

УДК 616.718+616 (079+005.4)

**В.М. Мацькевич, П.Ф. Дудій, В.М. Рижик, В.О. Пиптюк\****Кафедри радіології та радіаційної медицини (зав. – проф. В.М. Рижик), \* хірургії № 1 (зав. – проф. С.М. Василюк) ВДНЗ України “Івано-Франківський національний медичний університет”*

## ІНФОРМАТИВНІСТЬ МЕТОДІВ ПРОМЕНЕВОЇ ДІАГНОСТИКИ У ВИЗНАЧЕННІ СТАНУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ У ПАЦІЄНТІВ З ХРОНІЧНОЮ АРТЕРІАЛЬНОЮ НЕДОСТАТНІСТЮ НИЖНІХ КІНЦІВОК

**Резюме.** У статті проаналізовано методи променевої діагностики кісткової тканини нижніх кінцівок у пацієнтів з хронічною артеріальною недостатністю, спричиненою цукровим діабетом другого типу. Встановлено, що найвища чутливість, специфічність та кореляція між собою притаманна еталонній денситометрії та мультidetекторній комп'ютерній томографії. Двоенергетична рентгенівська денситометрія має слабший кореляційний зв'язок з вище вказаними методами та відповідно нижчі показники чутливості та специфічності.

**Ключові слова:** хронічна артеріальна недостатність, мінеральна щільність кісткової тканини, цукровий діабет другого типу.

В останні десятиліття постійно збільшується кількість хворих із судинною патологією, одночасно збільшується й кількість ампутацій кінцівок. Відомо, що основною причиною ампутацій кінцівок у пацієнтів літнього віку були та залишаються судинні захворювання: атеросклеротичні оклюзії, ускладнення цукрового діабету другого типу (ЦД2). Tracea A. Collins і співавт. [1] встановили, що існує тісний зв'язок між периферійними захворюваннями артерій (ПЗА) та остеопорозом. M. Laroche [2], вивчивши діагностичні результати у пацієнтів з хронічною артеріальною недостатністю (ХАН) тільки однієї кінцівки, виявив зниження мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ) у кістках стопи, гомілки та стегна в кінцівці, ураженій ПЗА, та відсутність кісткових змін у здоровій кінцівці. Основними рентгенодіагностичними методами дослідження кісткової тканини нижніх кінцівок є кількісна еталонна денситометрія (ЕД), двоенергетична рентгенівська абсорбціометрія (ДЕРА), кількісна комп'ютерна томографія (ККТ), мультidetекторна комп'ютерна томографія (МДКТ). Данські вчені, під час застосування ЕД як скринінгового методу у виявленні остеопорозу у чоловіків, виявили, що чутливість і специфічність становила 93 та 50% відповідно. АUC при ROC-аналізі методу досягла 0,75 [3]. Південнокорейські вчені, проводячи ДЕРА, не виявили змін трабекулярної тканини шийок стегно-

вих кісток у чоловіків з ЦД2 [4]. Угорські дослідники вивчали залежність між облітеруючим атеросклерозом (ОА) нижніх кінцівок і зміною МЩКТ за допомогою ДЕРА та встановили прямий зв'язок між тяжкістю ступеня ХАННК та остеопорозом [5]. Італійські дослідники не встановили зв'язку між показниками периферійної ККТ та ступенем ХАН [6]. Учені Великобританії, стверджують про існування дефіциту в кортикальній кістці, досліджуваній методом периферійної ККТ у пацієнтів з ЦД2 [7]. Американські вчені вивчали структурні зміни кісток та м'яких тканин стопи за допомогою методу МДКТ у пацієнтів з цукровим діабетом. Унаслідок МЩКТ голівок та діафізів плесневих кісток досліджуваної групи не вирізнялась від показників МЩКТ контрольної групи [8]. Невивченим залишається питання вибору методу діагностики кісткової тканини та галузь дослідження при ХАН відповідно до етіологічних факторів, а також об'єктивністю оцінки отриманих результатів щодо подальшого введення пацієнта з відповідними кістковими змінами.

**Мета дослідження:** з'ясувати діагностичні можливості еталонної денситометрії, двоенергетичної рентгенівської абсорбціометрії та мультidetекторної комп'ютерної томографії в об'єктивній оцінці змін кісткової тканини у пацієнтів з хронічною артеріальною недостатністю нижніх кінцівок.

© Мацькевич В.М., Дудій П.Ф., Рижик В.М., Пиптюк В.О., 2017

**Матеріал і методи.** Нами обстежено та проаналізовано дані променевого обстеження 60 осіб (вся група обстеження – чоловіки) з ПЗА нижніх кінцівок, спричиненими ЦД2, які проявлялись ХАН в умовах Івано-Франківської обласної клінічної лікарні і центральної міської клінічної лікарні м. Івано-Франківська з 2009р. по 2016 роки. Контрольна група нараховувала 15 осіб віком від 40 до 50 років.

Пацієнтам проведено еталонну денситометрію стоп у двох проекціях (108 рентгенограм обох стоп у прямій проекції та 76 рентгенограм обох стоп у боковій проекції). Також здійснено 55 денситограм методом ДЕРА шийки стегнової кістки; 50 МДКТ-сканогам шийок стегнових кісток та стоп.

Еталонну денситометрію здійснювали за допомогою цифрової рентгенографії обох стоп у двох проекціях, сходинокчастого алюмінієвого клин-еталону та математичної обробки отриманих даних.

Рентгенографічне дослідження здійснювали на апараті Orea T30 з алюмінієвим фільтром 4 мм. Для рентгенографії стоп у прямій проекції технічні параметри становили: напруга – 48 kV, експозиція – 3,2 mAs; у боковій проекції: напруга – 55 kV, експозиція – 4 mAs.

Проводили рентгенографію стоп у прямій проекції з використанням сходинокчастого алюмінієвого клин-еталону (рис. 1). Спочатку здійснювали рентгенографію правої стопи в прямій проекції у положенні пацієнта, сидячи на столі для рентгенографії, із зігнутими у колінах ногами; досліджувану стопу підшовною поверхнею поміщали на столі. Медіально від стопи, паралельно до неї на відстані 1,0 см, встановлювали алюмінієвий сходинокчастий клин-еталон. Поле опромінення, що вибирали з допомогою світлового центратора, охоплювало стопу та клин-еталон. Фокусна відстань становила 115,0 см. Рентгенографія проводилася з використанням решітки. Пучок рентгенівського випромінювання направляли вертикально на основу II-III плесневих кі-



Рис. 1. Рентгенографія правої стопи в прямій проекції з алюмінієвим клин-еталоном пацієнта з ЦД2

ток. Аналогічно проводили рентгенографію лівої стопи в прямій проекції.

Надалі проводили рентгенографію стоп у боковій проекції. Пацієнта вкладали на столі в положенні на боці. Досліджувана кінцівка лежача в колінному суглобі, латеральною поверхнею прилягаючи до стола. Алюмінієвий клин-еталон розміщений каудально від підшовної поверхні стопи на відстані 1,0 см. Протилежна кінцівка зігнута в колінному і кульшовому суглобах, відведена вперед. Поле опромінення вибирали так, щоб стопа з клин-еталоном були вкладені або по довжині поля, або по його діагоналі. Підшовна поверхня стопи була перпендикулярною до площини стола. Фокусна відстань становила 115,0 см. Рентгенографія проводилася з використанням решітки. Пучок рентгенівського випромінювання направляли вертикально на медіальний край стопи відповідно до рівня основ плесневих кісток. Відповідно до цієї укладки проводили рентгенологічне дослідження другої стопи.

Приймачем рентгенівського зображення був повноформатний плоскпанельний детектор з системою візуалізації, цифрової обробки та зберігання зображення.

На отриманих цифрових зображеннях на робочій станції, використовуючи програму eFilm з допомогою функції "Tools- Measurements-Ellipse" еліпсоподібною апертурою, площею  $600 \pm 50$  пікселів, визначали оптичну щільність кісткової тканини в проекції голівки першої плесневої кістки. Аналогічно цією ж апертурою вимірювали оптичну щільність м'яких тканин медіально від голівки першої плесневої кістки. Такою ж апертурою вимірювали оптичну щільність відповідної сходинок алюмінієвого клин-еталону. Отримані дані піддавалися математичній обробці, відповідно до запропонованих нами розрахунків (заявка на патент на корисну модель № 2016 05557):

1. Визначали абсолютну оптичну щільність кістки шляхом віднімання оптичної щільності м'яких тканин від оптичної щільності кісткової тканини. ( $D_{\text{абс.к.щ.}} = D_{\text{замір.к.щ.}} - D_{\text{м.т.}}$ ),

де  $D_{\text{абс.к.щ.}}$  – абсолютна оптична щільність кісткової тканини;

$D_{\text{замір.к.щ.}}$  – заміряна оптична щільність кісткової тканини;

$D_{\text{м.т.}}$  – оптична щільність м'яких тканин.

2. Приймаючи за 100% найбільш наближену до абсолютної щільності кісткової тканини вищу за значенням оптичну щільність сходинок клин-еталону, вираховували за допомогою пропорції, скільки процентів від даної сходинок має абсолютна оптична щільність кісткової тканини.

3. Використовуючи стандартизовані встановлені показники мінеральної щільності кожної сходинок у  $\text{mg}/\text{mm}^3$ , підставивши у пропорцію отриманий у попередньому розрахунку відсоток абсолютної оптичної щільності кісткової тканини, знаходили мінеральну щільність кісткової тканини у  $\text{mg}/\text{mm}^3$  (рис. 2).

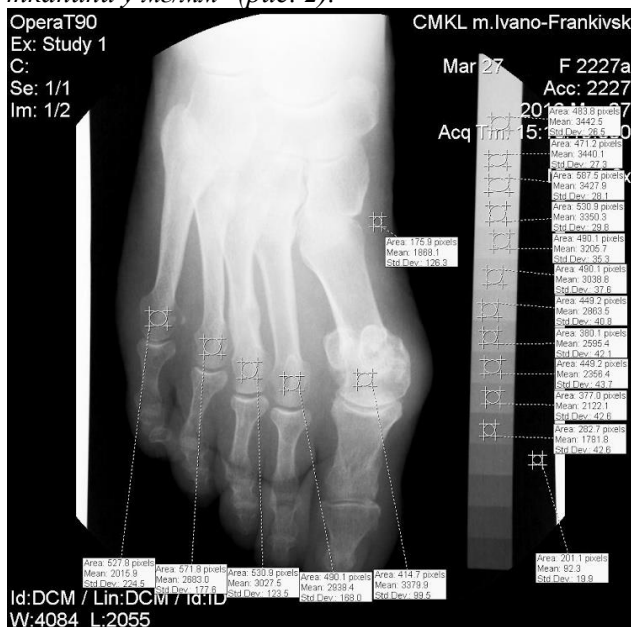


Рис. 2. Вимірювання оптичної щільності на цифровій рентгенограмі з допомогою функції “Tools-Measurements-Elipse”

Визначення мінеральної щільності кісткової тканини шийок стегнових кісток у пацієнтів проводили методом двоенергетичної рентгенівської денситометрії (технологія – DEXA) фірми Challenger (DMS, Франція).

Методика основана на принципі порівняння даних про мінеральну щільність кісткової тканини даного пацієнта з побудованою моделлю стану мінеральної щільності кісткової тканини в окремій етнічній популяції з урахуванням показників статі, віку та ваги.

Завдяки програмному забезпеченню апарату можливо вивести на екран монітора, перенести на знімний USB-флеш-накопичувач чи безпосередньо віддрукувати на папері дані у вигляді кольорового графіка, ділянку дослідження на рівні шийки стегна та таблицю з результатами. Графічне зображення відповідає по осі X віку пацієнта у роках, а по осі Y – мінеральній щільності кісткової тканини в  $\text{g}/\text{cm}^2$  (рис. 3).

Графік розбитий по горизонталі на чотири кольори.

Осі відповідають можливим станам кісткової тканини: у верхній частині смуга зеленого кольору позначає гіперостоз; наступна, нижче роз-

міщена – синього кольору – вікова норма; під синьою знаходиться смуга жовтого кольору, яка відповідає остеопенії; на найнижчому щаблі є смуга червоного кольору, яка відображає остеопороз.

На тлі кольорового графіка проведена крива оптимальної етнічної популяційно-вікової регресійної моделі мінеральної щільності кісткової тканини шийки стегнової кістки та паралельно до неї синім кольором – 10% відхилення від етнічної норми.

У розміщеній нижче таблиці комп'ютерна програма вираховує показники:

- Area – площа шийки стегнової кістки ( $\text{cm}^2$ );
- BMC – вміст мінералів в шийці стегна (грам);
- BMD – мінеральну щільність шийки стегнової кістки ( $\text{g}/\text{cm}^2$ );
- Z – відхилення мінеральної щільності кісткової тканини від середніх показників, що характерні для здорових людей відповідної статі та віку;
- T – критерій, що представляє собою співвідношення отриманих результатів цього пацієнта до показників нормальної пікової кісткової маси (людей віком 18-20 років).

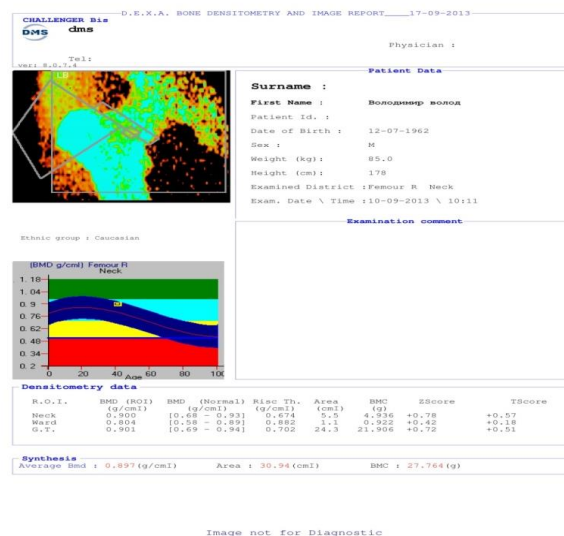


Рис. 3. Протокол денситограми шийки стегнової кістки пацієнта В (1962 р.н.)

Перед початком обстеження в комп'ютер вносили паспортні дані пацієнта, вік, стать, вагу. Далі проводилось калібрування апарату персонально до внесених даних. Пацієнта вкладали на стіл денситометра в положенні лежачи на спині з випрямленими ногами, скріпленими циклотками разом за допомогою спеціальної підставки з пасками. Світловий центратор встановлювали на рівні верхньої третини стегнової кістки

та проводили сканування шийок стегнових кісток у передньо-задній проекції.

Обробка отриманих результатів мінеральної щільності проводилась відповідно до рекомендацій Міжнародного товариства з клінічної денситометрії (ISCD-2015) [9]. Визначали T-критерій, показник якого в межах  $1 \pm 0,99$  є нормальним значенням. Зниження T-критерію нижче вказаного параметру до  $-2,5$  засвідчує про знижену кісткову масу, т.з. остеопенію. Значення T-критерію нижче  $-2,5$  є ознакою остеопорузу. У чоловіків молодше 50 років додатково вивчали значення Z-критерію. Значення Z-критерію нижче  $-2,0$  визначались як знижені від очікуваного діапазону для віку. Показники Z-критерію вище  $-2,0$  знаходились в межах очікуваного діапазону для віку.

МДКТ нижніх кінцівок пацієнтам проводили на апараті "Aquillon Prime" фірми Toshiba (Японія) у два етапи:

1) МДКТ кульшових суглобів із технічними параметрами згідно з протоколом HIP, які становили: напруга – 120 kV, сила струму – 250 mA, час повного обертання трубки – 0,75 с, товщина зрізу 3,0 мм.

Пацієнта вкладали на стіл комп'ютерного томографа в положення на спині, ногами вперед в напрямку до рами Гентрі. Ноги випрямлені, щиколотки пацієнта щільно прилягали одна до іншої. Ділянка сканування починалась над кульшовою западиною і закінчувалась нижче малого вертлюга (рис. 4).

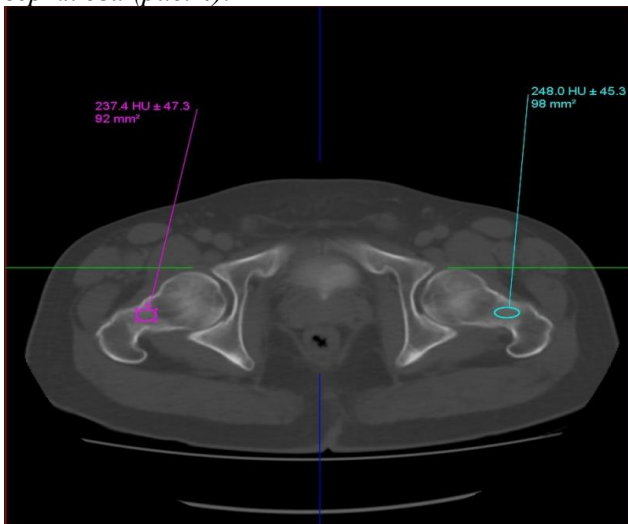


Рис. 4. МДКТ кульшових суглобів з вимірюванням щільності губчатої речовини шийок стегнових кісток в одиницях Хаунсфілда у пацієнта А. з діагнозом ОА

2) МДКТ гомілково-стопних суглобів з технічними параметрами відповідно до протоколу Ankle/Foot: напруга – 120 kV, сила струму – 100

mA, час повного обертання трубки – 0,5 с, товщина зрізу 0,5 мм.

Пацієнта укладали на стіл комп'ютерного томографа, ногами вперед в напрямку до рами Гентрі, пальці спрямовані до стелі. Ділянка сканування включала всю стопу, починаючи від горизонтальної суглобової щілини гомілково-стопного суглобу, закінчуючи дистальними фалангами пальців (рис. 5).

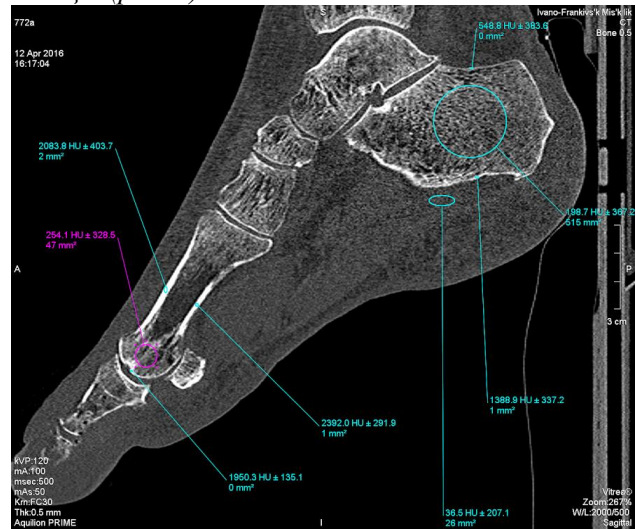


Рис. 5. МДКТ стопи в сагітальній проекції з вимірюванням щільності кісткової тканини та підлеглих м'яких тканин в одиницях Хаунсфілда у пацієнта С. з ОА

Під час аналізу стану кісткової тканини вивчали стан кіркової та губчатої речовин. При визначенні мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ) користувались одиницями Хаунсфілда (HU). Величина апертури була однаковою в аналогічних вимірюваннях, але різної площі для різних ділянок. МЩКТ вимірювалась окремо для кіркової та губчатої речовини, які були виділені в ручному режимі:

1) у шийках обох стегнових кісток ( в аксіальній проекції);

2) у підшовній та тильній поверхнях обох п'яткових кісток (на аксіальних та сагітальних зрізах);

3) у голівці та діяфізі усіх плесневих кісток обох кінцівок(на аксіальних та сагітальних зрізах) за методикою Д. Робертсона та ін. (2002 р.).

Також вимірювалась щільність підлеглих м'яких тканин та встановлювалась наявність медіакальцинозу.

Аналіз результатів дослідження проводили на робочих станціях програми VITREA.

Отримані результати в одиницях Хаунсфілда були переведені в  $г/см^3$  за допомогою способу визначення біологічної щільності тканин, запа-

ментованого А.Н. Чуйком та А.А. Копитовим (RU 2472440), відповідно до формули [10]:

$\rho = K \cdot \Delta HU + \rho$  повітря, де

$\rho$  – щільність кісткової тканини в г/см<sup>3</sup>

$K=0,975 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, коефіцієнт, значенню якого відповідає одна одиниця Хаунсфілда;

$\Delta HU=1024+ HU$ , абсолютний приріст значень рентгенологічної щільності для кісткової тканини;

$\rho$  повітря =  $1,29 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>.

#### Результати дослідження та їх обговорення.

Провівши метод ДЕРА для пацієнтів з ХАН, спричиненою ЦД2, встановлено, що чутливість методу становила 82,0%, а специфічність – 78,0%. Оскільки вивчали стан нижніх кінцівок у пацієнтів, то методом вибору ділянки для остеоденситометрії були саме шийки стегнових кісток. Іншою причиною вибору даної локалізації дослідження було те, що в осіб середнього та старшого віку результати денситометрії поперечних хребців часто дають помилково підвищені показники через виражені дегенеративні зміни в хребті, зв'язки зв'язкового апарату та кальцифікацію стінок черевної аорти. Вищі показники специфічності та чутливості показав метод еталонної денситометрії – 94,5% та 91,5% відповідно. Проаналізувавши дані МДКТ стоп, встановлено специфічність методу – 99,0% та чутливість – 96,5%. Особливістю останнього є можливість диференційовано визна-

чати мінеральну щільність кіркової та губчатої речовини, що має важливе значення у пацієнтів з ЦД2, які приймають комбіновану інсулінотерапію або таблетовані цукрознижуючі препарати. Слід відзначити, що отримана еквівалентна доза на одного пацієнта становила: при еталонній денситометрії обох стоп у двох проекціях – 0,4 мЗв, при двоенергетичній рентгенівській денситометрії шийки стегнової кістки – 0,0266 мЗв, при МСКТ шийок стегнових кісток та стоп – 0,9 (±0,2) мЗв при гранично допустимій дозі для категорії БД- 20 мЗв.

**Висновки.** Проаналізовані дані еталонної денситометрії, двоенергетичної рентгенівської денситометрії та мультidetекторної комп'ютерної томографії дозволяють стверджувати, що для пацієнтів з ХАН, спричиненою ЦД2, найбільш чутливими методами є ті, які безпосередньо дають можливість оцінити стан кісткової тканини найбільш дистальних відділів нижніх кінцівок. Найбільше корелюють між собою еталонна денситометрія та мультidetекторна комп'ютерна томографія. Менша кореляція відзначається між ДЕРА та вище вказаними методами.

**Перспективи подальших досліджень.** Провести клініко-діагностичні паралелі між результатами променевих досліджень та патогістологічними заключеннями стану кісткової тканини у пацієнтів, яких готують до ампутацій.

#### Список використаної літератури

1. *Peripheral arterial disease is associated with higher rates of hip bone loss and increased fracture risk in older men* / C. Collins Tracie, K. Ewing Susan, J. Diem Susan [et al.] // *Circulation*. – 2009. – № 119 (17). – P.2305-2312.
2. *Bone mineral decrease in the leg with unilateral chronic occlusive arterial disease* / M. Laroche, L. Moulinier, P. Leger [et al.] // *Clin. Exp. Rheumatol*. – 2003. – № 21. – P. 103-106.
3. *Radiographic absorptiometry as a screening tool in male osteoporosis: results from the Odense Androgen Study* / S.J. Hansen, M.M. Nielsen, J. Ryg [et al.] // *Acta Radiol*. – 2009. – № 50(6). – P. 658-663.
4. *Trabecular bone score as an indicator for skeletal deterioration in diabetes* / J.H. Kim, H.J. Choi, E.J. Ku [et al.] // *J. Clin. Endocrinol. Metab*. – 2015. – № 100(2). – P. 475-478.
5. *Bone mineral density is associated with site-specific atherosclerosis in patients with severe peripheral artery disease* / M. Fehérvári, H. Sarkadi, M. Krepuska [et al.] // *Calcif. Tissue Int*. – 2013. – № 93(1). – P. 55-61.
6. *Relationship between bone cross-sectional area and indices of peripheral artery disease* / C. Pedone, S. Scarlata, N. Napoli [et al.] // *Calcif. Tissue Int*. – 2013. – № 93(6). – P. 508-16.
7. *Bone Microarchitecture in Men and Women with Diabetes: The Importance of Cortical Porosity* / J. Paccou, K.A. Ward, K.A. Jameson [et al.] // *Calcif. Tissue Int*. – 2016. – № 98(5). – P. 465-73.
8. *Structural Changes in the Forefoot of Individuals with Diabetes and a Prior Plantar Ulcer* / D. Robertson Douglas, J. Michael [et al.] // *The Journal of Bone & Joint Surgery*. – 2002. – V. 84-A, № 8. – P. 1395-1404.
9. *Fracture Risk Prediction by Non-BMD DXA Measures: the 2015 ISCD Official Positions Part 1: Hip Geometry* / Susan B. Broy, Jane A. Cauley, Michael E. Lewiecki [et al.] // *Journal of Clinical Densitometry*. – 2015. – V. 18(3). – P. 287-308.
10. Чуйко А.Н. Компьютерная томография и основные механические характеристики костных тканей / А.Н. Чуйко, А.А. Копытов, А.А. Копытов // *Мед. визуализация*. – 2012. – № 1. – С. 102-107.

**ИНФОРМАТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ СОСТОЯНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

**Резюме.** В статье проанализированы методы лучевой диагностики костной ткани нижних конечностей у пациентов с хронической артериальной недостаточностью, вызванной сахарным диабетом второго типа. Установлено, что наивысшей чувствительностью, специфичностью и корреляцией между собой обладают эталонная денситометрия и мультidetекторная компьютерная томография. Двухэнергетическая рентгеновская денситометрия имеет слабую корреляционную связь с выше указанными методами и соответственно низкие показатели чувствительности и специфичности.

**Ключевые слова:** хроническая артериальная недостаточность, минеральная плотность костной ткани, сахарный диабет второго типа.

**INFORMATIONAL CONTENT OF RADIOLOGICAL DIAGNOSTIC METHODS IN DETERMINATION OF BONE TISSUE CONDITION IN PATIENTS WITH CHRONIC ARTERIAL INSUFFICIENCY OF THE LOWER EXTREMITIES**

**Abstract.** The methods of radiological diagnostics of the osseous tissue of the lower extremities in patients with chronic arterial insufficiency caused by type II diabetes mellitus are analyzed in the article. Etalon densitometry and a multidetector computed tomography were found to have the highest sensitivity, specificity and correlation. Dual-energy X-ray densitometry has a weak correlation with the above mentioned methods and low rates of sensitivity and specificity respectively.

**Key words:** chronic arterial insufficiency, bone mineral density, type II diabetes mellitus.

Higher State Educational Establishment of Ukraine  
“Ivano-Frankivsk National Medical University” (Ivano-Frankivsk)

Надійшла 28.09.2016 р.  
Рецензент – проф. Васюк В.Л. (Чернівці)