

Король П.О.<sup>1,2</sup>, Ткаченко М.М.<sup>1</sup><sup>1</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна<sup>2</sup>Київська міська клінічна лікарня № 12, м. Київ, Україна

## Сучасні напрямки променевої діагностики хворих із патологією кісток стоп і гомілковостопних суглобів (огляд літератури)

**Резюме.** В огляді літератури розглянуто ключові питання клінічного застосування сучасних методів променевої діагностики у хворих із патологією кісток стоп і гомілковостопних суглобів. Алгоритм прийняття діагностичного рішення враховує мультидисциплінарний підхід для кожної ланки клінічного процесу — від етапу встановлення первинного діагнозу, стадіювання, рестадіювання до призначення лікувальних процедур. Синтез функціональної інформації, отриманої за допомогою однофотонної емісійної комп'ютерної томографії (ОФЕКТ) у комплексі з комп'ютерною томографією (КТ) високої роздільної здатності, дозволяє ефективно визначати патологічний метаболізм у кістках з одночасною оцінкою співіснуючих структурних змін. Розглянуто питання ролі ОФЕКТ/КТ щодо управління діагностично-лікувальним процесом, оптимізації шляхів місцевої анестезії та модифікацій хірургічного підходу.

**Ключові слова:** однофотонна емісійна комп'ютерна томографія; радіофармпрепарат; гомілковостопний суглоб; стопа

### Вступ

Визначення основної причини патології в кістках гомілок і стоп є досить складним діагностичним завданням у зв'язку з особливостями анатомії та функції стопи і гомілковостопного суглоба [34]. Рутинні методи інструментальної діагностики, такі як рентгенографія, ультразвукове дослідження (УЗД), комп'ютерна томографія (КТ) та магнітно-резонансна томографія (МРТ), зазвичай застосовуються як допоміжні в контексті подальшого діагностично-лікувального процесу. Після початкової рентгенологічної оцінки патологічного процесу подальшим діагностичним кроком є МРТ, якій зазвичай віддіють перевагу внаслідок високої специфічності методики та ефективну можливість диференціювання м'яких тканин [47]. Також у діагностичному скринінгу патології гомілок і стоп було застосовано остеосцинтиграфію (ОСГ) з <sup>99m</sup>Tc-технецієм-метилендифосфонатом (<sup>99m</sup>Tc-МДП) з метою оцінки метаболізму у вогнищах ураження кісток. Незважаючи на досить високу чутливість методу ОСГ, низька просторова роздільна здатність ускладнювала точність визначення локалізації ділянок патологічного поглинання радіофармпрепарату (РФП) та співвідношення отриманих результатів з да-

ними інших променевих досліджень [22, 24, 34]. Зазначену проблему ефективно вирішує однофотонна емісійна комп'ютерна томографія/комп'ютерна томографія (ОФЕКТ/КТ), що дозволяє визначати точну локалізацію спотвореного метаболізму в ураженій кістковій тканині шляхом об'єднання отриманих діагностичних даних з відповідними КТ-зображеннями [17, 23, 36, 39]. Останнім часом у сучасній ядерній медицині зростає інтерес до ОФЕКТ/КТ з <sup>99m</sup>Tc-МДП в контексті діагностичного скринінгу пацієнтів з соматичною й онкологічною патологією гомілковостопних суглобів і стоп [7, 16, 25, 38, 52].

Метою даного огляду є висвітлення переваг ОФЕКТ/КТ в діагностичному супроводі пацієнтів із широким спектром захворювань кісток стоп і гомілковостопних суглобів.

### Діагностична роль та клінічне значення ОФЕКТ/КТ

Низка літературних джерел повідомляє про переваги ОФЕКТ/КТ над планарною ОСГ завдяки більш точній локалізації патологічного процесу та виявленню додаткових вогнищ підвищеної фіксації РФП,

що не візуалізується при ОСГ [7, 16, 38]. При аналізі даних ОФЕКТ/КТ 25 хворих із патологією гомілковостопних суглобів і стоп було отримано додаткову діагностичну інформацію порівняно з результатами ОСГ. У 20/25 (80 %) пацієнтів за даними ОФЕКТ/КТ отримано більш точну діагностичну інформацію стосовно локалізації патологічного процесу. У 25 (40 %) хворих у проекції кісток стопи та гомілковостопного суглоба було виявлено нові вогнища підвищеної фіксації РФП [38]. Іншими дослідниками у 25/31 (81 %) хворих за допомогою ОФЕКТ/КТ також було здобуто додаткову діагностичну інформацію [16]. У когорті пацієнтів із патологією м'яких тканин гомілки та стоп за допомогою ОФЕКТ/КТ додаткову інформацію стосовно локалізації патологічного процесу, а також показників включення та розподілу РФП у вогнищах ураження щодо результатів планарної двофазової ОСГ було отримано у 76 % (31/43) хворих [7]. Слід зазначити, що отримання додаткової діагностичної інформації за результатами ОФЕКТ/КТ може призвести до перегляду початкового діагнозу з подальшою зміною плану діагностично-лікувальних заходів [7, 16, 25, 27, 38, 44, 52]. Повідомляється [16], що у 62 % пацієнтів з патологією кісток стоп і гомілковостопних суглобів додаткова діагностична інформація, що отримана за допомогою ОФЕКТ/КТ, призвела до зміни терапевтичної тактики. Іншими дослідниками за результатами проведення ОФЕКТ/КТ 52 пацієнтів із дегенеративно-дистрофічними ураженнями стоп і гомілковостопних суглобів у 23 (44 %) хворих було змінено план лікувальних заходів порівняно з терапією, що була призначена за результатами діагностичної інформації, яка надана на підставі клінічних, фізикальних даних і рентгенографії. У той же час у 19/23 хворих за результатами діагностичної ОФЕКТ/КТ було змінено локалізацію внутрішньосуглобового введення терапевтичного препарату [44]. Повідомляється про велику розбіжність між отриманими діагностичними даними за допомогою ОФЕКТ/КТ та рентгенографії у 39/50 (78 %) пацієнтів з ураженням кісток гомілок і стоп [52]. Іншими авторами надано інформацію про зміну плану лікувально-діагностичних заходів за результатами аналізу даних ОФЕКТ/КТ, особливо у хворих з патологією в більш складних за структурою суглобах Шопара та Лісфранка, порівняно з групою пацієнтів з ураженнями в інших суглобах стоп [25].

### ОФЕКТ/КТ-керована місцева анестезія

Застосування місцевої анестезії протягом довгого часу використовується як діагностичний інструмент, що допомагає визначити джерело симптомів у пацієнтів з ураженням гомілковостопного суглоба та диференціювати клінічні симптоми, що впливають на функціональний стан даного суглоба. Визначення точної локалізації ураження та клінічної симптоматики є важливим аспектом для подальшого керування діагностично-лікувальним процесом [8, 20, 32, 37]. За даними літературних джерел, існує

низька кореляція між рентгенологічним дослідженням і КТ в контексті клінічної відповіді на місцеву анестезію гомілковостопного суглоба. У зв'язку з цим є певні труднощі визначення джерела клінічних симптомів, якщо покладатися лише на дані рентгенологічного обстеження [20, 37]. Інші дослідники підкреслюють підвищення ефективності анестезії за рахунок застосування місцевого знеболювання під контролем ОФЕКТ/КТ [25, 44, 52]. Повідомлено, що в групі з 30 хворих на хронічний деструктивно-дегенеративний артрит гомілковостопного суглоба після виконання ОФЕКТ/КТ-керованої місцевої анестезії у 27 (90 %) хворих зафіксовано значне зниження інтенсивності больового синдрому. За результатами інших досліджень [52] зафіксовано покращення клінічної картини в когорті з 50 пацієнтів із хронічним остеоартритом (ОА) гомілковостопного суглоба після ОФЕКТ/КТ-керованої місцевої анестезії та внутрішньосуглобових ін'єкцій стероїдних препаратів.

Методика флюороскопії зазвичай застосовується з метою управління внутрішньосуглобовим введенням місцевих анестетиків та стероїдних препаратів. Однак це може виявитись дуже складною маніпуляцією у зв'язку з наявністю анатомічних спотворень внаслідок попередніх внутрішньосуглобових переломів або ОА [37, 48, 50]. Повідомляється про успішне альтернативне застосування у даних пацієнтів КТ-керованої внутрішньосуглобової місцевої анестезії [50]. Інші автори пропонують дорожню карту поєднаного управління місцевою анестезією за допомогою ОФЕКТ та КТ, висвітлюючи при цьому будь-які потенційні труднощі, що можуть супроводжувати ізолюване КТ та флюороскопічне керування анестезією [5]. Хибноопозитивні результати можуть бути наслідком наявності сполучень між суглобами стопи, що може призводити до поширення анестетиків за межі суглобів. У зв'язку з цим додавання до ін'єкції контрастного середовища може бути допоміжним чинником у визначенні поширення введеної речовини, а також візуалізації зв'язку між суглобами, що може вплинути на клінічний результат. На підставі успішної клінічної відповіді на ОФЕКТ/КТ-кероване лікування у 96 % хворих деякі автори обговорювали потенційне використання ОФЕКТ/КТ як альтернативу артрографічним ін'єкціям [52].

### Метаболізм $^{99m}\text{Tc}$ -мічених дифосфонатів у кістковій тканині

Відомо, що кістка складається з клітин, які знаходяться в матриці, що містить органічні та неорганічні компоненти. Остеобласти виділяють остеїд, який утворює органічний матрикс, що пізніше мінералізується кристалами гідроксіапатиту [29]. Після внутрішньовенного введення  $^{99m}\text{Tc}$ -мічені дифосфонати зв'язуються з кристалами гідроксіапатиту шляхом гемосорбції, що залежить від регіонального кровотоку та остеобластичної активності [4, 18].  $^{99m}\text{Tc}$ -мічені дифосфонати поглинаються кістковою тканиною, отже, є маркерами патологічних змін у кістковій васкуляризації та остеобластичній активності.

## Остеоартрит

За даними літературних джерел, найбільш вагомим етіологічним чинником ОА гомілковостопного суглоба є попередні травми, що обумовлює значне поширення ОА у пацієнтів молодого віку порівняно з первинним ОА. Слід зазначити, що основні рентгенологічні симптоми ОА, такі як звуження суглобового простору, субхондральний склероз, остеофіти, добре відомі фахівцям [29]. У той же час КТ надає більш точну та специфічну оцінку даних патологічних змін у суглобах [6]. Результатом прогресування ОА є зниження товщини суглобового хряща. Це відбувається через зношування колагенових волокон у середині хряща та формування хондроцитами патологічного гідрофільного протеоглікану, що запобігає утриманню молекул води в середині хряща з подальшою втратою хондральної товщини. У результаті порушення суглобового хряща може утворюватись тріщина, що може призводити до проникнення під тиском у субхондральний простір суглобової рідини [56]. Остеофіти виникають у відповідь на суглобову нестабільність внаслідок ендохондрального окостеніння, хрящової проліферації в кістці [31]. Субхондральний склероз, що візуалізується за допомогою методів променевої діагностики, виникає за рахунок реконструкції кісток у відповідь на структурні зміни внаслідок механічного стресу [5]. Провідною ознакою ОА є ремоделювання хрящів і кісток на клітинному рівні з активацією остеобластів [26]. Показано, що підвищення поглинання в кістковій тканині мічених технецієм дифосфонатів корелює з тяжкістю рентгенологічних змін [11, 35]. Нещодавно групою дослідників було проведено співвіднесення даних ОФЕКТ/КТ з гістологічним дослідженням матеріалу, отриманого у пацієнтів з кінцевою стадією ОА гомілковостопних суглобів [45]. Аномальна реконструкція кістки при ОА призводить до формування великої кількості немінералізованої остеїдної тканини та колагену [26, 33]. Ці патологічні зміни в субхондральній кістці було виявлено в ділянках підвищеної фіксації Tc-99m 3,3-дифосфоно-1,2-пропанодикарбонової кислоти на ОФЕКТ/КТ внаслідок підвищення концентрації активних остеобластів і організованих випадковим чином колагенових волокон [45]. Останнім часом ОФЕКТ/КТ все частіше застосовується для оцінки дегенеративних змін у кістках стоп і гомілковостопних суглобів з урахуванням аспектів кісткової анатомії та вдосконалення локалізації поглинання РФП. Іншими дослідниками встановлено, що діагностична інформативність методики ОФЕКТ/КТ для оцінки дегенеративно-дистрофічних захворювань суглобів була значно вищою, ніж застосування тільки КТ, планарної ОСГ або суміщеної КТ/ОСГ [43, 58] (рис. 1).

## Остеохондральні ураження

Термін «остеохондральне ураження» (ОУ) зазвичай використовується для оцінки та опису уражень, що включають суглобовий хрящ і субхондральну ділянку таранної або великогомілкової кістки [41]. На підставі рентгенографічних даних А. Berndt та

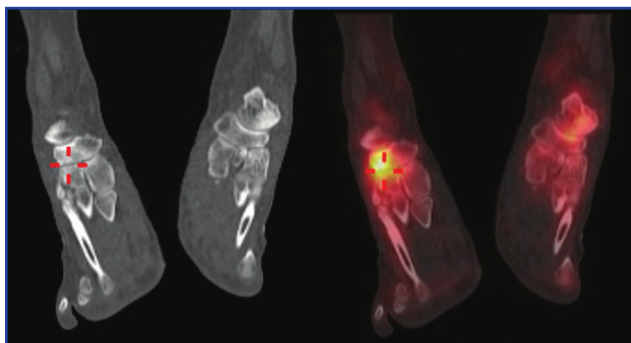
М. Harty запропонували чотириступеневу класифікацію ОУ [3]:

1. Компресійні пошкодження.
2. Відрив незміщеного уламка кістки.
3. Відокремлене, але нерозгалужене ураження.
4. Зміщені фрагменти кістки.

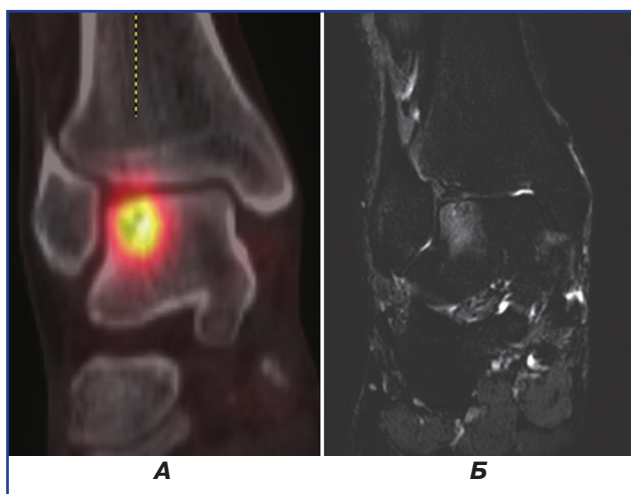
Слід зазначити, що даний розподіл має клінічне значення при початковій оцінці патологічного процесу. ОУ можуть бути рентгенологічно окультними, та лише 50 % випадків було виявлено на стадії попереднього обстеження [30]. Ранні дослідження підкреслили додаткову цінність застосування ОСГ для підвищення чутливості візуалізації та КТ — для підвищення точності та специфічності в оцінці ОУ [30, 53]. R. Loomer та співавт. при оцінці ОУ за допомогою КТ в 77 % випадків спостерігали фіброзне ураження, що змусило їх запропонувати додатковий 5-й клас для включення в початкову класифікацію, описану А. Berndt та М. Harty [3, 30]. МРТ зазвичай допомагає в оцінці ОУ, насамперед за рахунок своєї високої специфічності [10, 54]. Нещодавно М. Meftah та співавт. надали результати порівняльного аналізу застосування методів ОФЕКТ/КТ і МРТ в оцінці ОУ [36]. За допомогою зазначених методів були обстежені 22 пацієнти з ОУ. Незважаючи на те, що за допомогою МРТ зазвичай вдавалось диференціювати ОУ, застосування ОФЕКТ/КТ надавало додаткову діагностичну інформацію щодо необхідності потенційного оперативного втручання у хворих на ОУ та керування хірургічним підходом. Зокрема, застосування ОФЕКТ/КТ покращило передопераційне планування хворих на ОУ шляхом діагностування вогнищ гіперфіксації РФП, що вказувало на наявність поодиноких і множинних вогнищ ураження. ОФЕКТ/КТ надає більш точну інформацію стосовно глибини розташування вогнища ОУ, ніж відповідні дослідження МРТ. Було призначено консервативну терапію 10/22 (45 %) пацієнтам на ОУ у зв'язку з тим, що на ОФЕКТ/КТ візуалізовано відсутність або мінімальне включення РФП в ділянках ураження ОУ, незважаючи на наявність субхондрального набряку за даними МРТ. Разом із тим у 4/22 (18 %) пацієнтів за даними ОФЕКТ/КТ в патологічних ділянках ОУ було візуалізовано ділянки гіперфіксації РФП, у той час як за допомогою МРТ не виявлено жодних патологічних вогнищ ураження. Слід зазначити, що застосування у пацієнтів на ОУ ОФЕКТ/КТ призвело до зміни плану лікування в 48 % випадків, при суміщенні ОФЕКТ/КТ та МРТ даний показник збільшився до 52 %. Слід зазначити, що дані методи добре корелювали між собою в контексті оцінки патологічних уражень суглобового хряща. Інтерпретація інших особливостей ОУ, в тому числі візуалізації субхондральної кісткової пластини, продемонструвала суттєву різницю між отриманими результатами за допомогою ОФЕКТ/КТ та МРТ [27]. Також виявлено розбіжності в інтерпретації площі патологічного вогнища ОУ за даними включення РФП в осередку ураження, методом ОФЕКТ/КТ та набряком кісткового мозку, визначеного за даними МРТ (рис. 2) [36, 60].

За даними інших авторів, методика ОФЕКТ/КТ успішно може застосовуватись для відбору та оцінки





**Рисунок 1. ОФЕКТ/КТ з 99m-Тс-МДП кісток стоп і гомілковостопного суглоба. Остеоартроз правого човноподібно-клиноподібного суглоба пацієнтки М., 66 років**



**Рисунок 2. ОФЕКТ/КТ з 99m-Тс-МДП (А) та МРТ (Б) гомілковостопного суглоба. Остеохондральне ураження блоку таранної кістки пацієнта С., 32 роки**

пацієнтів з ОУ для наступної остеохондральної аутологічної трансплантації [59, 61]. Також авторами описано шляхи застосування ОФЕКТ/КТ при діагностиці кіст, візуалізації кісткових з'єднань, оцінки стану тканин, що оточують трансплантат і в яких активно накопичується РФП.

## Стрес-переломи

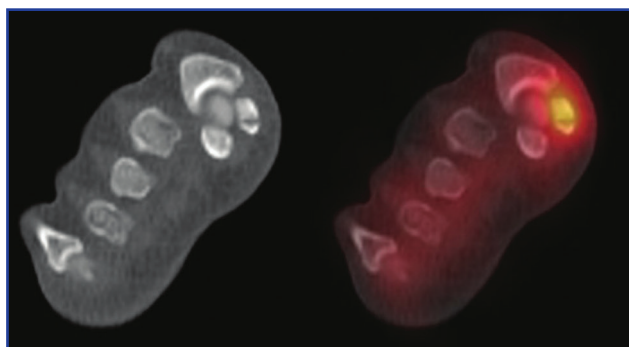
У літературі описано багато класифікацій стрес-переломів. Е. Wilson і F. Katz описали чотири рентгенологічні типи стрес-переломів: I тип — візуалізація лише лінії перелому; II тип — вогнищевий склероз з ендостеологічним калюсом; III тип — періостальна реакція з зовнішнім калюсом; IV тип — змішана форма (комбінація декількох типів) [63]. ОСГ з 99m-Тс спроможна візуалізувати ранні фізіологічні зміни в кістковій тканині, що дозволяє визначати так звані тріщини напруги, які діагностуються тижнями раніше, ніж рентгенологічні зміни [15]. Через 2–4 тижні після виникнення перелому в ранній фазі збільшується поглинання РФП в кров'яному руслі, на сцинтиграмах можна візуалізувати

фазу кров'яного пулу, яка, в свою чергу, відображає гостроту запального процесу [49]. Підвищене накопичення РФП також спостерігалось в місцях підвищеного кісткового стресу та кісткового ремоделювання в умовах відсутності перелому [15]. У нещодавньому дослідженні М. Gaeta та співавт. показано, що МРТ (88 %) виявилась більш чутливою методикою, ніж КТ (42 %) та ОСГ кісток (74 %) [13]. Методика ОФЕКТ/КТ — корисна модальність для ранньої оцінки великогомілкової стрес-травми, яка надає на додаток до структурної діагностичну інформацію стосовно метаболізму в кістковій тканині, наявності кортикальної остеопенії тощо. Слід зазначити, що планарна ОСГ на відміну від ОФЕКТ/КТ хоча і є досить чутливим методом візуалізації, має досить низьку специфічність [1] та демонструє хибнопозитивне поглинання РФП в проекції нижніх кінцівок у спортсменів молодого віку при відсутності у них клінічної симптоматики [12]. Це може бути менш проблематичним для ОФЕКТ з КТ компонентом, що дозволяє оцінити будь-яке співіснування структурного кісткового ураження та підвищеної фіксації РФП в ділянці локалізації патологічного процесу.

Згідно з законом Вольфа, зміни внутрішньої архітектури та конфігурації кістки відбуваються у відповідь на механічний стрес. М. Li та співавт. на тваринній моделі детально описали гістологічні зміни в кістковій тканині у відповідь на кістковий стрес [28]. Початкові зміни, що описані М. Gaeta та співавт., включають порушення прохідності судинної системи з наступним розширенням системи гаверсових каналів шляхом остеокластичного розсмоктування та утворення порожнин [13]. Отримані дані співвідносились з ранніми кортикальними змінами, що спостерігались за результатами КТ та МРТ. Незначна кількість остеобластів, що присутня в межах порожнини, повільно наповнює пластинчасту кістку. З'являються мікроскопічні переломи каналцевої кістки, які, незважаючи на остеобластичну форму нової кістки, можуть поширюватись, що відбувалось внаслідок тривалого механічного стресу [2, 28, 51]. Посилення васкуляризації і остеобластична ремоделювання обумовлюють підвищення захвату РФП, що фіксується за допомогою радіонуклідних методів візуалізації при ранніх великогомілкових травмах і стрес-переломах.

## Патологія сесамоподібних кісток

За даними літературних джерел, в клінічній практиці ОСГ застосовується з метою визначення локалізації аномального метаболізму кісток та ранньої діагностики патологічних процесів сесамоподібних кісток [9]. Попередні дослідження продемонстрували посилення поглинання РФП при гострих переломах сесамоподібних кісток, що пізніше було підтверджено інтраопераційно, на відміну від переломів звичайних двочасткових сесамовидних кісток, які зазвичай не накопичували радіоактивний індикатор [34]. КТ є корисною модальністю, що надає додаткову діагностичну інформацію при фрагментарних руйнуваннях сесамоподібних кісток [46]. Діагностична візуалізація сеса-



**Рисунок 3. ОФЕКТ/КТ з 99mTc-МДП.  
Стрес-перелом медіальної сесамоподібної  
кістки пацієнтки К., 31 рік**

моїдиту, за даними МРТ, характеризується наявністю набряку уражених кісток та ушкодженням оточуючих м'яких тканин, в той час як за результатами ОСГ спостерігається збільшення поглинання радіоактивного індикатора в ділянці ураження [55]. Слід зазначити, що ОСГ допомагає на ранньому етапі визначити локалізацію патологічного процесу в сесамоподібних кістках за рахунок підвищення включення РФП в ділянці ураження до виникнення патологічних змін, за даними рентгенографії [9, 21]. Незважаючи на те, що чутливість ОСГ може перевершувати даний показник інших модальностей, неможливо вірогідно діагностувати патологічний процес сесамоподібних кісток тільки за відсотком включення РФП в зону ураження [40, 62]. У цих випадках КТ-компонент дослідження ОФЕКТ/КТ має більшу специфічність та допомагає диференціювати патологічний процес при ураженні сесамоподібних кісток [40]. Стрес-переломи сесамоподібних кісток спостерігаються після значного навантаження на дану ділянку за відсутності гострої травми [57] та діагностуються на ранньому етапі шляхом застосування ОСГ, при якій діагностується підвищене накопичення РФП в зоні ураження [14].

При стрес-переломах кісток стоп і гомілковостопного суглоба методика ОФЕКТ/КТ є корисною модальністю для візуалізації структурних змін та ремодуляції кісток [58] (рис. 3).

Підвищення включення 99m-Tc-МДП, за даними ОСГ, у ділянках склерозу та фрагментації сесамоподібних кісток, візуалізованих за допомогою рентгенографії, спостерігали при гістологічно верифікованому остеонекрозі сесамоподібних кісток [21, 42].

## Патологія м'яких тканин стоп і гомілковостопного суглоба

Нещодавно S. Chicklore та співавт. досліджували діагностичне значення ОФЕКТ/КТ з 99m-Tc-МДП порівняно з планарною двофазною ОСГ у пацієнтів на підшовний фасциїт та тендиніт [7]. Незважаючи на те, що за результатами планарної ОСГ візуалізувалось підвищене включення РФП в ділянці ураження у 42/43 (98 %) пацієнтів, при застосуванні ОФЕКТ/КТ виявлено додаткові локалізації вогнищ патологічного про-

цесу в 76 % (31/43) випадків. Автори висловилися за початкове застосування МРТ або УЗД після виконання оглядової рентгенографії для оцінки патологічних змін в м'яких тканинах у пацієнтів із больовим синдромом в проекції гомілковостопного суглоба. Було запропоновано включати в діагностичний протокол методику ОФЕКТ/КТ при підозрі на патологію м'яких тканин гомілковостопного суглоба у випадках наявності протипоказань для застосування МРТ (металеві імпланти, клаустрофобія) або у випадках ураження кісток суглоба, незважаючи на дані рентгенографії без ознак патології. Слід підкреслити, що в діагностичному скринінгу зазвичай віддають перевагу методиці МРТ через її чудовий м'якотканинний контраст і високу чутливість [47, 19], недавній аналіз діагностичної інформативності комбінованого застосування ОФЕКТ/КТ та МРТ для оцінки кісткової та суглобової патології стоп і гомілковостопних суглобів показав кращу чутливість, причому ОФЕКТ/КТ демонструвало також значно вищі показники специфічності [19].

## Висновки

Гібридна модальність ОФЕКТ/КТ з Tc-99m-МДП є корисним інструментом для оцінки низки патологічних процесів гомілковостопних суглобів і стоп. Синтез функціональної інформації, отриманої за допомогою ОФЕКТ у комплексі з високою роздільною здатністю КТ, дозволяє ефективно діагностувати патологічний метаболізм у кістках з одночасною оцінкою співіснуючих структурних змін. Літературний огляд підсумовує останні дослідження наукової спільноти стосовно застосування методики ОФЕКТ/КТ з метою оцінки патології гомілковостопних суглобів і стоп, особливо дрібних суглобів стопи. Розглянуто питання ролі ОФЕКТ/КТ щодо управління діагностично-лікувальним процесом, оптимізації шляхів місцевої анестезії та модифікацій хірургічного підходу [58].

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів при підготовці даної статті.

## Список літератури

1. Ammann W. Radionuclide bone imaging in the detection of stress fractures // *Clin. J. Sports Med.* — 1991. — 1. — P. 115-122.
2. Anderson M.W., Greenspan A. Stress fractures // *Radio-logy.* — 1996. — 199. — P. 1-12.
3. Berndt A.L., Harty M. Transchondral fractures (osteochondritis dissecans) of the talus // *J. Bone Joint. Surg. Am.* — 1959. — 41. — P. 988-1020.
4. Brenner A.I., Koshy J., Morey J. et al. The bone scan // *Semin. Nucl. Med.* — 2012. — 42. — P. 11-26.
5. Carmont M.R., Tomlinson J.E., Blundell C. et al. Variability of joint communications in the foot and ankle demonstrated by contrast-enhanced diagnostic injections // *Foot Ankle Int.* — 2009. — 30. — P. 439-442.
6. Chan W.P., Lang P., Stevens M.P. et al. Osteoarthritis of the knee: Comparison of radiography, CT, and MR imaging

- to assess extent and severity // *Am. J. Roentgenol.* — 1991. — 157. — P. 799-806.
7. Chicklore S., Gnanasegaran G., Vijayanathan S. et al. Potential role of multislice SPECT/CT in impingement syndrome and soft-tissue pathology of the ankle and foot // *Nucl. Med. Commun.* — 2013. — 34. — P. 130-139.
  8. Chow S., Brandser E. Diagnostic and therapeutic foot and ankle injections // *Semin. Musculoskelet. Radiol.* — 1998. — 2. — P. 421-432.
  9. Cohen B.E. Hallux sesamoid disorders // *Foot Ankle Clin.* — 2009. — 14. — P. 91-104.
  10. De Smet A.A., Fisher D.R., Burnstein M.I. et al. Value of MR imaging in staging osteochondral lesions of the talus (osteochondritis dissecans): Results in 14 patients // *Am. J. Roentgenol.* — 1990. — 154. — P. 555-558.
  11. Dieppe P., Cushnaghan J., Young P. et al. Prediction of the progression of joint space narrowing in osteoarthritis of the knee by bone scintigraphy // *Ann. Rheum. Dis.* — 1993. — 52. — P. 557-563.
  12. Drubach L.A., Connolly L.P., D'Hemecourt P.A. et al. Assessment of the clinical significance of asymptomatic lower extremity uptake abnormality in young athletes // *J. Nucl. Med.* — 2001. — 42. — P. 209-212.
  13. Gaeta M., Minutoli F., Scribano E. et al. CT and MR imaging findings in athletes with early tibial stress injuries: Comparison with bone scintigraphy findings and emphasis on cortical abnormalities // *Radiology.* — 2005. — 235. — P. 553-561.
  14. Georgoulas P., Georgiadis I., Dimakopoulos N. et al. Scintigraphy of stress fractures of the sesamoid bones // *Clin. Nucl. Med.* — 2001. — 26. — P. 944-945.
  15. Geslien G.E., Thrall J.H., Espinosa J.L. et al. Early detection of stress fractures using 99mTc-polyphosphate // *Radio-logy.* — 1976. — 121. — P. 683-687.
  16. Gnanasegaran G., Mohan H.K., Sharp D. et al. Single photon emission computed tomography-computed tomography in the management of foot pathology // *Nucl. Med. Commun.* — 2008. — 29. — P. 482.
  17. Huellner M.W., Strobel K. Clinical applications of SPECT/CT in imaging the extremities // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* — 2014. — 41(1). — P. 50-58.
  18. Jones A.G., Francis M.D., Davis M.A. Bone scanning: Radionuclidic reaction mechanisms // *Semin. Nucl. Med.* — 1976. — 6. — P. 3-18.
  19. Karasick D., Schweitzer M.E. Disorders of the hallux sesamoid complex: MR features // *Skeletal Radiol.* — 1998. — 27. — P. 411-418.
  20. Khoury N.J., Khoury G.Y., Saltzman C.L. et al. Intra-articular foot and ankle injections to identify source of pain before arthrodesis // *Am. J. Roentgenol.* — 1996. — 167. — P. 669-673.
  21. Kliman M.E., Gross A.E., Pritzker K.P. et al. Osteochondritis of the hallux sesamoid bones // *Foot Ankle.* — 1983. — 3. — P. 220-223.
  22. Korol P., Tkachenko M. Diagnostic parameters of bone scintigraphy for knee arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis // *East European Scientific Journal.* — 2016. — 10. — P. 38-39.
  23. Korol P., Tkachenko M. The main surgical criteria of bone scintigraphy at the hip arthroplasty // *Science in the modern information society.* — 2015. — 1. — P. 42-44.
  24. Korol P., Tkachenko M. The role of bone scintigraphy in differential diagnosis of knee inflammatory processes // *Fundamental and applied sciences today.* — 2014. — 1. — P. 53-55.
  25. Kretzschmar M., Wiewiorski M., Rasch H. et al. 99mTc-DPD-SPECT/CT predicts the outcome of imaging-guided diagnostic anaesthetic injections: A prospective cohort study // *Eur. J. Radiol.* — 2011. — 80. — P. 410-415.
  26. Lajeunesse D., Reboul P. Subchondral bone in osteoarthritis: A biologic link with articular cartilage leading to abnormal remodeling // *Curr. Opin. Rheumatol.* — 2003. — 15. — P. 628-633.
  27. Leumann A., Valderrabano V., Plaass C. et al. A novel imaging method for osteochondral lesions of the talus — comparison of SPECT-CT with MRI // *Am. J. Sports Med.* — 2011. — 39. — P. 1095-1101.
  28. Li G.P., Zhang S.D., Chen G. et al. Radiographic and histologic analyses of stress fracture in rabbit tibias // *Am. J. Sports Med.* — 1985. — 13. — P. 285-294.
  29. Little N., Rogers B., Flannery M. Bone formation, remodelling and healing // *Surg. Oxf. Int. Ed.* — 2011. — 29. — P. 141-145.
  30. Loomer R., Fisher C., Lloyd-Smith R. et al. Osteochondral lesions of the talus // *Am. J. Sports Med.* — 1993. — 21. — P. 13-19.
  31. Lories R.J., Luyten F.P. The bone-cartilage unit in osteoarthritis // *Nat. Rev. Rheumatol.* — 2011. — 7. — P. 43-49.
  32. Lucas P.E., Hurwitz S.R., Kaplan P.A. et al. Fluoroscopically guided injections into the foot and ankle: Localization of the source of pain as a guide to treatment — prospective study // *Radiology.* — 1997. — 204. — P. 411-415.
  33. Mansell J.P., Bailey A.J. Abnormal cancellous bone collagen metabolism in osteoarthritis // *J. Clin. Invest.* — 1998. — 101. — P. 1596-1603.
  34. Maurice H.D., Newman J.H., Watt I. Bone scanning of the foot for unexplained pain // *J. Bone Joint. Surg. Br.* — 1987. — 69. — P. 448-452.
  35. McCrae F., Shouls J., Dieppe P. et al. Scintigraphic assessment of osteoarthritis of the knee joint // *Ann. Rheum. Dis.* — 1992. — 51. — P. 938-942.
  36. Mefiah M., Katchis S.D., Scharf S.C. et al. SPECT/CT in the management of osteochondral lesions of the talus // *Foot Ankle Int.* — 2011. — 32. — P. 233-238.
  37. Mitchell M.J., Bielecki D., Bergman A.G. et al. Localization of specific joint causing hindfoot pain: Value of injecting local anesthetics into individual joints during arthrography // *Am. J. Roentgenol.* — 1995. — 164. — P. 1473-1476.
  38. Mohan H., Holker P., Gnanasegaran G. et al. The applicability of SPECT-CT in directing the management of bony ankle and foot pathology // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* — 2007. — 34. — P. 166.
  39. Nathan M., Mohan H., Vijayanathan S. et al. The role of 99mTc-diphosphonate bone SPECT/CT in the ankle and foot // *Nucl. Med. Commun.* — 2012. — 33. — P. 799-807.
  40. Nwawka O.K., Hayashi D., Diaz L.E. et al. Sesamoids and accessory ossicles of the foot: Anatomical variability and related pathology // *Insights Imaging.* — 2013. — 4. — P. 581-593.
  41. O'Loughlin P.F., Heyworth B.E., Kennedy J.G. Current concepts in the diagnosis and treatment of osteochondral lesions



of the ankle // *Am. J. Sports Med.* — 2010. — 38. — P. 392-404.

42. Ogata K., Sugioka Y., Urano Y. et al. Idiopathic osteonecrosis of the first metatarsal sesamoid // *Skeletal. Radiol.* — 1986. — 15. — P. 141-145.

43. Pagenstert G.I., Barg A., Leumann A.G. et al. SPECT-CT imaging in degenerative joint disease of the foot and ankle // *J. Bone Joint. Surg. Br.* — 2009. — 91. — P. 1191-1196.

44. Parthipun A., Moser J., Mok W. et al. 99mTc-HDP SPECT-CT aids localization of joint injections in degenerative joint disease of the foot and ankle // *Foot Ankle Int.* — 2015. — 36. — P. 928-935.

45. Paul J., Barg A., Kretschmar M. et al. Increased osseous 99mTc-DPD uptake in end-stage ankle osteoarthritis: Correlation between SPECT-CT imaging and histologic findings // *Foot Ankle Int.* — 2015. — 36. — P. 1438-1447.

46. Potter H.G., Pavlov H., Abrahams T.G. The hallux sesamoids revisited // *Skeletal. Radiol.* — 1992. — 21. — P. 437-444.

47. Rosenberg Z.S., Beltran J., Bencardino J.T. From the RSNA refresher courses. Radiological Society of North America. MR imaging of the ankle and foot // *Radiographics.* — 2000. — 20. — P. 153-179.

48. Ruhoy M.K., Newberg A.H., Yodlowski M.L. et al. Subtalar joint arthrography // *Semin. Musculoskelet. Radiol.* — 1998. — 2. — P. 433-438.

49. Rupani H.D., Holder L.E., Espinola D.A. et al. Three-phase radionuclide bone imaging in sports medicine // *Radiology.* — 1985. — 156. — P. 187-196.

50. Saifuddin A., Abdus-Samee M., Mann C. et al. CT guided diagnostic foot injections // *Clin. Radiol.* — 2005. — 60. — P. 191-195.

51. Savoca C.J. Stress fractures. A classification of the earliest radiographic signs // *Radiology.* — 1971. — 100. — P. 519-524.

52. Singh V.K., Javed S., Parthipun A. et al. The diagnostic value of single photon-emission computed tomography bone scans combined with CT (SPECT-CT) in diseases of the foot and ankle // *Foot Ankle Surg.* — 2013. — 19. — P. 80-83.

53. Sisler J. Imaging assessment of posttraumatic tarsal pain // *Clin. J. Sport Med.* — 1991. — 1. — P. 127-132.

54. Stroud C.C., Marks R.M. Imaging of osteochondral lesions of the talus // *Foot Ankle Clin.* — 2000. — 5. — P. 119-133.

55. Taylor J.A., Sartoris D.J., Huang G.S. et al. Painful conditions affecting the first metatarsal sesamoid bones // *Radiographics.* — 1993. — 13. — P. 817-830.

56. Thomas R.H., Resnick D., Alazraki N.P. et al. Compartmental evaluation of osteoarthritis of the knee. A comparative study of available diagnostic modalities // *Radiology.* — 1975. — 116. — P. 585-594.

57. Tkachenko M., Korol P. The role of tree phase bone scintigraphy in arthroplasty of hip and knee joints of clean up workers of Chornobyl accident // *Problems of radiation medicine and radiobiology.* — 2017. — 22. — P. 476-483 (In Ukrainian).

58. Upadhyay B., Mo J., Beadsmoore C. et al. Technetium-99m ethylene diphosphonate single-photon emission computed tomography/computed tomography of the foot and ankle. // *World Journal of Nuclear Medicine.* — 2017. — 16(2). — P. 88-100.

59. Valderrabano V., Leumann A., Rasch H. et al. Knee-to-ankle mosaicplasty for the treatment of osteochondral lesions of the ankle joint // *Am. J. Sports Med.* — 2009. — 37(1). — P. 105-111.

60. Verhagen R.A., Maas M., Dijkgraaf M.G. et al. Prospective study on diagnostic strategies in osteochondral lesions of the talus. Is MRI superior to helical CT? // *J. Bone Joint. Surg. Br.* — 2005. — 87. — P. 41-46.

61. Wiewiorski M., Miska M., Nicolas G. et al. Revision of failed osteochondral autologous transplantation procedure for chronic talus osteochondral lesion with iliac crest graft and autologous matrix-induced chondrogenesis: A case report // *Foot Ankle Spec.* — 2012. — 5. — P. 115-120.

62. Williams T., Cullen N., Goldberg A. et al. SPECT-CT imaging of obscure foot and ankle pain // *Foot Ankle Surg.* — 2012. — 18. — P. 30-33.

63. Wilson E.S., Katz F.N. Stress fractures. An analysis of 250 consecutive cases // *Radiology.* — 1969. — 92. — P. 481-486.

Отримано 14.05.2018 ■

Король П.А.<sup>1,2</sup>, Ткаченко М.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний медичний університет імені А.А. Богомольця, г. Київ, Україна

<sup>2</sup>Київська городська клінічна лікарня № 12, г. Київ, Україна

### Современные направления лучевой диагностики у пациентов с патологией костей стоп и голеностопных суставов (обзор литературы)

**Резюме.** В обзоре литературы рассмотрены ключевые вопросы клинического применения современных методов лучевой диагностики у больных с патологией костей стоп и голеностопных суставов. Алгоритм принятия диагностического решения учитывает мультидисциплинарный подход для каждого звена клинического процесса — от этапа постановки первичного диагноза, стадирования, рестадиирования до назначения лечебных процедур. Синтез функциональной информации, полученной с помощью однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) в комплексе

с компьютерной томографией (КТ) с высоким разрешением, позволяет эффективно диагностировать патологический метаболизм в костях с одновременной оценкой сосуществующих структурных изменений. Рассмотрены вопросы роли ОФЭКТ/КТ по управлению диагностическим лечебным процессом, оптимизации путей местной анестезии и модификаций хирургического подхода.

**Ключевые слова:** однофотонная эмиссионная компьютерная томография; радиофармпрепарат; голеностопный сустав; стопа

P.O. Korol<sup>1,2</sup>, M.M. Tkachenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Kyiv Clinical City Hospital 12, Kyiv, Ukraine

### Modern directions of radiological diagnosis in patients with bone lesions of the feet and ankle joint (review of literature)

**Abstract.** This review of literature considers the key issues of the clinical application of modern methods for radiological diagnosis in patients with pathology of the foot and ankle. The algorithm for making a diagnostic decision in patients with bone lesions of the foot and ankles takes into account the multidisciplinary approach to each link of the clinical process — from primary diagnosis, staging, restaging to the prescription of treatment procedures. Synthesis of functional information obtained with the help of single-photon emission computed tomography in a complex with a high resolution

computed tomography allows to effectively diagnose pathological metabolism in the bones with simultaneous evaluation of coexisting structural changes. The questions about the role of single-photon emission computed tomography/computed tomography are considered in terms of managing the diagnostic and treatment process, optimizing the ways of local anesthesia and the modifications of the surgical approach.

**Keywords:** single-photon emission computed tomography; radio-pharmaceutical; ankle joint; foot