

Король П.О.^{1,2}, Ткаченко М.М.¹¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна²Київська міська клінічна лікарня № 12, м. Київ, Україна

Роль гібридної ОФЕКТ/КТ-візуалізації в діагностичному моніторингу пацієнтів із патологією кісток нижніх кінцівок (огляд літератури)

Резюме. В огляді літератури розглянуто ключові питання клінічного застосування гібридної ОФЕКТ/КТ-візуалізації у хворих з ураженнями кісток нижніх кінцівок. Розвиток гібридної візуалізації здійснив революцію в діагностиці хворих із широким спектром патологічних процесів кісток нижніх кінцівок на всіх етапах розвитку та відіграє важливу роль у сучасному моніторингу пацієнтів. Синтез функціональної інформації, отриманої за допомогою ОФЕКТ у комплексі з КТ із високою роздільною здатністю, дозволяє ефективно діагностувати патологічний метаболізм в ураженій ділянці кістки з одночасною оцінкою співіснуючих структурних змін.

Ключові слова: однофотонна емісійна комп'ютерна томографія; радіофармапрепарат; остеосцинтиграфія; кістки нижніх кінцівок; огляд

Вступ

Останніми десятиріччями набуває значної актуальності питання патологічних уражень кісток та суглобів нижніх кінцівок. Це пов'язано, по-перше, з інтенсифікацією статичного навантаження на кістки нижніх кінцівок, по-друге, із погіршенням демографічної ситуації в країнах Європи та збільшенням частки осіб пенсійного віку, які становлять основний масив хворих з ураженнями кісток та суглобів нижніх кінцівок.

Занадто часто цей патологічний процес зумовлює застосування каскаду неефективних візуалізаційних досліджень, таких як рентгенографія, планарна сцинтиграфія кісток, що призводить до необґрунтовано високих витрат і пізнього встановлення остаточного діагнозу. Запровадження в практику гібридної однофотонної емісійної комп'ютерної томографії/комп'ютерної томографії (ОФЕКТ/КТ) різко змінило уявлення щодо діагностичного потенціалу планарної остеосцинтиграфії в пацієнтів із патологією кісток та суглобів нижніх кінцівок. В огляді літератури буде коротко викладено питання діагностичної ролі ОФЕКТ/КТ-візуалізації в діагностично-лікувальному моніторингу пацієнтів із патологією кісток нижніх кінцівок (табл. 1).

I. Кульшові суглоби

Кульшовий суглоб піддається значному навантаженню під час повсякденного життя. Тому не дивно, що більше ніж 40 % дорослих людей віком понад 65 років відчувають біль в ділянці проекції кульшового суглоба у певний момент фізичного навантаження. Слід також зазначити, що щорічно близько 5–10 % професійних спортсменів повідомляють про епізод болю в ділянці стегна, який виникав під час тренувального процесу або змагань. Ці цифри красномовно ілюструють, що больовий синдром в ділянці кульшового суглоба є дуже поширеною та актуальною проблемою.

Ретельне вивчення історії та клінічне обстеження мають вирішальне значення в діагностичній оцінці пацієнта з больовим синдромом. Клінічне обстеження кульшового суглоба в поєднанні з історією захворювання забезпечує клініциста первинним діагнозом приблизно у 80 % випадків [7]. У 10–20 % пацієнтів, у яких неможливо встановити первинний діагноз за клінічними ознаками, необхідно застосовувати додаткові діагностичні процедури [4]. Опубліковано алгоритмічні підходи, які можна застосувати в умовах первинної медичної допомоги, у них рекомендоване застосування магнітно-резо-

Таблиця 1. Огляд характеристик діагностичної візуалізації при потенційному застосуванні ОФЕКТ/КТ у хворих з ураженням кісткової системи нижніх кінцівок

Діагноз	КТ-візуалізація	ОФЕКТ-візуалізація
1	2	3
Анкілозуючий спондиліт	Ерозії, склеротичні зміни, субхондральні зміни кісток, кісткові утворення [26]	Підвищення включення радіофармпрепарату (РФП) у зв'язках хребта, фасціях, кістково-трансверзальних та кістково-вертебральних з'єднаннях [2]
Артропластика/остеосинтез	Диференціальна діагностика парaproтезних переломів, зношування компонентів ендопротезу, апаратне пошкодження, гетеротопічних осифікацій, дислокацій, м'якотканинних утворень [44]	Збільшення фокусного поглинання РФП у ділянках парaproтезних переломів; дифузне поглинання РФП навколо фіксаційних гвинтів [24]
Аваскулярний некроз кульшового суглоба	Відсутність патології в ранній фазі. Остеопороз є першою ознакою ураження, із подальшим скупченням і спотворенням центральних трабекул [49]. На рентгенограмах — знак півмісяця є криволінійною субхондральною лінією, що відповідає субхондральному перелому	Гостра фаза: фотопенічна ділянка. Фаза відновлення кровотоку: інтенсивне поглинання РФП, що вказує на наявність репаративних змін [25]
Доброякісні кістозні пухлини	Візуалізація залежить від гістопатології. Важлива КТ-ознака — розташування патологічного процесу в межах кістки, матрична проліферація та періостальна реакція [3]	Поглинання РФП може бути дуже змінним, залежно від типу ураження. Погане поглинання РФП характерне для одиночної кісткової кістки, енхондроми; часткове поглинання РФП — для аневризми кісткової тканини; збільшене поглинання РФП — для волокнистої дисплазії, остеобластоми [22]
Підошовний фасціїт	Кісткова шпора характеризується візуалізацією затінення на знімку зображення підошовної фасції [23]	Фокальна гіперемія на зображеннях судинної фази дослідження, що простягається до проксимальної підошовної фасції [12]
Гетеротопічна осифікація	Набряк м'язів, у яких наявна кальцифікація: аморфний (без трабекулярної структури), незрілий (початкові трабекулярні формування з погано визначеними полями) або зрілий (чітко визначена церебральна кістка з кортикальним контуром) [58]	Затримка РФП відбувається через 1 тиждень після травми. Пікова активність включення РФП відбувається через кілька місяців після травми, з поступовим зменшенням поглинання індикатора [47]
Стрес-перелом	Лінійний склероз із тонким фокальним кортикальним перериванням [37]	Поява гіперемії з інтенсивним поглинанням РФП у відстроченій фазі візуалізації в проекції локалізації травми [23]
Остеоартрит	Звуження суглобового простору, субхондральний склероз, остеопіти та субхондральні кісти; відсутність остеопорозу, анкілоз та ерозії [25]	Відсутність гіперемії. На відстрочених зображеннях — поєднання дифузного суглобового поглинання залежно від ступеня тяжкості захворювання та фокусне поглинання РФП у проекції суглобової кромки [6]
Остеохондрит	Субхондральні зони підвищеної та зниженої щільності з нормальним або ерозивним суглобовим хрящем [45]	Поглинання РФП залежить від давності патологічного процесу. При гострому ураженні — тонка фокальна гіперемія; більш інтенсивне затримання РФП в проекції локалізації травми — у відстрочену фазу дослідження [13]
Остеїдна остеома	Остеочутливий фокус у зоні ураження або відсутність щільного центрального мінералізованого фокусу. Оточуючий фузиформний склероз характерний для довгих кісток [37]	Типові знахідки показують ураження судин при аналізі судинної фази дослідження та інтенсивне фокусне поглинання РФП у відстроченій фазі [13]

Закінчення табл. 1

1	2	3
Остеонекроз колінних суглобів	Немає патологічних змін на ранніх фазах захворювання. На пізніх стадіях візуалізується радіолюцентна ділянка (у вигляді півмісяця або знаку обода) із сегментарним некрозом субхондральної кістки	Інтенсивне поглинання РФП у судинній фазі дослідження та раннє поглинання РФП у відстроченій фазі, що супроводжується поступовим зменшенням судинного пулу поглинання РФП, при збереженні позитивних пізніх фазових зображень [10]
Тендинопатії	Загальний або локалізований набряк сухожилка може спостерігатися при КТ-візуалізації. У випадках часткового розриву сухожилків — вогнищева неоднорідність зображення порівняно з оточуючими тканинами стає очевидною [20]	Збільшення поглинання РФП у судинній фазі зображення [41]
Подагра	Парасуглобові ерозії з нависаючими краями. Некальцифіковані щільні тофуси в м'якій тканині. Тендонове потовщення може виникнути [37]	У судинну та відстрочену фазу дослідження типовою є затримка включення РФП та інтенсивне збільшення поглинання РФП у проекції постраждалих суглобів [53]
Транзиторний остеопороз	Дифузна остеопенія ураженої ділянки або колапс головки стегнової кістки	У судинній та відстроченій фазі зображення — збільшення поглинання РФП різної інтенсивності у головці стегнової кістки, що простягається до шийки стегнової кістки [13]

нансної томографії (МРТ) за умов неефективності консервативної терапії [31]. Широке застосування в ядерній медицині гібридної візуалізації перетворило остеосцинтиграфію в комплексний інструмент, що не тільки забезпечує оцінку скелета всього тіла, на відміну від МРТ, але також дозволяє проводити детальну регіональну оцінку, використовуючи ОФЕКТ/КТ-компоненти візуалізації [34]. Поточні показання до застосування ОФЕКТ/КТ уражених кульшових суглобів включають діагностичну оцінку інфекційних процесів, гетеротопної осифікації, стрес-переломів, аваскулярного некрозу, болювого синдрому в проекції кульшового суглоба, а також виключення метастатичного ураження або системної артропатії [9] (рис. 1).

Відповідно до рекомендацій Європейської асоціації ядерної медицини, для остеосцинтиграфії на першому діагностичному етапі рекомендується використання планарної візуалізації в статичному режимі (256 × 256 матриця, коліматори LEHR або LEGP), за якими слідують планарні зображення у відстроченому режимі ділянки стегон (256 × 256 матриця, коліматори LEHR). Типові технічні параметри ОФЕКТ/КТ-візуалізації такі: для ОФЕКТ (128 × 128 матриця, 128 кутів, 20 с/кут) у поєднанні з візуалізацією КТ (2,5–40 мА, 80–130 кеВ) або діагностичною КТ 40–335 мА, 80–130 кеВ), але вони можуть змінюватися й повинні бути оптимізовані відповідно до типу гібридного пристрою (наприклад, дефектоскоп із плоскої панелі, доступні методи зниження дози тощо) [56]. Якщо це можливо, при візуалізації ендопротезів суглобів рекомендовано використання технології зменшення артефактури металів [1].

Застосування ОФЕКТ/КТ Протезування суглобів

Ускладнення, такі як розхитування компонентів ендопротезів або інфекційні процеси, є загальними проблемами після ендопротезування суглобів. Кісткова ОФЕКТ/КТ все частіше використовуються як модальність зображення другого ступеня, якщо при звичайній рентгенографії отриманий неоднозначний результат [51]. Зображення, що отримано з судинних басейнів, надають цінну діагностичну інформацію, яка допомагає диференціювати розхитування компонентів ендопротезу від інфекційного процесу. Відсутність збільшення поглинання РФП у судинних басейнах суперечить наявності відкритої інфекції, хоча неможливо повністю виключити низькопродуктивні процеси [27]. Крім того, КТ-частина діагностичної візуалізації може також забезпечити цінною інформацією, що свідчить про інфекційну причину ускладнення, наприклад сусідні розширення м'якої тканини, фістули. Подібним чином підвищене поглинання РФП у проекції кісткового протезування на відміну від поглинання в оточуючій кістці в ділянках, пов'язаних із фіксацією ендопротезу, вимагає ретельного аналізу появи даних КТ [52]. Таким чином, ОФЕКТ/КТ кісток може визначити джерело болю та забезпечити управління діагностичним процесом приблизно у 65 % хворих, які страждають від болю після артропластики та негативної конфігурації суглобових компонентів [4, 9].

Ацетабулярне ураження

Не тільки рутинний дегенеративний процес, але й анатомічна структурна аномалія ацетабулярної чашечки або головки стегнової кістки може призвести до

прискороного зношування. Незважаючи на те, що МР-артрографія залишається методикою вибору для діагностики ураження, оскільки це також дає змогу оцінити хрящові структури суглоба, ОФЕКТ/КТ кісткової системи може бути альтернативним методом дослідження у випадках, коли застосування МР-артрографії обмежене [29].

Остеїдна остеома

Остеїдна остеома — це доброякісне ураження кісткової тканини, зазвичай виникає в молодих людей і характеризується збільшенням фокусного поглинання РФП при скануванні кісткової тканини на пізній фазі остеосцинтиграфії, при склеротичному набряку на КТ та збільшенні васкуляризації у судинній фазі дослідження. Зазначені патологічні зміни із високою точністю визначаються шляхом застосування ОФЕКТ/КТ (рис. 2б), у той час як при МРТ остеїдна остеома може бути помилково діагностована, особливо в складних анатомічних ділянках, таких як хребет та стопа, через набряк оточуючих тканин та більш складну оцінку діагностичних даних порівняно з ОФЕКТ/КТ.

Стрес-переломи

Хронічне застосування бісфосфонатів, зокрема для лікування та профілактики остеопорозу, пов'язане з низькоенергетичними атиповими субтрохантеріальними і проксимальними діафізарними переломами стегнової кістки [40]. Їм можуть

передувати хронічні переломи напруження, які легко ідентифікуються за допомогою ОФЕКТ/КТ кісткової системи (рис. 2в).

Аваскулярний некроз головки стегнової кістки

У пацієнтів із протипоказаннями до МРТ та металевими імплантатами зазвичай застосовують ОФЕКТ/КТ, що має дуже добрі діагностичні властивості для діагностики аваскулярного некрозу головки стегнової кістки порівняно з ОФЕКТ-візуалізацією (рис. 2г) [30].

Гетеротопна осифікація

Хоча зазвичай рекомендується чекати як мінімум 1 рік після артропластики перед виконанням остеосцинтиграфії, виняток може бути зроблений, коли є підозра на гетеротопну осифікацію, оскільки ця стадія впливає на сусідні м'які тканини, де не очікується фізіологічного поглинання РФП [46]. ОФЕКТ/КТ кісткової системи може мати додаткову цінність, щоб продемонструвати псевдоартроз гетеротопної ділянки осифікації з сусідніми кістками. Більше того, остеосцинтиграфія допомагає оцінити ступінь та активність захворювання, що важливо для планування та синхронізації хірургічного лікування [47].

Транзиторний остеопороз

Транзиторний остеопороз стегнової кістки — ідіопатичний, самообмежуючий синдром, що характеризується прогресуючим або раптовим початком, зменшенням рухливості стегна й локалізованою рентгенографічною остеопенією. Транзиторний процес за-

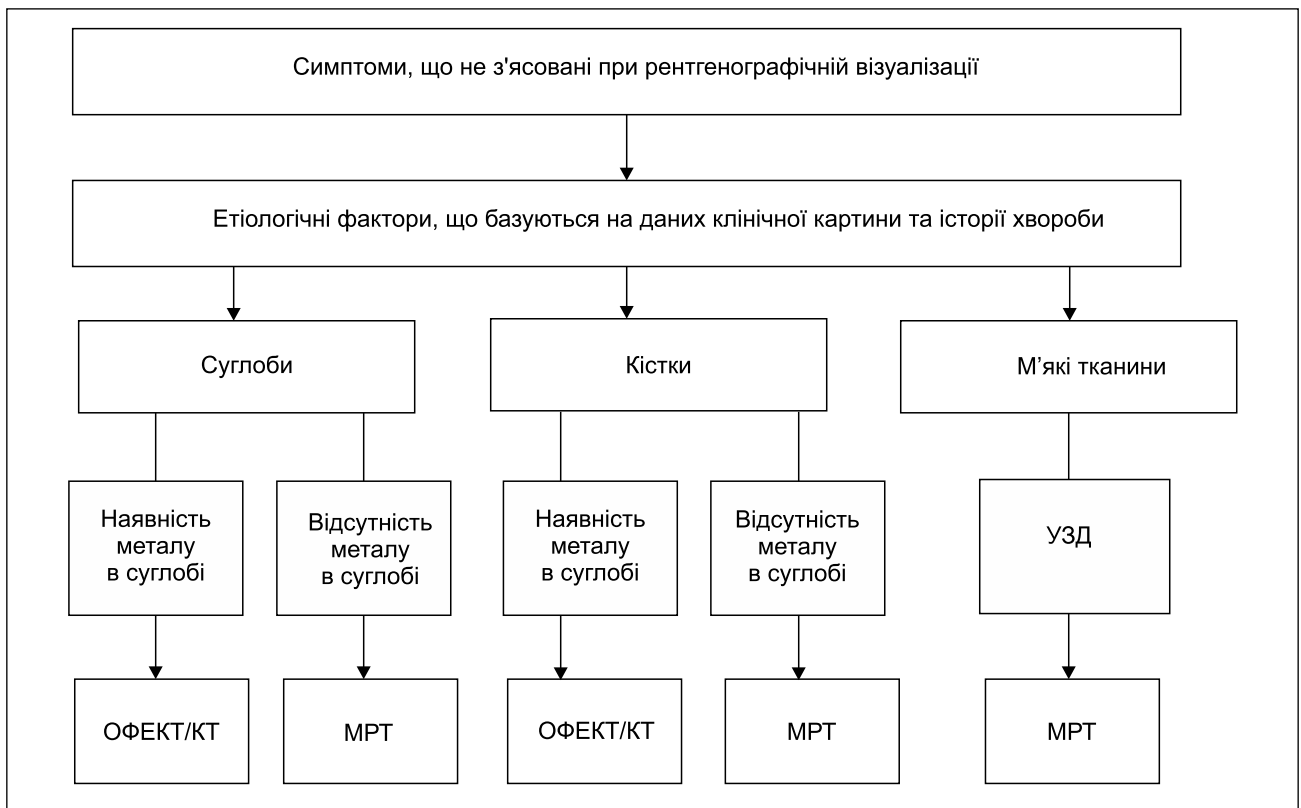


Рисунок 1. Алгоритм діагностичної візуалізації хронічних захворювань кульшових суглобів

звичай свідчить про спонтанне відновлення протягом 2–9 місяців [13]. Звичайні рентгенограми дозволяють діагностувати остеопенію приблизно в 70 % випадків, без будь-яких ознак ерозії або субхондрального колапсу. Типові закономірності патологічних змін у кістковій тканині за даними ОФЕКТ та КТ узагальнені в табл. 1. МРТ класично демонструє схему дифузного набряку кісткового мозку, про що свідчить альтернативна назва цього стану — тимчасовий синдром набряку кісткового мозку.

II. Колінні суглоби

Колінний суглоб — це синовіальне модифіковане шарнірне з'єднання, що складається з трьох артикуляцій. На сьогодні МРТ-дослідження є дуже потужним інструментом для оцінки патологічних змін колінного суглоба, зокрема, воно забезпечує візуалізацію дрібних деталей хрестоподібних зв'язок, бічних зв'язок, менісків, синовіальних оболонки та хрящів. МРТ-візуалізація при остеоартриті може чітко диференціювати кістковий набряк, ураження хрящів, дегенеративні зміни в менісках та ознаки патологічного випоту в колінному суглобі. МРТ також регулярно застосовується для локальної оцінки злоякісних пухлин кісток, таких як остеосаркома, а також з метою оцінки поширення остеомієліту. Проте МРТ-дослідження також має ряд протипоказань: клаустрофобія, наявність у тілі пацієнта деяких кардіостимуляторів, металевих сторонніх предметів, ниркова недостатність, що потребує застосування контрасту гадолінію. Крім того, МРТ-візуалізація може суттєво погіршуватися артефактами у зв'язку з наявністю в тілі пацієнта металевих імплантів, що ускладнює диференціально-діагностичну оцінку при ендопротезуванні [16]. Незважаючи на те, що МРТ має можливість надавати анатомо-морфологічну оцінку органів та систем усього тіла, у повсякденній практиці дана методика в більшості світових медичних центрів застосовується рідко. Хоча МРТ дуже інформативна при анатомо-морфологічній оцінці кісткового мозку, вона обмежується оцінкою лише кіркового шару кістки.

Сильні сторони остеосцинтиграфії та ОФЕКТ/КТ — це отримання як морфологічної, так і метаболічної діагностичної інформації. Більше того, дослідження всього тіла можна легко об'єднати із спеціальним протоколом ОФЕКТ/КТ для візуалізації колінного суглоба, що передбачає виконання дослідження при наявності металевих імплантів, а також можливість детальної оцінки структур кісткової системи. Нещодавно ОФЕКТ/КТ кісткової системи була запропонована як метод другої ланки досліджень для діагностичної оцінки больового синдрому при ендопротезуванні колінного суглоба (рис. 3). Поглинання РФП при остеосцинтиграфії та наявність набряку кісткового мозку при МРТ надають незалежну діагностичну інформацію та представляють різні біологічні процеси [50]. Отже, один метод не є взаємозамінним іншим, про що свідчить дослідження [8], які вважають скінтиграфію більш чуливім методом порівняно з МРТ для вияв-

лення механічного перевантаження кісток у хворих із хронічним медіальним болем у коліні (рис. 4а). Є дані авторів про перевагу методів радіонуклідної візуалізації колінних суглобів в епоху МРТ, основними ознаками якої є отримання діагностичного конвенціонального зображення або відсутність можливості проведення МРТ після артропластики, при інфекційному та пухлинному процесі кісткової системи. Для досягнення цих переваг надзвичайно важливо використовувати повний спектр діагностичних можливостей КТ як частини методу ОФЕКТ/КТ.

У контексті застосування ОФЕКТ/КТ кісткової тканини, щоб повністю конкурувати з МРТ, необхідно досягти КТ-зображення колінних суглобів високої роздільної здатності. З цією метою значення в нижньому діапазоні параметрів товщини комп'ютерного зрізу, запропоноване керівним принципом Європейської асоціації ядерної медицини, для остеосцинтиграфії дорівнюватиме 0,33 мм, є необхідним налаштування томографа на більш високі значення діапазону напруги [56]. Однак це не обов'язково означає, що протягом дослідження пацієнт отримає більш високу дозу іонізуючого опромінення, оскільки в складі сучасних томографів є спеціальні конструкції детекторів (наприклад, КТ плоскої панелі) та методики зниження дози (наприклад, ітеративні алгоритми реконструкції). Використовуючи ці досягнення, адитивне опромінення, що отримане при остеосцинтиграфії, може становити лише 10 % (у верхній частині діапазону дози).

Застосування ОФЕКТ/КТ Артропластика

З літературних джерел відомо, що в проекції ураження колінного суглоба можна візуалізувати стійке поступове залишкове включення РФП за даними скінтиграфії через багато років після артропластики, зокрема, в проекції оточуючих тканин гомілки, навіть у пацієнтів без клінічних симптомів [17]. Проте впровадження ОФЕКТ/КТ призвело до значного підвищення діагностичної інформативності, стало дуже цінним інструментом оцінки больового синдрому при здійсненні артропластики колінного суглоба. Наприклад, КТ вірогідно виявляє гранульомний процес, який визначається за даними остеосцинтиграфії у вигляді неспецифічного дифузного поглинання РФП (рис. 4б). Як показано на рис. 3, кістка в ОФЕКТ/КТ не є основною модальністю візуалізації, а застосовується після проведення традиційної рентгенографії та ретельного клінічного обстеження, що не дає достатньо діагностичної інформації для встановлення діагнозу [17]. Інші діагностичні методи візуалізації можуть застосовуватись після ОФЕКТ/КТ кісткової системи, наприклад, із метою виключення інфекційного процесу або клінічної оцінки м'якотканинних структур та зв'язок. ОФЕКТ/КТ кісткової системи є надійною методикою для виявлення прогресування патолофеморального остеоартрозу [2, 18], що суттєво впливає на результати лікування у 85 % хворих. Діагностика інфекційного процесу із застосуванням

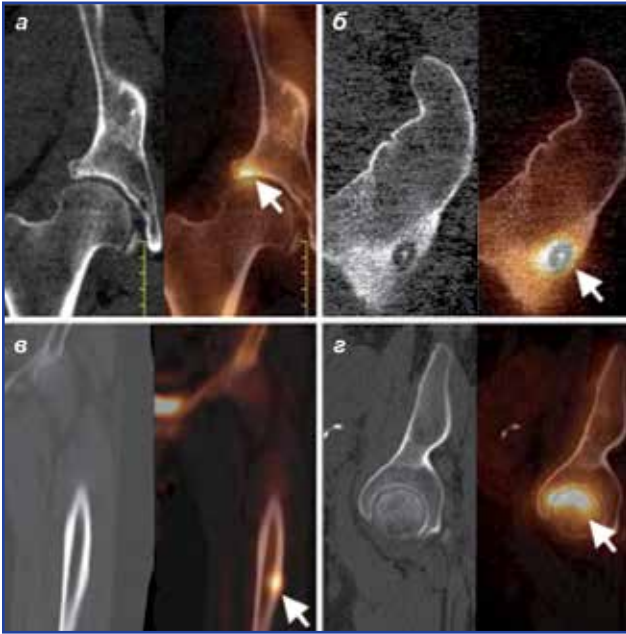


Рисунок 2. ОФЕКТ/КТ-діагностична візуалізація патологічних процесів кульшових суглобів: а) ацетабулярне ураження правого кульшового суглоба; б) вертлюгова остеїдна остеома лівої стегнової кістки; в) хронічний бісфосфонатно-індукований стрес-перелом лівої стегнової кістки; г) аваскулярний некроз головки стегнової кістки (фаза репарації)

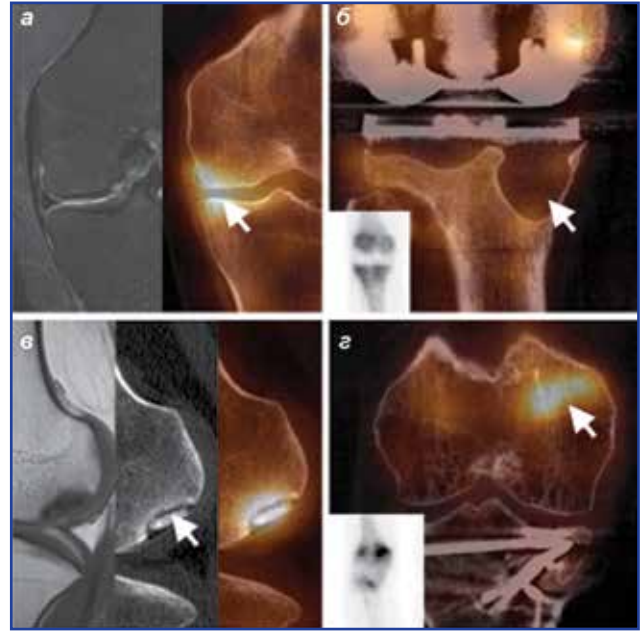


Рисунок 4. ОФЕКТ/КТ-діагностична візуалізація патологічних процесів колінних суглобів: а) перевантаження медіального виростка; б) артропластичне гранульомне ураження колінного суглоба; в) остеохондрит із фрагментарним розривом виростка; г) комплексний остеосинтез проксимального відділу великогомілкової кістки внаслідок стрес-перелому дистального відділу стегнової кістки

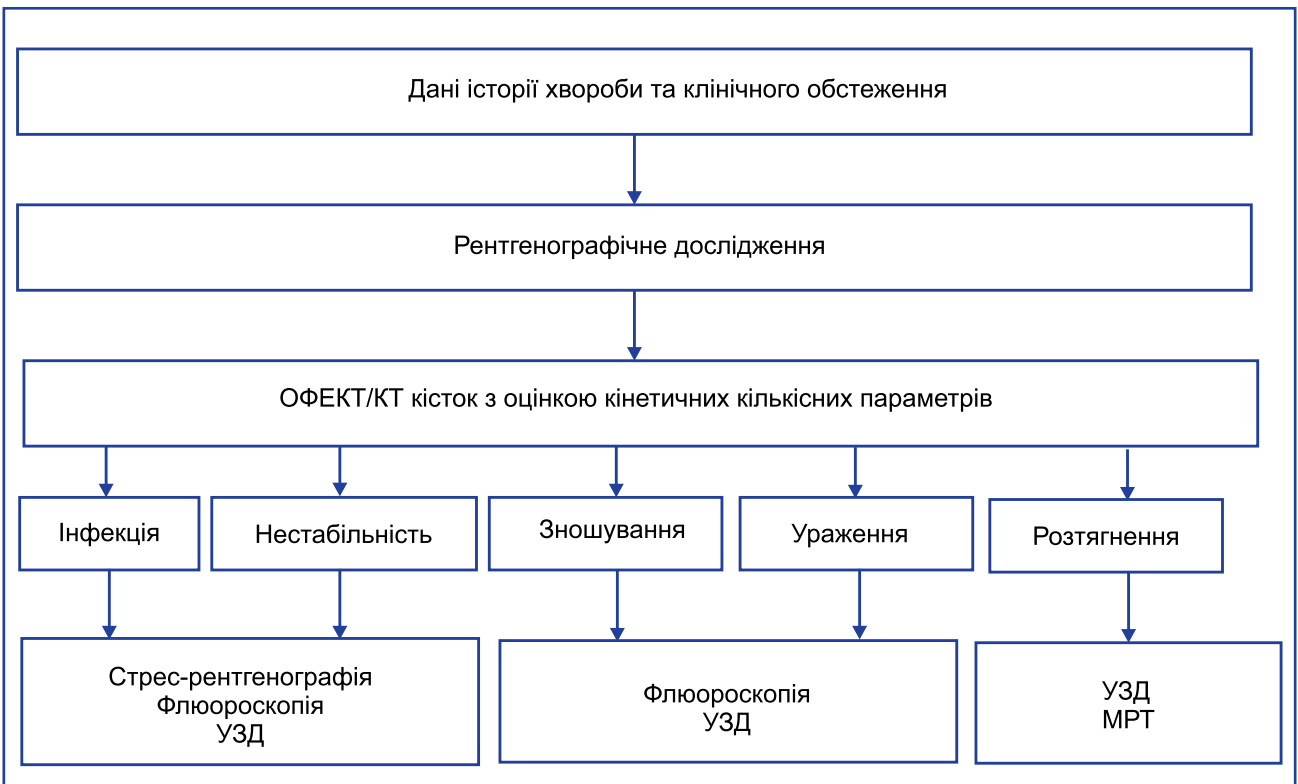


Рисунок 3. Алгоритм діагностичної візуалізації параендопротезних ускладнень колінних суглобів

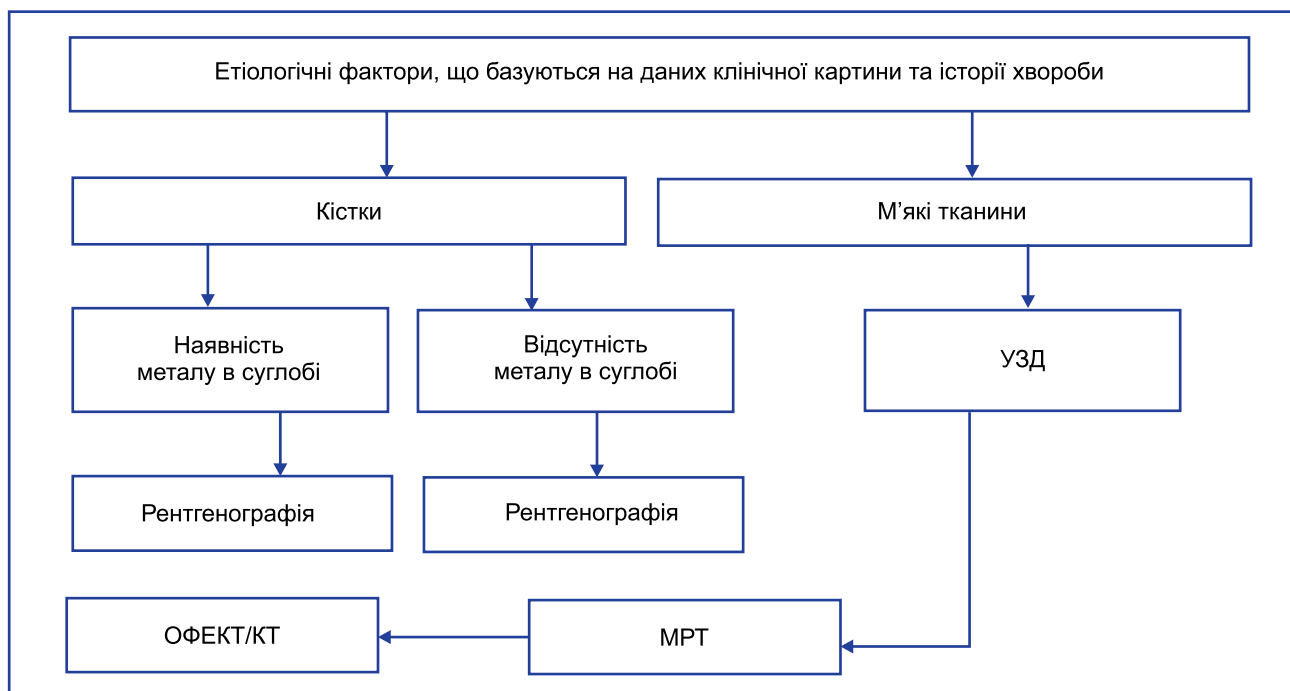


Рисунок 5. Алгоритм діагностичної візуалізації патологічних процесів гомілковостопових суглобів



Рисунок 6. ОФЕКТ/КТ кісток гомілковостопових суглобів та стоп:
а) дегенеративні зміни в дистальному великогомілково-малогомілково-синдесмозі після травматичного процесу;
б) частковий анкілоз правого субталярного суглоба; синдесмоз із субхондральним склерозом лівого субталярного суглоба в пацієнта з анкілозуючим спондилітом;
в) п'ятковий фасціїт;
г) синдром задньої компресії (os trigone-синдром)

антигранулоцитарних антитіл також сприяла впровадженню ОФЕКТ/КТ кісткової системи, що збільшує загальну точність візуалізації порівняно з планарною остеосцинтиграфією або застосуванням тільки ОФЕКТ [14]. Слід зазначити, що нововведенням є застосування кісткової ОФЕКТ/КТ, що поєднана з артрографією, особливо в пацієнтів із металевими структурами в тілі, що перешкоджає правильному зображенню при МРТ. При введенні в колінний суглоб контрастного матеріалу, що містить йод, можлива детальна оцінка цілісності хряща та первинна оцінка структури менісків та зв'язок [19].

Остеохондрит

Для діагностичної оцінки остеохондритів необхідний кореляційний зв'язок між діагностичними даними ОФЕКТ та анатомічною інформацією КТ. Слід зазначити, що метод КТ може бути використаний для деталізації діагностичної оцінки хрящових структур, але може також виявити будь-які проміжки між вільним фрагментом кісткових структур та сусідніми кістками (рис. 4в).

Остеосинтез

Після остеотомії ОФЕКТ/КТ кісткової системи може бути використана з метою оцінки ефективності оптимальної інтеграції фрагментів кісток. Крім того, рентгенологічне дослідження може бути складним для інтерпретації діагностичних даних після остеосинтезу травматичних уражень, тоді як ОФЕКТ/КТ може спрямувати інтерпретацію зображення до ділянок патологічного прискорення метаболічного обміну в уражених кісткових структурах (рис. 4г) [19].

Доброякісні пухлини кісток

Незважаючи на те, що ПЕТ/КТ та ПЕТ/МРТ із фтордизоксиглюкозою, ймовірно, більш діагностично інформативні для оцінки злоякісних пухлин кісток, таких як остеосаркома, ОФЕКТ/КТ кісток може бути корисним для характеристики фокальних ділянок підвищеного поглинання РФП як ознаки доброякісних пухлин кісткової системи. Наприклад, типовий вигляд неосифікуючої фіброми за даними КТ позбавить клініциста необхідності в подальших дослідженнях. Разом із тим він може доповнити діагностичну картину даними МРТ у тому випадку, коли цілісність кіркового шару кістки, що прилягає до аневризматичної кісткової кісти, не може бути адекватно оцінена.

Спонтанний остеонекроз коліна

Спонтанний остеонекроз коліна (СОК) діагностується переважно в жінок віком понад 60 років, найчастіше виникає в односторонньому порядку в ділянці медіального виростка стегнової кістки, хоча може визначатись і в будь-якій іншій частині колінного суглоба. Клінічна картина СОК характеризується різким больовим синдромом в проекції колінного суглоба, наявністю випоту та обмеженням рухової активності в суглобі [10]. Ці особливості відрізняють СОК від вторинних форм остеонекрозу, від яких страждають переважно пацієнти молодшого віку, що характеризуються менш тяжкою клінічною симптоматикою та мають двосторонній характер. Точний патогенез залишається незрозумілим, але наявність переломів в остеопенічній кістці може ініціювати каскад набряку кісткового мозку, що призводить до фокальної ішемії [55]. Хоча початкові стадії даного клінічного стану вважаються оборотними при відсутності рентгенологічної симптоматики, більш пізні стадії патологічного процесу асоціюються з необоротними хрящовими змінами та руйнуванням субхондральної кістки, що призводить до суглобового колапсу. Остеосцинтиграфія в артеріальну фазу дослідження показує підвищене включення РФП у пухлинній тканині, із подальшим поступовим зменшенням поглинання РФП у відстрочену фазу, але збереженням позитивного сцинтиграфічного зображення в пізній фазі дослідження протягом 2 років. Через 3–6 місяців після рентгенологічних та КТ-ознак патологічного ураження (півмісяць або знак обода), що вказують на сегментарний некроз субхондральної кістки, ОФЕКТ/КТ кісткової системи найбільш корисна для керування діагностично-лікувальним процесом на ранніх етапах СОК. МР-зображення на ранніх стадіях остеонекрозу вважаються неспецифічними, але на більш пізніх етапах патологічного процесу на МРТ візуалізуються зазвичай типові ознаки, що характерні для остеонекрозу.

Синовіт та запальні захворювання суглобів

Синовіт, обумовлений багатьма різними запальними станами, зокрема ревматоїдним артритом або навіть остеоартрозом, зазвичай впливає на анато-

мічно-функціональний стан колінних суглобів. Із посиленням тяжкості патологічного процесу рентгенологічні зміни характеризуються наявністю суглобового випоту, субхондрального остеолізу, ерозій, утворення кіст та анкілозу. Проте роль КТ при оцінці ревматоїдного артриту та синовіту обмежена, оскільки перевага віддається УЗД та МРТ [48]. Візуалізація в судинну фазу дослідження є незамінним інструментом для оцінки синовіту при остеосцинтиграфії та зазвичай демонструє підвищене синовіальне поглинання РФП, навіть на дуже ранніх стадіях сцинтиграфії, коли радіографічні знахідки можуть бути відсутніми. Відстрочена фаза дослідження має тенденцію відображати субхондральне та внутрішньосекреторне поглинання РФП [15]. ОФЕКТ/КТ кісткової системи повинно бути одним із вагомих методів диференціальної діагностики хворих на запальні захворювання суглобів, особливо при виявленні патологічного процесу в ранній стадії [35].

III. Стопа

Патологія стоп зустрічається в 10–20 % усіх пацієнтів із захворюванням нижніх кінцівок. Больовий синдром у кістках стоп та суглобів може бути пов'язаний із механічними станами або нетравматичними системними захворюваннями (ревматоїдним артритом). Крім того, стопа являє собою складну анатомічно-функціональну ділянку. Поряд із звичайною рентгенографією МРТ-візуалізація є пріоритетним методом для морфологічної оцінки структур стоп та гомілковостопних суглобів завдяки ефективній візуалізації кісток і м'яких тканин. Історично склалося так, що внесок остеосцинтиграфії в диференціально-діагностичний процес захворювань кісток стопи та гомілковостопних суглобів був обмеженим у зв'язку з низькою специфічністю. Проте гібридна ОФЕКТ/КТ-візуалізація кісткової системи значно підвищила діагностичне значення радіонуклідної діагностики цієї анатомічної області, що підтверджує його перевагу над планарною остеосцинтиграфією [54]. Поточне застосування ОФЕКТ/КТ у диференціальній діагностиці патологічних процесів стоп та гомілковостопних суглобів зазвичай включає випадки хронічних уражень, які недостатньо пояснені клінічними висновками та традиційними методами діагностичної візуалізації. До даних клінічних випадків відносяться активні ділянки остеоартриту, остеоїдної остеомі, переломи при окультному стресі, тендиніти, підшоввні фасціїти [11, 41, 57]. Оцінка терапевтичної відповіді після хірургічних втручань, таких як артродез, є подальшим перспективним сегментом застосування гібридної ОФЕКТ/КТ-візуалізації. Останні клінічні дослідження дозволяють припустити, що методика ОФЕКТ/КТ має порівнянну діагностичну здатність із МРТ-візуалізацією для симптоматичних уражень пацієнтів з ураженнями кісток стоп та гомілковостопних суглобів, залежно від клінічного контек-

сту. ОФЕКТ/КТ у даних хворих може бути запропонована як модальність візуалізації другої або третьої лінії (рис. 5) [15, 21].

Що стосується будь-якого радіонуклідного дослідження, то наявність достатньої клінічної інформації та широкого спектра даних інших методів візуалізації є необхідною умовою для застосування та впровадження ОФЕКТ/КТ кісткової системи. Із технічної точки зору оптимальне позиціонування пацієнта й іммобілізація нижніх кінцівок є найважливішими факторами при проведенні ОФЕКТ/КТ. Що стосується зображення колінних суглобів, то пріоритетним є використання в реконструкції отриманих даних тонких аксіальних зрізів КТ (наприклад, 1,25 мм) [56]. З огляду на складну регіональну анатомію колінних суглобів судинну фазу дослідження також доцільно здійснювати за допомогою ОФЕКТ у поєднанні з КТ. Це може бути особливо ефективним для виявлення ушкоджень зв'язок, які зазвичай спостерігаються при збільшеному поглинанні РФП у судинну фазу ОФЕКТ, тоді як зображення у пізню фазу дослідження не відображають патологічне ураження [35]. У даному випадку необхідно додаткове застосування модальності КТ, оскільки на сьогодні неможливо надійно об'єднати серію ОФЕКТ судинної та пізньої фази дослідження. Слід зазначити, що методи об'ємного рендерингу можуть бути дуже корисними в контексті визначення патологічного процесу відносно всієї анатомії стопи [15].

Застосування ОФЕКТ/КТ Остеоартрит

Патологічні ураження кісток стоп зазвичай є показанням до виконання ОФЕКТ/КТ-дослідження [38]. Слід зазначити, що діагностичне виявлення дегенеративних змін у велико-малогомілкових синдесмозах після травматичних уражень покращилося за рахунок застосування ОФЕКТ/КТ (рис. 6а). Крім того, ця методика може бути використана з метою пошуку оптимальної локалізації для внутрішньосуглобових інфільтрацій [39]. Нарешті, дані літератури підтверджують успішне застосування ОФЕКТ/КТ кісткової системи у випадках рецидиву больового синдрому після артропластики або артродезу при дегенеративних ураженнях суглобів [5, 32].

Остеохондральні ураження

При остеохондральних ураженнях ОФЕКТ/КТ кісткової системи може надавати важливу діагностичну інформацію, на додаток до МРТ, стосовно ступеня патологічного процесу, пошуку найбільш активного ураження в разі мультифокального захворювання та відбору пацієнтів для хірургічного втручання [33].

Посттравматичні ураження

Посттравматичні ураження включають невиявлені розтягнення в ділянках синдесмозів, остеохондральні ураження кісток стоп та стрес-переломи, які можна діагностувати за допомогою ОФЕКТ/КТ [41].

Анкілозуючий спондиліт

Больовий синдром у кісточці може бути передвісником системних запальних захворювань, таких як анкілозуючий спондиліт. В основному підвищення включення РФП у суглобах стоп при застосуванні ОФЕКТ, що корелює з частковим анкілозом з субхондральним склерозом за даними КТ, може забезпечити виявлення важливих ознак системного захворювання (рис. 6б).

Підошовний фасціїт

Типовий скінтинграфічний рисунок складається із збільшення поглинання РФП та фокальної гіперемії на зображеннях судинної фази ОФЕКТ [28], що простягається до проксимальної підошовної фасції та корелює з кістковою шпорою, яка характеризується візуалізацією затінення на знімку КТ (рис. 6в).

Тендинопатії

Дисфункції сухожилків задньої гомілкової ділянки характеризуються больовим синдромом і набряком в проекції навікулярної вставки [41]. Це може бути наслідком повторних травм, що виникають зазвичай у спортсменів та провокують запальну реакцію. Візуалізація судинної фази ОФЕКТ характеризує посилення поглинання РФП уздовж сухожилків, що простягається до ділянки локалізації набряку [42]. Ще однією частою причиною больового синдрому в проекції задньої ділянки стопи є травма ахілового сухожилка.

Подагра

При подагрі внаслідок відкладення уратів утворюються тофуси, що є вузликами м'яких тканин, які з'являються в періартикулярних м'яких тканинах і виникають разом із кістковими ерозіями зі склеротичними краями, що призводять до типових уражень з нависаючими кірковими краями. На відміну від інших артропатій, таких як ревматоїдний артрит, товщина суглобового простору та мінеральна щільність кісток добре зберігаються до кінця хвороби. Слід звернути увагу на необхідність проведення диференціальної діагностики з пухлинним кальцинозом у зв'язку з тим, що кристали уратів не демонструють поглинання РФП на відміну від відкладень кальцію.

Незважаючи на те, що останніми роками з'явилося багато перспективних результатів, що висвітлюють потенціал ОФЕКТ/КТ кісткової системи, низка питань потребує подальшого з'ясування. Необхідна наявність вірогідної доказової бази для визначення можливості застосування ОФЕКТ/КТ-візуалізації з метою ранньої діагностичної оцінки морфологічно-функціонального стану кісток і суглобів. Даний аспект вимагатиме подальших науково-технічних досягнень, спрямованих на зменшення радіаційного опромінення пацієнтів у процесі гібридної візуалізації. Технічний прогрес методики ОФЕКТ/КТ протягом останніх років

був вражаючим, зокрема, можливість кількісної оцінки поглинання РФП в абсолютних одиницях, впровадження напівпровідникових детекторів та розробка методології реконструкції мультимодальних зображень [43]. Даних літературних джерел щодо клінічної цінності цих технологій при розладах, що впливають на кісткову систему, все ще недостатньо, але вони становлять інтерес для подальшого підвищення діагностичної інформативності ОФЕКТ/КТ пацієнтів із патологією кісток нижніх кінцівок.

Висновки

Літературний огляд підсумовує останні дослідження наукової спільноти стосовно застосування гібридної ОФЕКТ/КТ-візуалізації в пацієнтів із патологією кісток нижніх кінцівок. Розвиток гібридної візуалізації зробив революцію в діагностиці хворих із широким спектром патологічних процесів кісток нижніх кінцівок на всіх етапах розвитку та відіграє важливу роль у сучасному моніторингу даних пацієнтів [28, 36]. Синтез функціональної інформації, отриманої за допомогою ОФЕКТ у комплексі з КТ високої роздільної здатності, дозволяє ефективно діагностувати патологічний метаболізм в ураженій ділянці з одночасною оцінкою співіснуючих структурних змін. Проте є необхідними подальші дослідження з метою безпосереднього порівняння нових лігандів в однакових клінічних умовах та в більш численних діагностичних групах, що сприятиме вирішенню питань щодо пошуку найбільш чутливих маркерів та умов його кращого використання в ядерній медицині.

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

Список літератури

1. Abdoli M., Mehranian A., Ailianou A. et al. Assessment of metal artifact reduction methods in pelvic CT // *Med Phys*. 2016; 43(4): 1588.
2. Abele J.T., Swami V.G., Russell G. et al. The accuracy of single photon emission computed tomography/computed tomography Arthrography in evaluating aseptic loosening of hip and knee prostheses // *J Arthroplast*. 2015; 30(9): 1647-1651.
3. Al-Riyami K., Gnanasegaran G., Van den Wyngaert T. et al. Bone SPECT/CT in the postoperative spine: a focus on spinal fusion // *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017; 44(12): 2094-2104.
4. Berber R., Henckel J., Khoo M. et al. Clinical usefulness of SPECT-CT in patients with an unexplained pain in metal on metal (MOM) Total hip Arthroplasty // *J Arthroplast*. 2015; 30(4): 687-694.
5. Biersack H.J., Wingenfeld C., Hinterthaler B. et al. SPECT-CT of the foot // *Nuklearmedizin*. 2012; 51(1): 26-31.
6. Boegard T., Rudling O., Dahlstrom J. et al. Bone scintigraphy in chronic knee pain: comparison with magnetic resonance imaging // *Ann Rheum Dis*. 1999; 58(1): 20-26.
7. Braly B.A., Beall D.P., Martin H.D. Clinical examination of the athletic hip // *Clin Sports Med*. 2006; 25(2): 199-210.
8. Buck F.M., Hoffmann A., Hofer B. et al. Chronic medial knee pain without history of prior trauma: correlation of pain at rest and during exercise using bone scintigraphy and MR imaging // *Skelet Radiol*. 2009; 38(4): 339-347.
9. Dobrindt O., Anthauer H., Krueger A. et al. Hybrid SPECT/CT for the assessment of a painful hip after uncemented total hip arthroplasty // *BMC Med Imaging*. 2015; 15: 18.
10. Elgazzar A.H. Distinctive forms of osteonecrosis // *Orthopedic nuclear medicine*. 2004; 1: 204.
11. Farid K., El-Deeb G., Caillat V.N. SPECT-CT improves scintigraphic accuracy of osteoid osteoma diagnosis. *Clin Nucl Med*. 2010; 35(3): 170-171.
12. Frater C., Vu D., Van der Wall H. et al. Bone scintigraphy predicts outcome of steroid injection for plantar fasciitis // *J Nucl Med*. 2006; 47(10): 1577-1580.
13. Gemmel F., Van Der Veen H.C., Van Schelven W.D. Multi-modality imaging of transient osteoporosis of the hip // *Acta Orthop Belg*. 2012; 78(5): 619-627.
14. Graute V., Feist M., Lehner S. et al. Detection of low-grade prosthetic joint infections using ^{99m}Tc-antigranulocyte SPECT/CT: initial clinical results // *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2010; 37(9): 1751-1759.
15. Ha S., Hong S.H., Paeng J.C. et al. Comparison of SPECT/CT and MRI in diagnosing symptomatic lesions in ankle and foot pain patients: diagnostic performance and relation to lesion type // *PLoS One*. 2015; 10(2): e0117583.
16. Hayter C.L., Koff M.F., Shah P. et al. MRI after arthroplasty: comparison of MAVRIC and conventional fast spin-echo techniques // *AJR Am J Roentgenol*. 2011; 97(3): 405-411.
17. Hirschmann M.T., Amsler F., Rasch H. et al. Clinical value of SPECT/CT in the painful total knee arthroplasty (TKA): a prospective study in a consecutive series of 100 TKA // *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2015; 42(12): 1869-1882.
18. Hirschmann M.T., Henckel J., Rasch H. SPECT/CT in patients with painful knee arthroplasty-what is the evidence? // *Skelet Radiol*. 2013; 42(9): 1201-1207.
19. Huellner M.W., Strobel K. Clinical applications of SPECT/CT in imaging the extremities // *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2014; 41(1): 50-58.
20. Kalebo P., Goksor L.A., Sward L. et al. Soft-tissue radiography, computed tomography, and ultrasonography of partial Achilles tendon ruptures // *Acta Radiol*. 1990; 31(6): 565-570.
21. Kannagara S., Bruce W., Hutabarat S.R. et al. Scintigraphy in severe tenosynovitis of the tibialis posterior tendon // *Clin Nucl Med*. 1999; 24(9): 694-695.
22. Korol P., Tkachenko M. Diagnostic parameters of bone scintigraphy for knee arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis // *East European Scientific Journal*. 2016; 10: 38-39.

23. Korol P.A., Ponomarenko N.N., Shinkarenko N.V. Diagnostic use of osteoscintigraphy and X-ray examination in revision hip arthroplasty // *Promeneva diagnostika, promeneva terapiya*. 2012; 2–3: 77–79.
24. Korol P., Tkachenko M. The main surgical criteria of bone scintigraphy at the hip arthroplasty // *Science in the modern information society*. 2015; 1: 42–44.
25. Korol P., Tkachenko M. The role of bone scintigraphy in differential diagnosis of knee inflammatory processes // *Fundamental and applied sciences today*. 2014; 1: 53–55.
26. Lacout A., Rousselin B., Pelage J.P. CT and MRI of spine and sacroiliac involvement in spondyloarthropathy // *AJR Am J Roentgenol*. 2008; 191(4): 1016–1023.
27. Latremoliere A., Woolf C.J. Central sensitization: a generator of pain hypersensitivity by central neural plasticity // *J Pain*. 2009; 10(9): 895–926.
28. Lawrence D.A., Rolan M.F., Haims A.H. et al. Tarsal coalitions: radiographic, CT, and MR imaging findings // *HSS J*. 2014; 10(2): 153–166.
29. Lee A., Emmett L., Van der Wall H. et al. SPECT/CT of femoroacetabular impingement // *Clin Nucl Med*. 2008; 33(11): 757–762.
30. Luk W.H., Au-Yeung A.W., Yang M.K. Diagnostic value of SPECT versus SPECT/CT in femoral avascular necrosis: preliminary results // *Nucl Med Commun*. 2010; 31(11): 958–961.
31. Margo K., Drezner J., Motzkin D. Evaluation and management of hip pain: an algorithmic approach // *J Fam Pract*. 2003; 52(8): 607–617.
32. Mason L.W., Wyatt J., Butcher C. et al. Single-photon-emission computed tomography in painful total ankle replacements // *Foot Ankle Int*. 2015; 36(6): 635–640.
33. Meftah 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(3): 233–238.
34. Mintz D.N., Roberts C.C., Bencardino J.T. et al. ACR appropriateness criteria (R) chronic hip pain // *J Am Coll Radiol*. 2017; 14: 90–102.
35. Mohan H.K., Gnanasegaran G., Vijayanathan S. et al. SPECT/CT in imaging foot and ankle pathology—the demise of other coregistration techniques // *Semin Nucl Med*. 2010; 40(1): 41–51.
36. Mohan H.K., Strobel K., Van der Bruggen W. et al. The role of hybrid bone SPECT/CT imaging in the work-up of the limping patient: a symptom-based and joint-oriented review // *European Journal of Hybrid Imaging*. 2018; 2: 2–18.
37. Motamedi K., Seeger L.L. Benign bone tumors // *Radiol Clin N Am*. 2011; 49(6): 1115–1134.
38. 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(9): 1191–1196.
39. 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(8): 928–935.
40. Patel R.N., Ashraf A., Sundaram M. Atypical fractures following Bisphosphonate therapy // *Semin Musculoskelet Radiol*. 2016; 20(4): 376–381.
41. Pelletier-Galarneau M., Martineau P., Gaudreault M. et al. Review of running injuries of the foot and ankle: clinical presentation and SPECT-CT imaging patterns // *Am J Nucl Med Mol Imaging*. 2015; 5(4): 305–316.
42. Pneumatics S.G., Chatziioannou S.N., Hipp J.A. et al. Low back pain: prediction of short-term outcome of facet joint injection with bone scintigraphy // *Radiology*. 2006; 238(2): 693–698.
43. Ritt P., Sanders J., Kuwert T. SPECT/CT technology // *Clin Transl Imaging*. 2014; 2(6): 445–457.
44. Roth T.D., Maertz N.A., Parr J.A. et al. CT of the hip prosthesis: appearance of components, fixation, and complications // *Radiographics*. 2012; 32(4): 1089–1107.
45. Roussel N.A., Nijs J., Meeus M. et al. Central sensitization and altered central pain processing in chronic low back pain: fact or myth? // *Clin J Pain*. 2013; 29(7): 625–638.
46. Shawgi M. Heterotopic ossification of the hips in a patient with Guillain Barre syndrome demonstrated on SPECT/CT // *Clin Nucl Med*. 2012; 37(10): 253–254.
47. Shehab D., Elgazzar A.H., Collier B.D. Heterotopic ossification // *J Nucl Med*. 2002; 43(3): 346–353.
48. Sommer O.J., Kladosok A., Weiler V. et al. Rheumatoid arthritis: a practical guide to state-of-the-art imaging, image interpretation, and clinical implications // *Radiographics*. 2005; 25(2): 381–398.
49. Stoica Z., Dumitrescu D., Popescu M. et al. Imaging of avascular necrosis of femoral head: familiar methods and newer trends // *Curr Health Sci J*. 2009; 35(1): 23–28.
50. Strobel K., Steurer-Dober I., Da Silva A.J. et al. Feasibility and preliminary results of SPECT/CT arthrography of the wrist in comparison with MR arthrography in patients with suspected ulnocarpal impaction // *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2014; 41(3): 548–555.
51. Strobel K., Steurer-Dober I., Huellner M.W. et al. Importance of SPECT/CT for knee and hip joint prostheses // *Radiologe*. 2012; 52(7): 629–635.
52. Tam H.H., Bhaludin B., Rahman F. et al. SPECT-CT in total hip arthroplasty // *Clin Radiol*. 2014; 69(1): 82–95.
53. Tkachenko M.N., Korol P.A. Priorities for the selection of instrumental methods of examination in diagnostic screening in hip arthroplasty // *Promeneva diagnostika, promeneva terapiya*. 2015; 2: 34–36.
54. Upadhyay B., Mo J., Beadsmoore C. et al. Technetium-99m Methylene Diphosphonate single-photon emission computed tomography/computed tomography of the foot and ankle // *World J Nucl Med*. 2017; 16(2): 88–100.
55. Van der Bruggen W., Bleeker-Rovers C.P., Boerman O.C. et al. PET and SPECT in osteomyelitis and prosthetic bone and joint infections: a systematic review // *Semin Nucl Med*. 2010; 40(1): 3–15.
56. Van den Wyngaert T., Strobel K., Kampen W.U. et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy // *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2016; 43(9): 1723–1738.
57. Williams T., Cullen N., Goldberg A. et al. SPECT-CT imaging of obscure foot and ankle pain // *Foot Ankle Surg*. 2012; 18(1): 30–33.
58. Zagarella A., Impellizzeri E., Maiolino R. et al. Pelvic heterotopic ossification: when CT comes to the aid of MR imaging // *Insights Imaging*. 2013; 4(5): 595–603.

Отримано 10.06.2018 ■

Король П.А.^{1,2}, Ткаченко М.Н.¹

¹Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца, г. Киев, Украина

²Киевская городская клиническая больница № 12, г. Киев, Украина

Роль гибридной ОФЭКТ/КТ-визуализации в диагностическом мониторинге пациентов с патологией костей нижних конечностей (обзор литературы)

Резюме. В обзоре литературы рассмотрены ключевые вопросы клинического применения гибридной ОФЭКТ/КТ-визуализации у больных с поражениями костей нижних конечностей. Развитие гибридной визуализации произвело революцию в диагностике больных с широким спектром патологических процессов костей нижних конечностей на всех этапах развития и играет важную роль в современном мониторинге пациентов. Синтез функциональной информации,

полученной с помощью ОФЭКТ в комплексе с КТ с высоким разрешением, позволяет эффективно диагностировать патологический метаболизм в пораженном участке кости с одновременной оценкой сосуществующих структурных изменений.

Ключевые слова: однофотонная эмиссионная компьютерная томография; радиофармпрепарат; остеосцинтиграфия; кости нижних конечностей; обзор

P.O. Korol^{1,2}, M.M. Tkachenko¹

¹Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

²Kyiv Clinical City Hospital 12, Kyiv, Ukraine

The role of hybrid SPECT/CT imaging in the diagnostic monitoring of patients with pathology of the bones of the lower limbs (review of literature)

Abstract. The review of the literature considers the key issues of the clinical application of hybrid SPECT/CT imaging in patients with lesions of bone of the lower extremities. The development of hybrid imaging has revolutionized the diagnosis of patients with a wide range of pathological processes of the bones of the lower extremities at all stages of development and plays an important role in modern monitoring of patients. Synthesis of functional information obtained

with the help of SPECT in combination with a high-resolution CT allows for efficient diagnosis of pathological metabolism in the affected area of the bone with simultaneous evaluation of coexisting structural changes.

Keywords: single-photon emission computed tomography; radiopharmaceutical; bone scintigraphy; bones of lower limbs; review