в Україну останніми роками катастрофічно зросла кількість травм та ампутацій кінцівок як серед цивільного населення, так і військовослужбовців. АК є складною хірургічною процедурою, яка має не лише важливі патофізіологічні й анатомічні наслідки, але й значуще впливає на їхнє психологічне здоров'я й якість життя пацієнтів. Одним із критичних аспектів, що часто залишається недооціненим, є вплив ампутації на здоров'я кісткової тканини. Втрата кінцівки призводить до кардинальних змін у механічному навантаженні, метаболізмі кісткової тканини та загальному функціонуванні організму. Проте на сьогодні дослідження щодо впливу ампутації на здоров'я кісткової тканини є фрагментарними та не повною мірою відображають реальні наслідки війни для здоров'я

військовослужбовців. Це унеможливорює цілеспрямоване планування необхідних медичних заходів, ранню діагностику постімобілізаційного остеопору й ефективну реабілітацію постраждалих.

У патогенезі розвитку постімобілізаційного остеопору, який розвивається в постраждалих після ампутації, ключову роль має втрата адекватного механічного навантаження. Згідно з законом Вольфа (Wolff's Law), сформульованого німецьким анатомом Юліусом Вольфом у XIX ст., кісткова тканина постійно адаптується до навантажень, які на неї діють, забезпечують адекватний темп кісткового ремоделювання [12]. Наявність підвищеного механічного навантаження веде до збільшення міцності кісткової тканини, його відсутність, навпаки, спричинює прогресивну втрату кісткової тканини та розвиток постімобілізаційного остеопору. Зменшення механічного стресу на кістку, як це відбувається після ампутації чи під час тривалого ліжкового режиму, призводить до дисбалансу процесів ремоделювання з переважанням кісткової резорбції.

Постімобілізаційний остеопороз, який розвивається внаслідок бездіяльності (імобілізація, тривалий ліжковий режим, паралічі, а також ампутація) є одним із найпотужніших факторів, що призводять до швидкої втрати кісткової маси [13–15], яка перевищує подібну навіть у жінок у перші роки після настання менопаузи [16]. Важливими патофізіологічними складовими постімобілізаційного остеопору є функціонування клітин кісткової тканини (зниження активності остеобластів і підвищення активності остеокластів, порушення функціонування остеокитів), що веде до збільшення темпів резорбції кісткової тканини, зміни в її мікроархітектурі (стоншення трабекул, зменшення їх кількості через погіршення зв'язків між ними, що призводить до збільшення крихкості кістки й зростання ризику переломів), порушення місцевого кровообігу та нервової регуляції, яке посилює процеси демінералізації кісткової тканини.

На сьогодні вплив ампутації на показники МЩКТ вивчено недостатньо. Проведені дослідження та систематичні аналізи доводять знижену МЩКТ в осіб після ампутації [4–6, 17–19]. Більшість спостережень підтверджують у залишковій кінцівці (куксі), а деякі з них і в збереженій кінцівці, що свідчить про двосторонній вплив ампутації. За думкою науковців, зміни МЩКТ у контралатеральній кінцівці є результатом модифікації патернів ходьби та розподілу маси тіла пацієнта. І хоча здорова кінцівка здебільшого

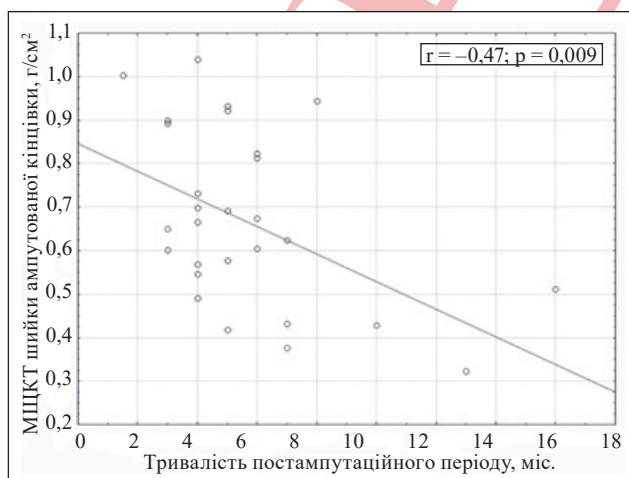


Рисунок. Зв'язок між МЩКТ стегнової кістки на стороні ампутації та тривалістю постанпутаційного періоду в хворих групи дослідження

піддається підвищеному навантаженню для компенсації втраченої функції, проте воно може бути недостатнім для підтримки оптимальної МЩКТ, або ж зменшення загальної фізичної активності призводить до системного впливу.

У дослідженні, проведеному D. A. Vemben і співавт. [4], продемонстровано швидко й виражену втрату міцності кісткової тканини в осіб із травматичними ампутаціями вже протягом перших 6 міс. після операції, яка не відновлювалась протягом 12 місяців після відновлення ходьби. Зменшення регіональної МЩКТ стегнової кістки на рівні ампутованої кінцівки склало 11–15 %. Дослідження підтвердило не лише втрату трабекулярної, але й кіркової кістки.

Аналогічно, J. H. Flint і співавт. [5] показали значну втрату МЩКТ після бойової ампутації нижньої кінцівки, підкреслюючи, що травматичний характер операції може додатково впливати на ці процеси. У ретроспективному порівняльному дослідженні «випадок – контроль» [5] за участю 156 осіб з ампутацією нижніх кінцівок (121 одностороння ампутація, 35 двостороння) у 42 % встановлено нижчий ($-1,2 \pm 1,0$ SD) показник Z в хворих із двосторонніми ампутаціями порівняно з відповідним показником у пацієнтів з односторонніми ($-0,6 \pm 1,1$ SD, $p = 0,005$). Крім того, в осіб із односторонніми ампутаціями встановлено виражену різницю показників МЩКТ інтактної й ампутованої кінцівки (відношення шансів (ВШ) $-1,0$; 95 % ДІ: від $-1,1$ до $-0,8$; $p < 0,001$). Важливими факторами низької МЩКТ був тривалий період до відновлення ходьби [відношення шансів (ВШ) $= 1,39$; 95 % ДІ: $1,003$ – $1,93$; $p = 0,048$] та більш високий рівень ампутації (ВШ $= 7,27$; 95 % ДІ: $3,21$ – $16,49$; $p < 0,001$).

Важливе значення рівня ампутації (трансфеморальна чи транстібіальна) на показники МЩКТ, отримане в нашому дослідженні, підтверджено також V. D. Sherk і співавт. [17], які автори пов'язують з особливостями зміненого перерозподілу навантаження.

Результати нашої роботи також співпадають з даними іншого недавно опублікованого когортного дослідження ADVANCE за участі 153 чоловіків-військовослужбовців Великої Британії з ампутуваними нижніми кінцівками порівняно з контрольною групою [6]. Авторами встановлено достовірне зниження МЩКТ шийки стегнової кістки порівняно з контролем (показник $t -0,08$ SD проти $-0,42$ SD; $p = 0,0001$). Це зниження було достовірним лише на рівні шийки стегнової кістки ампутованої кінцівки ($p = 0,0001$)

й більшим для осіб із трансфеморальною ампутацією порівняно з транстібіальною ($p < 0,001$) на тлі відсутності відмінностей у МЩКТ поперекового відділу хребта. Важливим висновком авторів статті є те, що втрата МЩКТ в ампутуваних осіб є механічною, а не системною і спричинена зміненим фізичним навантаженням на кінцівки. Через це локальні стратегії стимуляції кісткового обміну, зокрема завдяки адекватній фізичній реабілітації, можуть бути ефективними у відновленні осіб з ампутаціями.

Проте думку про локальну втрату кісткової тканини на рівні ампутованої кінцівки поділяють не всі дослідники. W. Ngo і співавт. [18] у своєму огляді відзначають, що ампутація може спричинити системні адаптації в усій кістково-м'язовій системі, включаючи зміни в м'язовій силі, балансі та патернах ходьби. Зазначене може опосередковано впливати на МЩКТ інших частин скелета, зокрема й внаслідок загального зниження фізичної активності чи зміну розподілу навантаження. Очевидно, що задля компенсації втраченої функції ампутованої кінцівки здорова частина часто піддається підвищеному, але аномальному навантаженню, що може призводити до змін МЩКТ в ній або, навпаки, до локального збільшення щільності залежно від індивідуальних патернів рухів і використання протеза.

З огляду на описане цікавими є результати ретроспективного когортного дослідження 44 британських чоловіків-ветеранів Другої світової війни з великими односторонніми ампутаціями нижніх кінцівок [19] (середній вік 73,0 років, а на момент ампутації — 26 років (17–57 років). Трансфеморальні ампутації були у 34 % пацієнтів, транстібіальні — у 66 %. МЩКТ на ампутованій стороні шийки стегнової кістки, вертлюзі та трикутнику Варда була достовірно нижчою, ніж на контрлатеральній кінцівці ($p < 0,0001$). Показник t склав, відповідно, $-2,26$ SD на ампутованій та $-1,10$ SD на здоровій кінцівках ($p < 0,00001$). Зважаючи на тривалий постампутаційний період у пацієнтів цього спостереження, стає очевидним відсутність відновлення МЩКТ в ампутованій кінцівці навіть через тривалий час після ампутації. Очевидно, що низька МЩКТ в ампутованій кінцівці може бути значущим фактором низькотравматичних переломів у цій категорії осіб.

Ще одним важливим чинником, який впливає на ремоделювання кісткової тканини й ризик переломів є дефіцит і недостатність вітаміну D [20]. Згідно з результатами нещодавно проведеного дослідження в Україні середній рівень загального

вітаміну D у сироватці крові у чоловіків віком 20–40 років складає 30,1 нг/мл [21]. Дослідження статусу цього вітаміну в ампутованих демонструють високу частку його дефіциту чи недостатності. Так, за даними Ё. Smith і співавт. [22] 68,8 % чоловіків з ампутованими нижніми кінцівками мали дефіцит вітаміну D, 10,4 % — недостатність. Менші відсотки дефіциту та недостатності вітаміну продемонстровано в дослідженні D. Bemben і співавт. [4] в осіб у ранньому післяампутаційному періоді перед встановленням протеза (відповідно, 12 % випадків мали його дефіцит і 25 % — недостатність). Результати нашого спостереження засвідчили нижчий сироватковий рівень вітаміну D в осіб із ампутацією порівняно з показниками контролю, проте відсутність достовірних відмінностей у групах залежно від рівня ампутації. Низькі значення сироваткового 25(OH)D виявлено у 81,25 % чоловіків після ампутації (дефіцит вітаміну D мали 6,25 %, недостатність — 75 %), що може мати негативний вплив на ремоделювання кісткової тканини й темпи її втрати.

Отже, результати проведеного дослідження свідчать про те, що ампутація нижньої кінцівки є вагомим фактором ризику для розвитку постімобілізаційного остеопорозу. Очевидно, що втрата механічного навантаження на кістки кукси призводить до швидкої демінералізації кісткової тканини, тоді як зміни в патернах рухів і загальному рівні активності можуть спричиняти менш виражене зниження МЩКТ у контралатеральній кінцівці, підвищуючи ризик остеопорозу та переломів. Розуміння цих механізмів є критично важливим для розробки ефективних стратегій профілактики та реабілітації. Комплексний підхід, що включає ранню мобілізацію, індивідуалізовані програми фізичних навантажень [23], адекватну нутритивну підтримку та, за необхідності, фармакологічне лікування, є ключовим для мінімізації негативних наслідків ампутації на здоров'я кісткової системи та покращення функціональних результатів пацієнтів.

Наше спостереження має низку обмежень. Серед них його дизайн (одноцентрове дослідження «випадок — контроль»), мала кількість обстежених і залученість пацієнтів лише чоловічої статі з односторонньою ампутацією НК і великий діапазон терміну від ампутації до обстеження (1,5–27 міс.).

Висновки

Результати проведеного дослідження продемонстрували достовірне зниження МЩКТ шийки стегнової кістки в чоловіків після односторонньої

ампутації на рівні ампутованої кінцівки порівняно з показниками здорових чоловіків і відсутності достовірних відмінностей на контралатеральній до ампутації стороні. Показники МЩКТ корелювали з тривалістю постампутаційного періоду та були нижчими в осіб із трансфеморальною ампутацією порівняно з показниками після транстібіальної.

Після односторонньої ампутації нижньої кінцівки у 81,25 % випадків були низькі рівні 25(OH)D сироватки крові (дефіцит вітаміну D — 6,25 %, недостатність — 75), що може мати негативний вплив на розвиток остеопорозу та малотравматичних переломів у віддаленому періоді після ампутації.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Очевидно, що через зростання наслідків російського вторгнення в Україну й збільшення кількості осіб із травмами й ампутаціями для детального вивчення стану кісткової тканини й особливостей її втрати в цієї категорії хворих необхідні високоякісні багатоцентрові проспективні дослідження з використанням сучасних інструментальних і лабораторних методів.

Інформація про фінансування. Автори декларують відсутність фінансової зацікавленості під час проведення цього дослідження та публікації результатів.

Внесок авторів. Григор'єва Н. В., Віленський А. Б. — концепція та дизайн дослідження, написання тексту; Стеф'юк О. З., Каут І. І., Інюшина А. В., Курило Д. Ю. — збір матеріалів, редагування тексту.

Список літератури

1. Kaur, Y., Cimino, S. R., Albarico, M., Mayo, A. L., Guilcher, S. J., Robinson, L. R., Hanada, E., & Hitzig, S. L. (2020). Physical function outcomes in patients with lower-limb amputations due to trauma: A systematic review. *JPO journal of prosthetics and orthotics*, 33(2), 88–95. <https://doi.org/10.1097/jpo.0000000000000313>
2. Esfandiari, E., Yavari, A., Karimi, A., Masoumi, M., Soroush, M., & Saeedi, H. (2018). Long-term symptoms and function after war-related lower limb amputation: A national cross-sectional study. *Acta orthopaedica et traumatologica turcica*, 52(5), 348–351. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2017.04.004>
3. Jin, S., An, C. H., Jeong, H. Y., Choi, W., Hong, S., Song, H. K., Kim, H. S., Lee, Y. K., Kang, H. J., Ahn, D., & Yang, H. (2024). Importance of bilateral hip assessments in unilateral lower-limb amputees: A retrospective review involving older veterans. *Journal of clinical medicine*, 13(14), 4033. <https://doi.org/10.3390/jcm13144033>
4. Bemben, D. A., Sherk, V. D., Ertl, W. J., & Bemben, M. G. (2017). Acute bone changes after lower limb amputation resulting from traumatic injury. *Osteoporosis international*, 28(7), 2177–2186. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-4018-z>
5. Flint, J. H., Wade, A. M., Stocker, D. J., Pasquina, P. F., Howard, R. S., & Potter, B. K. (2014). Bone mineral density loss after combat-related lower extremity amputation. *Journal of orthopaedic trauma*, 28(4), 238–244. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e3182a66a8a>
6. McMenemy, L., Behan, F. P., ... & Kaufmann, J. (2023). Association between combat-related traumatic injury and skeletal health: bone mineral density loss is localized and correlates with altered loading in amputees: the Armed Services Trauma Rehabilitation Outcome (ADVANCE) Study. *Journal of*

- bone and mineral research, 38(9), 1227–1233. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4794>
7. Coulombe, J. C., Senwar, B., & Ferguson, V. L. (2020). Space-flight-induced bone tissue changes that affect bone quality and increase fracture risk. *Current osteoporosis reports*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11914-019-00540-y>
 8. Harris, L. R., Jenkin, M., & Herpers, R. (2022). Long-duration head down bed rest as an analog of microgravity: Effects on the static perception of upright. *Journal of vestibular research*, 32(4), 325–340. <https://doi.org/10.3233/ves-210016>
 9. Saleh, I., Akbar, A., Hasan, H. S., Yulisa, N. D., & Aprilya, D. (2025). Clinical characteristics and bone mineral density score in post-stroke neuromuscular deficit. *Journal of clinical medicine research*, 17(2), 119–124. <https://doi.org/10.14740/jocmr6070>
 10. Zheng, X., Qi, Y., Zhou, H., Kang, H., Tong, Y., & Bi, L. (2021). Bone mineral density at the distal femur and proximal tibia and related factors during the first year of spinal cord injury. *International journal of general medicine*, 14, 1121–1129. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s297660>
 11. Osterkamp, L. K. (1995). Current perspective on assessment of human body proportions of relevance to amputees. *Journal of the american dietetic association*, 95(2), 215–218. [https://doi.org/10.1016/s0002-8223\(95\)00050-x](https://doi.org/10.1016/s0002-8223(95)00050-x)
 12. Chen, J., Liu, C., You, L., & Simmons, C. A. (2010). Boning up on Wolff's law: Mechanical regulation of the cells that make and maintain bone. *Journal of biomechanics*, 43(1), 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.09.016>
 13. Rolvien, T., & Amling, M. (2021). Disuse osteoporosis: Clinical and mechanistic insights. *Calcified tissue international*, 110(5), 592–604. <https://doi.org/10.1007/s00223-021-00836-1>
 14. Grygorieva, N., Dedukh, N., Parubets, M., & Bystrytska, M. (2022). Disuse (post-mobilization) osteoporosis: Literature review and clinical case series. *Pain, joints, spine*, 12(3), 94–107. <https://doi.org/10.22141/pjs.12.3.2022.335>
 15. Alexandre, C., & Vico, L. (2011). Pathophysiology of bone loss in disuse osteoporosis. *Joint bone spine*, 78(6), 572–576. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2011.04.007>
 16. Buettmann, E. G., Goldscheitter, G. M., Hoppock, G. A., Friedman, M. A., Suva, L. J., & Donahue, H. J. (2022). Similarities between disuse and age-induced bone loss. *Journal of bone and mineral research*, 37(8), 1417–1434. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4643>
 17. Sherk, V. D., Bemben, M. G., & Bemben, D. A. (2008). BMD and bone geometry in Transtibial and Transfemoral amputees. *Journal of bone and mineral research*, 23(9), 1449–1457. <https://doi.org/10.1359/jbmr.080402>
 18. Ngo, W., Finnerty, C., Finco, M., Holley, B., & Menegaz, R. A. (2022). Additive effects of diabetes and lower-limb amputation on osteoarthritis with comparison to diabetic and healthy controls. *The FASEB journal*, 36(S1). <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.s1.r3505>
 19. Kulkarni, J., Adams, J., Thomas, E., & Silman, A. (1998). Association between amputation, arthritis and osteopenia in British male war veterans with major lower limb amputations. *Clinical rehabilitation*, 12(4), 348–353. <https://doi.org/10.1191/026921598672393611>
 20. Lips, P., & Van Schoor, N. M. (2011). The effect of vitamin D on bone and osteoporosis. *Best practice & research clinical endocrinology & metabolism*, 25(4), 585–591. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2011.05.002>
 21. Grygorieva, N., Solonenko, T., & Musiienko, A. (2023). Vitamin D deficiency during the COVID-19 pandemic and war in Ukraine. *Pain, joints, spine*, 13(1), 7–14. <https://doi.org/10.22141/pjs.13.1.2023.352>
 22. Smith, É., Comiskey, C., Carroll, Á., & Ryall, N. (2011). A study of bone mineral density in lower limb amputees at a national prosthetics center. *JPO Journal of prosthetics and orthotics*, 23(1): 14–20. <https://doi.org/10.1097/jpo.0b013e318206dd72>
 23. Behan, F. P., Bull, A. M., Beck, B. R., Brooke-Wavell, K., Müller, R., Vico, L., Isaksson, H., Harvey, N. C., Buis, A., Sherman, K., Jefferson, G., Cleather, D. J., McGregor, A., & Bennett, A. N. (2024). Developing an exercise intervention to minimise hip bone mineral density loss following traumatic lower limb amputation: A Delphi study. *British journal of sports medicine*, 58(21), 1251–1257. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108721>

Стаття надійшла до редакції 04.08.2025	Отримано після рецензування 13.08.2025	Прийнято до друку 19.08.2025
---	---	---------------------------------

BONE MINERAL DENSITY AND VITAMIN D STATUS IN WAR VETERANS AFTER LOWER LIMB AMPUTATION

N. V. Grygorieva ¹, A. B. Vilenskyi ², O. Z. Stefiuk ³, I. I. Kaut ², D. Yu. Kurylo ¹, A. V. Iniushyna ¹

¹ State Institution «D. F. Chebotarev Institute of Gerontology of the NAMS Ukraine», Kyiv

² Charitable Organization «Charitable Fond «Superhumans», Lviv. Ukraine

³ Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv. Ukraine

✉ Nataliia Grygorieva, MD, Prof.: crystal_ng@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-4266-461X>

✉ Andrii Vilenskyi, MD, PhD: a.vilensky@superhumans.com; <https://orcid.org/0000-0003-7983-3581>

✉ Oksana Stefiuk, MD: oksanastefyuk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-3992-4311>

✉ Iryna Kaut, MD: i.kaut@superhumans.com; <https://orcid.org/0000-0001-7262-358X>

✉ Daryna Kurylo: kurilodarina@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0005-8075-2644A>

✉ Alina Iniushyna: iniushina@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0005-0435-7343>