

UDC: 616.71-073.7:[615.2/.3:539.163

[https://doi.org/10.32345/USMYJ.1\(152\).2025.77-91](https://doi.org/10.32345/USMYJ.1(152).2025.77-91)

Received: May 09, 2024

Accepted: November 01, 2024

Остесцинтиграфія в сучасній клінічній практиці (огляд літератури)

Нечаєв Микита¹, Ткаченко Михайло², Романенко Ганна², Макаренко Анатолій²,
Миронова Олена², Мазур Анастасія²

¹ Національна дитяча спеціалізована лікарня «Охматдит» відділ Ядерної медицини,
Київ, Україна

² Національний медичний університет імені О.О. Богомольця,
кафедра радіології та радіаційної медицини, Київ, Україна

Address for correspondence:

Romanenko Hanna

E-mail: ganusya96@gmail.com

+380503127031

Анотація: в статті розглянуто основи радіонуклідного дослідження скелету, історія розвитку методу, його можливості, обмежуючі фактори і перспективи розвитку. Остесцинтиграфія сьогодні займає одне з провідних місць в онкологічній практиці та для виявлення і диференційної діагностики запальних процесів кісток. На сьогодні є одним з найбільш затребуваних і вживаних ядерно-медичних досліджень завдяки своїй високій чутливості для виявлення патології кісток. У клінічній практиці скінтиграфія та ОФЕКТ/КТ скелета є одними з унікальних та перспективних напрямів, в тому числі і завдяки розробці нових РФП, покращення контролю за якістю діагностики, лікування та якості життя онкологічних хворих. Останнім часом методика остеосцинтиграфії набула інтенсивного розвитку і вдосконалення, що покращило її діагностичні можливості, але її належність до третього рівня променевої діагностики, привело до того, що обізнаність лікарів різних фахових напрямків недостатня для успішного використання всіх її можливостей. Така інформація необхідна сучасному лікарю у зв'язку з тим, що ядерна медицина набуває все більшого розповсюдження і входить до багатьох розділів медичної науки. Цей огляд забезпечує оновлення показань застосування остеосцинтиграфії при різноманітних ураженнях опорно-рухового апарату і демонструє вагомість радіонуклідного сканування в моніторингу лікування. На нашу думку ця стаття буде представляти клінічну цікавість для терапевтів, ревматологів, рентгенологів, ортопедів-травматологів, онкологів, реабілітологів та інших спеціалістів, які займаються патологією опорно-рухового апарату.

Ключові слова: новоутворення; запальні захворювання кісток; метастази; остеобласти; остецити; радіоізотопна діагностика; радіофармацевтика; скелет; хребет; ядерна медицина.

Вступ

В світовій практиці все більшу вагу набирають методи ядерної діагностики. Європейська асоціація ядерної медицини (EANM) написала та схвалила рекомендації,

щоб сприяти більш широкому застосуванню остеосцинтиграфії [1]. Вона включена до багатьох протоколів обстеження і моніторингу онкологічних хворих. Але її застосування не обмежується лише онкологічною практикою.

Остесцинтиграфія сьогодні є одним з найчастіше застосовуваних досліджень ядерної медицини завдяки високій чутливості методу для виявлення патології скелету. В даний час сцинтиграфія набула широкого поширення у США, Європі та ряді інших країн. Так у США в 2007 році проведено понад 17 мільйонів радіонуклідних досліджень у більш ніж 15 мільйонів осіб. У Європі в тому ж році – понад 12 мільйонів досліджень. У клінічній практиці сцинтиграфія, ОФЕКТ/КТ і ПЕТ/КТ скелета визнана перспективним напрямком досліджень опорно-рухової системи не тільки для виявлення первинного і вторинного уражень скелету, а і має широкі можливості для визначення запальних, дегенеративно-дистрофічних і специфічних захворювань, їх диференційної діагностики, а також контролю за лікуванням та якістю життя хворих.

Останнім часом методика остеосцинтиграфії набула інтенсивного розвитку і вдосконалення, що покращило її діагностичні можливості, але її належність до третього рівня променевої діагностики, привело до того, що обізнаність лікарів різних фахових напрямків недостатня для успішного використання всіх її можливостей. Така інформація необхідна сучасному лікарю у зв'язку з тим, що клінічна картина багатьох захворювань набуває нетипової клінічної картини і остеосцинтиграфія може надати додаткові ознаки захворювань і допомогти у диференціальній діагностиці.

Сучасний розвиток медицини вимагає від фахівців застосування тих методів діагностики, які можуть швидко надати максимальну кількість інформації, при мінімальній шкоді для пацієнта і відповідають сучасним вимогам для патогномонічного лікування. Для досягнення цього необхідно своєчасно інформувати медичну спільноту про сучасні можливості високоспеціалізованих методів досліджень, зокрема ядерної медицини.

Мета

Показати важливість більш активного використання радіонуклідного дослідження кісток не тільки в онкологічній практиці, а загалом в ортопедії і травматології.

Огляд і обговорення

Історична довідка

Золотим стандартом для дослідження опорно-рухової системи протягом десятиріч лишається рентгенологічний метод [2], він ставав все більш досконалим, були розроблені методики, підвищувався ступень точності, але все ж залишився суто анатомо-топографічним методом [3]. В умовах активного постійного розвитку медичної науки, можливостей рентгенологічного методу стало замало, тому все ширше почали застосовуватися методи ядерної медицини, а саме радіонуклідної діагностики, точніше остеосцинтиграфії [4].

Вперше ізотопи для діагностичної радіонуклідної індикації були застосовані в клінічній практиці у 1927 р. Найбільш активний розвиток ядерної медицини відбувся після розробки Хеллом Енджером (І.О. Anger) прототипу гама-камери. Після отримання штучних радіонуклідів хімік Джордж де Хевеш (George de Hevesy) розвинув ідею, що радіоактивний ізотоп, хімічно невіддільний від стабільного ізотопу, можна використовувати як індикатор останнього. Разом з Ф. Панетом (F. Paneth) він використовував цей метод для вивчення розчинності солей свинцю. Де Хевеш також зрозумів, що цей метод можна використовувати для вивчення біологічних процесів. Але природні радіонукліди, доступні на той час, були настільки отруйними, що такі дослідження були неможливі.

У 1935 році Де Хевеш звернувся до Нільса Бора в Інститут Копенгагену для пошуку радіонуклідів які можна було безпечно застосувати в біологічних спостереженнях. Для досліджень був обраний ^{32}P , що розпочало серію експериментів, де різні фосфорні сполуки давали тваринам для вивчення розподілу і метаболізму речовин. Результати цієї роботи вперше були опубліковані в журналі «Nature» у вересні 1935 року разом з датським лікарем О. К'євіцем (O. Chievitz). Ця публікація розкривала нову інформацію про кістковий метаболізм: «Результати наших досліджень підтримують погляд, що формування кістки є динамічним процесом, воно постійно вимагає атомів фосфору, які частково або повністю втрачаються та замінюються знову іншими

атомами фосфору», – написали автори. Де Хевеші вважають провідником радіоактивного індикаторного методу і, отже, засновником ядерної медицини. Цей факт визнала Європейська асоціація ядерної медицини, яка заснувала медаль на його пам'ять. В 1930 р. інший науковець, Е. Лоуренс (E. Lawrence), в університеті Каліфорнії в Берклі (University of California in Berkeley) розробив перший циклотрон і наприкінці 1933 року побудував апарат, здатний працювати з пучком дейтронів, енергією 3 MeV. Нейтрони були отримані в результаті бомбардування легких елементів, і відтоді стало можливим виробляти радіонукліди майже всіх елементів у достатній кількості, що дозволило розпочати медико-біологічні дослідження. Сьогодні найбільш широко застосовується в діагностиці радіонуклід технецію (Tc). Він був запропонований як найбільш зручний і безпечний П.В. Харпером і його колегами в Аргоннській національній лабораторії США (Argonne National Laboratory) в 1962 році. Технецій 99 m є дочірнім радіонуклідом молібдену (Mo), який можна виробляти поділом або нейтронною активацією стабільного Мо. Але технецій мав відносно короткий період напіврозпаду у 6 годин, а його потрібно було доставляти до лікарень кожен день, що вимагало високоефективної транспортної системи для уникнення затримок. Це призвело до розробки молібденової генераторної системи і користувачі змогли отримати технецій на місці, щодня, шляхом простої процедури елюації. Генератор разом з нескладними методами для власного виробництва радіофармацевтичних препаратів зробив ядерну медицину більш доступною, навіть для малих лікарень [5].

Сцинтиляційний детектор іонізуючого випромінювання із спеціального кристалу високої щільності і прозорості, був добре відомий з початку цього сторіччя. Пізніше був розроблений фотопомножувач і цим приладом вдалося ефективно виявляти сцинтиляційні спалахи і переводити їх в електричні сигнали. Лічильник для медичного використання був сконструйований В. Cassen та його колегами. В ньому використовувався

кристал вольфрамату кальцію, який був спеціально розроблений для локалізації накопичення радіоактивного йоду в щитовидній залозі. В подальшому система була вдосконалена великими кристалами йодиду натрію і фотопомножувачами.

У наступні роки були розроблені системи зовнішнього підрахунку з сцинтиляційними детекторами для визначення часового розподілу в динамічних дослідженнях серцевого викиду і функції нирок. Найбільший прорив для стаціонарних апаратів відбувся в 1957 році, коли Хелл Енджер (I.O. Anger) розробив прототип гамма-камери («камери Енджера»), якій складався з двох пов'язаних частин – сприймаючої і перетворюючої [6]. Це був принципово і технічно новий апарат, призначений для реєстрації просторового розподілу радіофармацевтичного препарату (РФП) у біологічному об'єкті. Замінивши плівку на прототип фотопомножувачів, який зважував сигнали з детекторів, в наслідок чого стало можливим локалізувати джерело сцинтиляційного спалаху зареєстрованого гамма-камерою. Далі система була вдосконалена комп'ютерною системою обробки зображень [5].

Визначення пухлин *in vivo* завжди було пріоритетним, але найбільшого успіху було досягнуто для визначення кісткових метастазів. Після перших досліджень з використанням фосфору (^{32}P) і кальцію (^{45}Ca), прорив стався після застосування гамма-випромінюючого радіонукліда стронцію (Sr). Gynning та колеги використовували його радіонуклід для виявлення метастазів у хребті. Цедерквіст проводив дослідження його накопичення у пацієнтів з і без широкого поширення злоякісних захворювань скелета за допомогою лічильника всього тіла. У середині 1960-х років було зроблено кілька доповідей про можливість виявлення метастазів в кістках при сцинтиграфії на кілька місяців раніше, ніж при звичайних рентгенологічних методах [5].

Сьогодні сканування кісток, або остеосцинтиграфія, є найпоширенішою процедурою в ядерній медицині. Найпоширеніші радіофармацевтичні препарати (РФП), які використовуються в цій процедурі, це фос-

фати, біфосфонати або подібні агенти, мічені Тс, як запропонували Субраманіан і Макафі в 1971 році [5].

Сучасна діагностична медицина все активніше розвиває специфічні методи діагностики для виявлення патологічних змін в кістковій тканині. Але навіть зараз немає досконалішого методу саме для раннього виявлення запальних процесів і метастазів в скелеті, ніж сцинтиграфія кісток.

Апаратура

За медико-функціональним призначенням розрізняють планарні гама-камери, однофотонні емісійні комп'ютерні томографи, двофотонні або позитронні емісійні томографи.

Гама-камера, це апаратура медичного призначення для реєстрації просторового розподілу радіофармацевтичного препарату біологічному об'єкті. В склад гама-камери входить детектор гама-променів, електронно-обчислювальна система для обробки та збереження результатів обстеження і набор коліматорів. Позиційно-чутливий детектор містить сцинтиляційний кристал, світлодіод і безпосередньо матрицю фотоелектронних помножувачів. Зазвичай в складі сцинтиляційного кристалу використовують активований талієм йодид натрію (NaI), що забезпечує високу конверсійну ефективність (відношення енергії гамма-кванта до енергії світлового спалаху). Коли гама-квант потрапляє на поверхню кристалу відбувається його розсіювання і звільнена енергія передається на світлові фотони, що виглядає як спалах (сцинтиляція), який реєструється матрицею фотоелектронних помножувачів (ФЕП). Далі відбувається дискримінація імпульсів для відокремлення потрібної інформації серед загального спектру випромінювань, утвореного гамма-квантами розпаду ізотопу, квантами комптонівського розсіювання та фонового випромінювання. Імпульси, енергетичний сигнал яких відповідає ізотопу, що використовується, фіксуються у координатній матриці, відтворюючи просторовий розподіл РФП. У сучасних клініках більшість приладів для радіонуклідної діагностики становлять гамма-камери різних типів. Сучасні гамма-камери є комплексом, що складається з 1-2 систем

детекторів великого діаметру, рухомого ложа для позиціонування пацієнта та комп'ютерної системи для накопичення та обробки зображень [6].

Однофотонний емісійний комп'ютерний томограф (ОФЕКТ), це апарат призначений для радіонуклідної візуалізації, принцип роботи якого полягає в отримванні серії двовимірних сцинтиграфічних зображень при обертанні одного, або декількох детекторів навколо тіла пацієнта. Для роботи використовують радіонуклід здатний випромінювати один гама-квант на один розпад. Сам принцип тотожний звичайній планарній сцинтиграфії, але інформацію отримують в тривимірному режимі, у вигляді поперечних пошарових перерізів пацієнта. За допомогою ОФЕКТ також можливо оцінювати динамічні і статичні патологічні зміни в певній ділянці тіла (виявляються навіть незначні порушення) на ранніх стадіях захворювання [7].

Позитронний емісійний комп'ютерний томограф (ПЕТ), або двофотонний емісійний томограф реєструє інформацію від процесу анігіляції електрона і позитрона, тобто частинки та античастинки. Слід зауважити, що для функціонування ПЕТ-центру необхідний циклотрон (для отримання позитронвипромінюючих радіонуклідів), біосинтезатор (для мітки різноманітних сполук радіонуклідами) і позитронний емісійний томограф для проведення досліджень пацієнтів. До складу медичного забезпечення входить циклотрон, який виробляє ультракороткоіснуючі ізотопи і є окремою фізико-хімічною лабораторією. Безпосередньо сам томограф складається з таких основних частин: позитронно-чутливий детектор гама-квантів, спеціальне ложе, система з синхронізованим керуванням комп'ютерною програмою і електронно-обчислювальний блок для отримання, обробки та візуалізації радіологічної інформації. Придатними для ПЕТ є такі радіонукліди, як фтор-18, кисень-15, вуглець-11, азот-13, рубідій-82, галій-68 та ін. Найчастіше використовують радіофармпрепарат (РФП) 18F-фтордезоксиглюкозу (18F-ФДГ) [8].

Головною перевагою радіонуклідних досліджень виявилась саме їх здатність відо-

бражати одночасно фізіологічні та патофізіологічні зміни, що відбуваються в організмі [6]. Але були і певні недоліки. Нажаль, на відміну від рентгенівської комп'ютерної томографії (РКТ) або магнітно-резонансної томографії (МРТ), сцинтиграфічний метод не має високої просторової роздільної здатності, тому, що головна мета таких методів саме відображати накопичення РФП в певній досліджуваній системі, або реєструвати динаміку фізіологічних/біохімічних процесів, що протікають в органі.

Нажаль, позитронно-емісійна томографія, при всіх своїх функціональних перевагах, має нечітку анатомо-топографічну локалізацію. Тому, для більшої точності були сконструйовані і широко розповсюдились так звані «гібридні» установки [9]. Поєднання двох різних за принципом отримання інформації, методів ПЕТ і низькодозової КТ, або ПЕТ і МРТ дають перевагу в точності анатомічної локалізації. Тим самим вдалось споріднити «функціональність» методів ядерної медицини з високим просторовим дозволом останніх [10].

Радіофармацевтичні препарати

Радіофармапрепарат складається з двох основних компонентів – ізотоп, або «трейсер» і фармацевтична частина з певною кінетикою. На сьогодні відомо близько 80 радіонуклідів, які застосовувалися або використовуються для одержання РФП для ядерної медицини, однак практичне значення для радіоізотопної діагностики з них зберегли на сьогодні ^{99m}Tc -технецій, ^{123}I -йод, ^{111}In -індій, які за своїми фізичними, хімічними та біологічними властивостями визнані оптимальними для проведення однофотонних сцинтиграфій. Офіційно радіофармацевтичний препарат визначається як хімічна сполука, що дозволена і призначена для введення в організм людини з діагностичною або лікувальною метою і містить у своїй молекулі певний радіоактивний нуклід. Застосування РФП можливе лише за дотримання низки вимог, які забезпечують безпеку пацієнта, ефективність реєстрації випромінювання спеціальної апаратурою та діагностично-значимої інформації. Оптимальним для ядерної медицини, з погляду

на радіаційну безпеку, є використання короткоживучих гамма-випромінюючих ізотопів. З них найзручнішими визнані генераторні нукліди, які мають короткий період життя (короткоживучі) і утворюються з ізотопів із тривалим періодом напіврозпаду, поміщених у спеціальний генератор. Їхня конструкція дає можливість транспортування на великі відстані з подальшим отриманням дочірнього нукліду безпосередньо в лабораторії діагностичного відділення.

Вперше сцинтиграфічне дослідження кісток було проведено в 1961 р. з стронцієм ^{85}Sr , який, будучи аналогом Ca^{2+} , здатний накопичуватися в кістковій тканині шляхом іонного обміну. У 60-70 роках ХХ сторіччя для сцинтиграфії кісток використовували ^{47}Ca і ^{87m}Sr , проте широке їх застосування обмежувалося низькою якістю сцинти-зображень і значним променевим навантаженням на пацієнтів. Ситуація змінилася на краще в 1971 році, коли Subramanian і McAfee запропонували використовувати для остеосцинтиграфії фосфатні комплекси мічені ^{99m}Tc . У кістковій тканині сполуки ^{99m}Tc зв'язуються з кристалами гідроксіапатиту та незрілим колагеном. Завдяки інтенсивному накопиченню цих РФП у кістках і швидкому виведенню індикатора нирками отримується оптимальне співвідношення радіоактивності «кістки/фон» [8].

В Україні найбільшого визнання дістав ^{99m}Tc -технецій (^{99m}Tc), що має достатній моноенергетичний спектр гамма-випромінювання (140 кеВ), зручний для клінічного використання, елююється з транспортного молибденового генератора, легко утворює комплекси з тропними до певних тканин хімічними сполуками, має короткий період напіврозпаду, що дозволяє мінімізувати променеве навантаження на пацієнта. Зазвичай застосовують комплекси ^{99m}Tc , які мають ту чи іншу органотропність. Приготування РФП за допомогою спеціальних реагентів, розфасованих у флакони, найчастіше обмежується простим змішуванням реагенту та збагаченого технецієм розчину.

РФП з фосфатами, які додані до технецію, накопичуючись в остеобластних ділянках

руйнації, дозволяють візуалізувати кісткові метастази та первинні пухлини кісток на ранній стадії їх розвитку як «гіперфіксацію» препарату. ^{99m}Tc -фосфати (<https://www.polatom.pl/wp-content/uploads/2021/07/2018.04.12.-PoltechMDP-SPCh-1.pdf>) після внутрішньовенного введення, швидко виводяться з крові і накопичуються, головним чином, в кістковій системі завдяки реакції іонного обміну, що призводить до його адсорбції кістковим матриксом [11]. Таким чином, ділянки ураження кісток (первинні пухлини, метастази, тріщини, переломи і вогнища запалення) мають більш високу спорідненість до фосфатних з'єднань і краще візуалізуються. При використанні мічених ^{99m}Tc остеотропних РФП візуалізуються також нирки та сечовий міхур, оскільки до 40% цих сполук виводяться з організму нирками. Значно менша його кількість зв'язується з білками плазми крові, що забезпечує низький рівень радіоактивності всього тіла [12]. Після внутрішньовенного введення ^{99m}Tc -MDP елімінується з кровотоку за 3 етапи: фаза швидкого виведення, $T_{1/2} = 3,5$ хв; фаза помірного виведення, $T_{1/2} = 27$ хв; фаза повільного виведення, $T_{1/2} = 144$ хв. Під час фази швидкого виведення ^{99m}Tc -MDP виводиться з кровотоку в позасудинний простір. Фаза помірного виведення еквівалентна процесу поглинання препарату в кістках. Під час фази повільного виведення відбувається дисоціація ^{99m}Tc -MDP, пов'язаного з білками плазми. Через 1-2 годин після введення, поглинання препарату в кістках, досягає максимального рівня і залишається постійним протягом наступних 60 год. [13].

Рівень накопичення остеотропних РФП залежить від метаболічної активності кістки і підвищене накопичення відзначається в ділянках із високою остеобластичною активністю, а це може бути травми, пухлини, запалення тощо. Певне значення має ступень кровотоку в кістковій тканині, оскільки саме від нього залежить надходження РФП, тому в ділянках зниженого кровопостачання може спостерігатись дефект накопичення індикатора, а в зонах гіперваскуляції відбувається гіперфіксація фосфатних комплексів. Все це

може стати причиною отримання хибнопозитивних або хибнонегативних результатів [7].

Для достовірності отриманих результатів необхідно дотримуватись технологічних умов приготування РФП з технецій-фосфатною сполукою. В процесі важливо не допустити попадання повітря у флакон, оскільки в результаті окислення киснем технецію порушується комплексотворення. Недотримання правил приготування РФП може привести до руйнування фосфатних комплексів ^{99m}Tc внаслідок подовження періоду між приготуванням індикатора та ін'єкцією, що супроводжується виділенням вільного пертехнетату, який, у свою чергу, накопичується у щитовидній залозі та шлунково-кишковому тракті [14].

Також, готовий до застосування РФП слід використовувати протягом 4-5 годин після приготування, тому, що крім розпаду технеція, відбувається і руйнування фосфатних сполук, що робить дослідження з ним неможливим [14].

Умови та методика проведення

Для проведення остеосцинтиграфії немає потреби в особливій підготовці пацієнта або проведенні додаткових лабораторних аналізів, виняток складають лише ПЕТ дослідження з ^{18}F -ФДГ. При звичайному радіонуклідному дослідженні кісткової системи застосовують два режими отримання інформації: планарний та при необхідності – прицільний. Найбільшу діагностичну інформацію при радіонуклідних дослідженнях кісток можна отримати при виконанні трьохфазної синтиграфії. Перша фаза – стадія оцінки кровотоку. Дослідження починають одразу за внутрішньовенним введенням РФП, певної активності. Детектор гамма-камери розташовують навпроти ділянки дослідження і проводять динамічний запис протягом 60 секунд. Під час другої фази проводять оцінку кровопостачання. За 2-3 години, необхідних для повноцінного накопичення РФП, проводять третю фазу дослідження, безпосередньо статичну остеосцинтиграфію. Сучасні гамма-камери зазвичай оснащені режимом сканування всього тіла «Whole body scanning», за допомогою якого отримують цілісний скан

скелета, після чого виконують серію прицільних досліджень певних ділянок скелету в передній і задній проекціях. Слід зазначити, що трифазна сцинтиграфія кісток проводиться переважно для діагностики запальних процесів в кістках, або при судинних пухлинах. При підозрі на злоякісні новоутворення чи метастатичний процес в кістках, можна обмежитися лише статичними дослідженнями [15].

При ПЕТ з 18F-ФДГ існують особливі умови підготовки. Не слід вживати певну їжу та напої, не слід хвилюватися а також займатися фізичними вправами за кілька годин до дослідження, оскільки це може вплинути на рівень споживання та накопичення глюкози. Також безпосередньо перед дослідженням вимірюється рівень глюкози в крові [16].

Інтерпретація отриманих результатів

При дослідженні пацієнтів без кісткового ураження візуалізуються практично всі кістки в межах можливостей апаратури. Є різниця в рівні накопичення препарату в кістках скелета у дітей, підлітків та дорослих: вміст препарату у зонах росту вищий у дітей і осіб молодого віку. Накопичення препарату в зчленуваннях і суглобах у зворотному порядку розподіляється наступним чином: крижово-клубові сполучення, колінні, кульшові, плечові, гомілковостопні та променево-зап'ясткові суглоби. В нормі вміст препарату в симетричних зонах парних кісток відрізняється лише на 15-20%. Дещо більш активне, але симетричне накопичення РФП відзначається в акроміально-ключичних, грудино-ключичних, здухвинно-крижових і кістково-хрящових зчленуваннях, а також у проекціях лопаток. При візуальному аналізі сцинтиграм оцінюють накопичення препарату в симетричних зонах парних кісток і в аналогічних хребцях, на основі чого визначають факт наявності вогнищевої патології, локалізацію процесу, кількість і розміри вогнищ ураження. Хоча деякі автори рекомендують визначати лише сам факт гіперфіксації, все ж таки при комп'ютерній обробці сцинтиграфічних даних необхідно порівнювати у відсотках накопичення препарату в симетричних зонах парних кісток або в хребцях [17].

Відсоток накопичення РФП залежить від активності регенерації кісткової тканини. При сцинтиграфії скелета слід мати на увазі, що, як випадкова знахідка, може відбуватися дифузне посилення накопичення РФП в ділянці грудної клітки на ранніх термінах після перенесеної мастектомії. На віддалених етапах після хірургічного лікування раку молочної залози може спостерігатися помірна гіпофіксація з контралатерального боку грудної клітки, внаслідок екранування цієї області збереженою молочною залозою. Підвищення накопичення остеотропного РФП на 40% і більше, розмірами 1,5-2 см і більше, порівняно з симетричною ділянкою парної кістки, має розцінюватись як патологічні зміни. Підвищення накопичення РФП у хребці на 30% і більше, порівняно з розташованим поруч, також розцінюється як наявність патологічного процесу.

Якщо різниця в накопиченні препарату менша від зазначеної, наявність патології сумнівна [15]. Хибнопозитивні результати сцинтиграфії кісток можуть бути при недотриманні технології дослідження, наприклад, нерівне укладання пацієнта, коли накопичення РФП клубовими або іншими кістками виглядає несиметричним і може бути розцінене як патологічне, або затримка сечі в ниркових мисках, коли їх зображення накладається на проекцію нижніх ребер і виглядає як їх ураження, може статися забруднення одягу пацієнта радіоактивною сечею. «Екрануючий» ефект від масивних металевих аксесуарів одягу може бути розцінений як вогнище гіпофіксації, імітація асиметричності розподілу РФП у грудній клітці можуть спровокувати протези молочної залози. Окремий розділ, це кістки черепа, коли запальні захворювання зубів можуть виглядати як осередки підвищеного накопичення РФП у нижній та верхній щелепах і активні синусити можуть ідентифікуватись як підвищене включення препарату в лобовій або верхньощелепній кістці. При оцінці сцинтиграм дітей слід пам'ятати про посилене включення РФП до зони росту кісток, що виглядає як ділянки гіперфіксації, але вони будуть анатомічно симетричні і з однаковим відсотком включення [18].

Остеосцинтиграфія при метастатичних ураженнях

Маючи високий ступень чутливості остеосцинтиграфія включена до багатьох онкологічних протоколів обстеження і найчастіше використовується для виявлення метастазів злоякісних пухлин у кістки. Метастази в кістки є одними із найпоширеніших локалізацій вторинного розповсюдження широкого спектра солідних пухлин, включаючи легені, грудну залозу, передміхурову залозу, щитовидну залозу, меланому, гінекологічний та колоректальний рак, пухлини шлунково-кишкового тракту, пухлини голови та шиї [19]. При цьому частота метастатичного ураження кісткової системи при раку грудної залози (РГЗ) на різних етапах захворювання коливається в межах 47–85%, передміхурової залози (РПЗ) – 33–85%, легені – 30–60% [20], нирки – 33–40% [21], щитовидної залози (РЩЗ) – 28–60% [22]. Однак у близько 30% пацієнтів виявляють вогнищеві зміни в кістках невідомого походження, коли на момент встановлення діагнозу характер і локалізацію первинного новоутворення неможливо ідентифікувати, незважаючи на обстеження, відповідні лабораторні дослідження та сучасні технології візуалізації. Необхідно також врахувати, що метастази пухлин в кісткову тканину бувають двох основних типів за клітинною диференціацією – остеолітичні (більшість), остеобластичні і змішані. Так метастази раку молочної залози в скелет у 82,7% остеолітичні, в 11,4% – остеобластичні та змішані у 5,9%. Більшість метастазів раку легені носить остеолітичний характер – 81,9% і лише у 3,5% – остеобластичний, метастази раку передміхурової залози в основному остеобластичні. Кісткові метастази зазвичай супроводжуються підвищенням остеобластической активності і візуалізуються як зони підвищеного накопичення РФП. З іншого боку, у 3-5% пацієнтів при рентгенографії, КТ або МРТ метастази можуть виявлятися на тлі нормальної остеосцинтиграфічної картини [23]. За світовою статистикою приблизно 90% метастазів – множинні. Найчастіше вони зустрічаються у хребті (39%), ребрах та грудині (28%), дещо рідше – у кістках тазу (12%),

черепі та трубчастих кістках (по 10%). Також для вторинного ураження кісток характерна локалізація в проксимальних відділах кістки. Поодинокі вогнища гіперфіксації РФП в кістках, виявлені у пацієнтів із встановленим пухлинним діагнозом, підтверджуються як метастази більш ніж у 50% випадків. При локалізації такого вогнища у ребрах злоякісність ураження відзначається лише у 10-17% обстежених хворих. Основними причинами виявлення поодиноких вогнищ підвищеного накопичення в ребрах можуть бути переломи останніх (40%) або наслідки променевої терапії (27%). Відокремлений осередок включення РФП у кістки черепа може бути вторинним ураженням лише у 20% випадків.

При активному метастазуванні може визначатись зливне, але рівномірне [23] підвищення фіксації РФП в кістковій тканині. Цей феномен отримав назву «суперскан» і при цьому характерна відсутність м'якотканинної та ниркової активності, а кістки активно визначаються одразу після внутрішньовенного введення РФП. Така картина часто зустрічається при злоякісному ураженні передміхурової залози, коли вогнища гіперфіксації локалізуються в тазових кістках або хребцях. При лімфомі характерна локалізація в хребті або в грудині, і аналогічно при раку молочної залози і легень [24]. В наслідок зниження остеобластичної активності в 2% випадків виявлені метастатичні ураження визначаються як осередки гіпофіксації, що найчастіше зустрічається при раку нирок або меланомі. Особливістю є те, що в одного і того ж самого пацієнта може одночасно виявлятися як ділянки гіперфіксації, так і дефекти накопичення, що може свідчити про змішаний характер метастатичного ураження, а не переважно літичний або бластний. Також необхідно враховувати, що в залежності від активності процесу або лікування в динаміці захворювання інтенсивність накопичення РФП у метастазах може змінюватись [25], і за цим необхідно спостерігати.

Оцінка ефективності променевої та хіміотерапії метастазів у кістки та уражень скелета ґрунтується на порівняльному аналізі результатів первинного та подальших дослі-

джень з РФП міченими ^{99m}Tc . Відразу після променевого лікування накопичення препарату в зоні ураження може збільшитися, потім знижується і через 3-6 місяців нормалізується, надалі може спостерігатися знижене накопичення РФП в області патологічного вогнища порівняно з симетричною ділянкою здорової кістки або неопроміненими хребцями [10].

На жаль, цей високочутливий метод не має абсолютної специфічності при онкологічних ураженнях, оскільки посилена акумуляція остеотропних РФП в кістковій тканині може спостерігатися також при травмах, остеомієліті та деяких інших захворюваннях. Але, можна підвищити діагностичну точність остеосцинтиграфії при виконанні в режимі ОФЕКТ і ПЕТ, особливо при діагностуванні метастазів у хребет. Крім того, специфічність виявлення злоякісних новоутворень кісток збільшується при поєднанні сцинтиграфічних та рентгенологічних методик, особливо ОФЕКТ/КТ і ПЕТ/КТ [26].

Остеосцинтиграфія при травмах опорно-рухового апарату

Досить розповсюдженою причиною підвищеного накопичення РФП у кістках виступає травматичне ураження. Масивні ускладнені переломи можуть визначатися гіперфіксацією РФП протягом декількох років. Компресійні переломи на сцинтиграмах з високим розрішенням мають вигляд лінійного обідка підвищеного включення РФП [27]. Для диференційної діагностики з метастатичним ураженням враховується анамнез (наявність онкологічного захворювання або травма), форма вогнища і характер накопичення в ньому. При травматичному ураженні вогнище має округлу форму, певну лінійність, симетричність, співпадіння з локалізацією отриманої травми і оцінюється час її отримання [28]. Також для переломів ребер характерна лінійна локалізація зон ушкодження та рівні тонкі обідки посиленого накопичення РФП [28]. Застосування остеосцинтиграфії при травмах дозволяє визначити ускладнення при атиповому загоєнні переломів кісток, виявлення зони перебудови кісткової тканини і контролювати процес лікування.

Остеосцинтиграфія при дегенеративно-дистрофічних, запальних і системних ураженнях кісткової системи

Дегенеративно-дистрофічні процеси в кістках і суглобах також проявляються неспецифічним підвищенням накопичення фосфатних комплексів ^{99m}Tc . В таких випадках, для встановлення остаточного діагнозу, враховується анамнез, характерна локалізація ураження і співставлення з рентгенологічними і лабораторними методами дослідженням [29]. Остеосцинтиграфія активно застосовується у діагностиці дегенеративно-дистрофічних, запальних та системних уражень скелета. Більшість захворювань хребта та суглобів є системними та супроводжуються ураженням багатьох органів (ревматоїдний артрит, хвороба Бехтерева, міжхребцевий остеохондроз, деформуючий артроз, псоріатичний поліартрит, подагра та інші). Рентгенографія залишається одним з основних методів діагностики ревматоїдного артриту (РА) та анкілозуючого спондилоартриту (АС) – хвороби Бехтерева. Зазвичай рентгенологічними методами визначити ознаки РА та АС можна лише за 2-3 роки і більше від початку захворювання, при цьому виникає складність одночасного обстеження всіх суглобів, необхідність оцінити кількісно динаміку захворювання у процесі лікування, крім цього супроводжується великим променевим навантаженням на організм пацієнта.

За результатами спостережень Сиваченко Т.П. [30] при системних хворобах опорно-рухової системи було визначено, що остеосцинтиграфія у хворих на ревматоїдний артрит дозволяє виявити ураження не тільки одного досліджуваного суглоба, а й вогнища запалення в клінічно «інтактних» суглобах одночасно усього скелету за одне обстеження, навіть тих, які тільки включаються в запальний системний. Особливо цінна остеосцинтиграфія ще і тим, що завдяки своєму молекулярно-біохімічному процесу включення, дозволяє виявити активний процес протягом першого місяця захворювання, а у частини хворих навіть до появи перших клінічних ознак ураження суглобів, що не дозволяє

зробити навіть метод КТ та МРТ. Високий рівень накопичення РФП при РА відзначається в основному у великих суглобах: променево-зап'ясткових, колінних, рідше в гомілковостопних суглобах, і часто носить асиметричний характер. Зі збільшенням активності процесу та виразності захворювання, накопичення РФП в уражених суглобах зростає і може досягати 250% – 280% і більше. Необхідно звернути увагу на те, що в IV стадії РА накопичення РФП починає зменшуватися, що пов'язано з розвитком анкілозу у суглобах, при якому вже зникає капілярно-венозна мережа судин [31].

Використання радіонуклідного дослідження при хворобі Бехтерева дає достатню кількість інформації при ранній діагностиці та дозволяє провести диференціальну діагностику захворювань хребта та суглобів, уточнити ступінь активності місцевого запального процесу, виявити ділянки ураження хребта або суглобів при відсутності клінічних ознак запального процесу, об'єктивізувати оцінку клінічних даних. У хворих з розвинувшимися остеофітами при хворобі Бехтерева накопичення РФП у хребті вище, ніж у хворих з дегенеративним ураженням хребта.

Посилене поглинання препарату, скоріш за все, пов'язане з вираженим остеобластичним процесом, який має місце при анкілозуючому спондилоартриті, на відміну від спондилозу, коли переважає остеокластичний процес. При центральній формі хвороби визначаються зміни в області крижово-клубових зчленувань і в хребті, як у ранній, так і в пізній стадії патологічного процесу. Посилення накопичення препарату відбувається дифузно не тільки в ділянці суглобів, а й у глибших ділянках клубових кісток і крижів. Одночасно спостерігається підвищення концентрації РФП та в ділянці L – IV, L – V, S – 1, хоча й менше, ніж у крижово-клубових сполученнях. На сцинтиграмі грудного та поперекового відділів хребта на ранній стадії хвороби Бехтерева відзначається нечіткість контурів хребців, накопичення препарату дифузне, але більш виражене у центральній частині хребта. У 1/3 випадків виявляється гіперфіксація РФП в грудино-ключичних і грудино-ребер-

них зчленуваннях, а також у верхній частині груднини. У 1/3 випадків зміни на сцинтиграмі визначаються при відсутності об'єктивних і суб'єктивних ознак ураження груднини, грудино-ключичних або грудино-реберних зчленувань. При периферичній формі хвороби Бехтерева, крім змін, зазначених при центральній формі, на сцинтиграмі виявляються зміни в уражених тазостегнових, колінних суглобах. При такій формі хвороби сцинтиграфія стає особливо інформативною для виявлення клінічно інтактних суглобів та оцінки поширеності процесу в ранні терміни хвороби, оскільки рентгенограми суглобів у більшості випадків відображають зміни лише в пізній стадії процесу [32].

При проведенні остеосцинтиграфії хворих на подагру також є специфічні ознаки, характерні для цього захворювання. За результатами спостережень В.І. Мілька і Є.Г. Матвієнко [33] були виявлені характерні сцинтиграфічні ознаки порушення обміну сечової кислоти. Сцинтиграфічно при різних формах і на різних стадіях подагри, виявляється підвищене накопичення РФП в навколосуглобних ділянках. Глибоко розташовані тофуси на сцинтиграмі мають чітко окреслені контури, гіперфіксація РФП в них перевищує норму у 5-7 разів. При планарній сцинтиграфії виявляються досі клінічно інтактні суглоби, на які варто звернути увагу. Окремо необхідно фіксувати активну візуалізацію нирок на остеосцинтиграмах. Патогномонічне порушення обміну уратів при подагрі порушує функцію нирок, тому майже у третини таких хворих через 3 години на сцинтиграмах виявляється затримка фосфатних РФП в нирках. В досить великому відсотку випадків клінічних і лабораторних ознак порушень функції нирок до цього не констатували. Таким чином, сцинтиграфія дозволяє виявити характерні зміни в суглобах, а також порушення функції інших органів, що має велике значення для встановлення заключного діагнозу і успішного лікування [33].

У хворих, що страждають на псоріаз часто є приховані форми артритів або спондилоартрит. За спостереженнями Коваль Г.Ю., Мечев Д.С., Сиваченко Т.П. та ін. [31],

сцинтиграфія надає велику допомогу у діагностиці уражень суглобів у різні терміни захворювання. Висока концентрація препарату відзначалася в дистальних фалангах, гомілковостопних суглобах, крижово-клубових зчленуваннях і поперековому відділі хребта.

В ділянці грудино-ключичних, крижово-клубових суглобів накопичення радіофарм препарату відбувалося нерівномірно, а в хребті часто виявлялося підвищення концентрації радіоіндикатора тільки з одного боку. На відміну від рентгенографії при сцинтиграфії виявляються осередки запалення у суглобі, а й далеко від нього. На остеосцинтиграм кісток виявляється нечіткість контурів. Ураження крижово-клубових суглобів виявляється на великому протязі шириною 6-7 см. Крім ураження зазначених суглобів, виявляються осередки помірно підвищеного накопичення радіофармпрепарату в середині крижів і в ділянці поперекових хребців. Накопичення РФП спостерігається також у місцях прикріплення сухожилля. Поразка хребта на відміну хвороби Бехтерева на сцинтиграмі виявляється переважно у бічних частинах, контури хребців нечіткі, важко помітні [31].

У діагностиці артрозів на ранній стадії дуже важливо визначити характер запального процесу в суглобі (синовіт). У зв'язку з цим особливого значення набуває сцинтиграфічний метод дослідження, за допомогою якого в початковій стадії артрозу виявляють дрібновогнищевий або середньовогнищевий синовіт, що локалізується в області верхнього та нижнього заворотів, надколінка. У міру прогресування патологічного процесу все частіше виявляється дифузна або дифузно-осередкова гіперфіксація радіоіндикатора. Клінічно реактивний синовіт визначається у 1/2 хворих на гонартроз, у той час як радіологічний метод дозволяє виявити у всіх хворих у III стадії артрозу та у 1/3 хворих на I-II стадії [34].

Застосування ПЕТ з ^{18}F -FDG (або ФДГ) як індикатору, відрізняється томографічними зображеннями високої роздільної здатності. Спостерігається підвищене поглинання ^{18}F -FDG в ділянках запальних клітинних ін-

фільтратів (нейтрофіли або макрофаги в гострій і хронічній фазах відповідно), що вказує на збільшення використання глюкози цими клітинами при інфекційних та запальних процесах [35]. Використання ПЕТ ^{18}F -FDG у поєднанні з КТ для діагностики та подальшого спостереження за інфекційними і запальними процесами в кістках показує багатообіцяючі результати [16].

Остеосцинтиграфія при протезуванні суглобів

Дуже корисною остеосцинтиграфія, особливо трьохфазна, виявилася в ортопедії при протезуванні кульшових і колінних суглобів. В останні десятиріччя набуває значної актуальності питання заміни великих суглобів. Виникнення параендопротезних ускладнень після ендопротезування кульшових та колінних суглобів і надалі залишаються проблемою для фахівців. Для оцінки можливих ускладнень від тривалого хронічного запального процесу, який передував протезуванню, трьохфазна остеосцинтиграфія дає актуальну інформацію для прогнозування розвитку післяопераційних ускладнень [36]. Підвищення інтенсивності артеріального кровопостачання в ділянках кісток навколо майбутнього протезування вказує на активне запалення, вплив інфекційного агента або підвищену остеолітичну активність, що різко знижує шанси на успішний перебіг реабілітації таких пацієнтів [37].

Висновки

Маючи високий ступень чутливості остеосцинтиграфія включена до багатьох онкологічних протоколів обстеження, але вона має більш широкі можливості.

Радіонуклідні методи дослідження більш чутливі за рентгенографію у виявленні вогнищ метастатичного ураження скелета (чутливість методу 96%) [38], запальних та системних уражень скелета, субклінічних переломів, особливо множинних або внутрішньосуглобових. Рентгенологічні ж методи дозволяють виявити кісткові зміни при втраті більше 30% кальцію і наявності виражених структурних змін кісток і суглобів, що в ряді випадків свідчить про патологічний процес, що далеко зайшов [39].

До головних переваг остеосцинтиграфії відноситься майже відсутність протипоказань, на відміну від КТ з контрастуванням і МРТ-досліджень. Також необхідно звернути увагу на відносно невисоке променеве навантаження на пацієнта на відміну від КТ, що дозволяє застосовувати її для моніторингових спостережень[38].

Застосування остеосцинтиграфії в багатьох випадках може покращити якість життя хворих з онкологічними, дегенеративно-дистрофічними, запальними та системними ураженнями скелету, а також після ендопротезування [36].

Доцільно застосовувати остеосцинтиграфію для візуалізації, оцінки розповсюдження, визначення активності процесу і встановлення критеріїв операбельності первинних і первинно-множинних злоякісних пухлин кісток [39].

Для виявлення, оцінки і спостереження метастатичних процесів метод є незамінним, що підтверджено включенням остеосцинтиграфії в онкологічні протоколи обстеження хворих в Україні і всьому світі. Остеосцинтиграфію застосовують для виявлення новоутворених метастатичних вогнищ в кістках, спостереження за активністю процесу і для контролю лікування, що є головним в оцінці терапевтичної тактики [40].

Нажаль остеосцинтиграфія недооцінена в діагностиці дегенеративно-дистрофічних, запальних та системних уражень скелета, де отримана за її допомогою інформація дозволяє виявляти неактивні осередки ураження при системних захворюваннях, проводити моніторинг у короткі проміжки часу з метою вивчення динаміки процесів, визначати активність, перебіг і розповсюдження процесу запальних захворювань, виявляти зони перебудови кісткової тканини при дистрофічних та диспластичних процесах, застосовувати з метою оцінки ефективності лікування. Особливо цінна остеосцинтиграфія ще і тим, що завдяки своєму молекулярно-біохімічному процесу включення, дозволяє виявити запальний процес протягом першого місяця захворювання, а у частини хворих навіть до появи перших клінічних ознак ураження суг-

лобів, що не дозволяє зробити навіть метод КТ та МРТ.

При травматичних ушкодженнях застосування остеосцинтиграфії дозволяє визначити ускладнення при атиповому загоєнні переломів кісток, виявити зони перебудови кісткової тканини і контролювати процес лікування.

Остеосцинтиграфія є об'єктивним високочутливим методом діагностики при ендопротезуванні колінних суглобів. Передопераційна остеосцинтиграфія для визначення ступеня дегенеративно-запальних змін допомагає вірогідно знизити кількість ревізійних ендопротезувань та ризик післяопераційних ускладнень. Передопераційна остеосцинтиграфія потребує включення в програму протоколу обов'язкового діагностичного скринінгу при ендопротезуванні колінних суглобів.

Поєднання двох різних за принципом отримання інформації, методів ПЕТ і низькодозової КТ, або ПЕТ і МРТ дають перевагу в точності анатомічної локалізації.

Але, при багатьох перевагах, остеосцинтиграфія має і певні недоліки. На жаль, цей високочутливий метод не має такої абсолютної специфічності при онкологічних ураженнях, оскільки посилена акумуляція остеотропних РФП в кістковій тканині може спостерігатися також при травмах, остеомієліті та деяких інших захворюваннях. Такий недолік можна усунути при виконанні в режимі ОФЕКТ і особливо – ПЕТ. Крім того, специфічність виявлення злоякісних новоутворень кісток збільшується при поєднанні сцинтиграфічних та рентгенологічних методик.

Рекомендації

Остеосцинтиграфію застосовують:

- 1) для візуалізації первинних скелетогенних кістковомозкових злоякісних пухлинах, доброякісних пухлинах і пухлиноподібних уражень;
- 2) для виявлення вогнищ метастатичного ураження скелета на будь-якому етапі встановлення діагнозу, лікування та в спостережливому періоді;
- 3) для визначення критеріїв операбельності хворих із різними злоякісними новоутвореннями;

- 4) для пошуків додаткових вогнищ ураження при первинно-множинних пухлинах (саркома Юінга, ретикуло-саркома, хондроматоз, кістково-хрящовий екзостоз та ін.);
- 5) для пошуків осередків ураження при системних захворюваннях (лімфогранулематоз, лейкомії та ін.);
- 6) для багаторазових досліджень у короткі проміжки часу з метою вивчення динаміки процесів;
- 7) для визначення активності, перебігу та протяжності процесу запальних захворювань опорно-рухової системи;
- 8) для розпізнавання ускладнень загоєння переломів та подальшого прогнозування;
- 9) для виявлення зон перебудови кісткової тканини при дистрофічних та диспластичних процесах;
- 10) з метою оцінки ефективності лікування захворювань кісток;
- 11) для прогнозування і виявлення ускладнень при ендопротезуваннях великих суглобів.

Низькі променеві навантаження на скелет і організм в цілому при застосуванні мічених ^{99m}Tc фосфатів дозволяє проводити дослі-

дження багаторазово, в динаміці і для оцінки ефективності лікування.

Фінансування

Дане дослідження зовнішнього фінансування не отримувало.

Конфлікт інтересів

Дана публікація не викликає будь-якого конфлікту між авторами, не була і не буде предметом комерційної зацікавленості чи винагороди в будь-якій формі.

Згода на публікацію

Дотримано усіх правил та положень комітету етики наукових публікацій (COPE)

ORCID та внесок авторів:

[0000-0002-7345-5124](#) (A, B, D, F) Nechayev Mykyta

[0000-0003-4210-1566](#) (A, B, C, D, F) Tkachenko Mykhailo

[0000-0001-9527-4925](#) (A, B, C, E, F) Romanenko Hanna

[0000-0003-1444-6858](#) (A, B, C, D, F) Myronova Olena

[0000-0001-5435-9105](#) (B, C, D, E, F) Mazur Anastasiia

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article

ЛІТЕРАТУРА

1. Van den Wyngaert T, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, Van der Bruggen W, Mohan HK, et al.; The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. EANM Bone & Joint Committee and the Oncology Committee. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2016 Aug;43(9):1723-38. doi:10.1007/s00259-016-3415-4. Epub 2016 Jun 4. PMID: 27262701; PMCID: PMC4932135.
2. Брега ГС, Васильєва НФ, Пулюй Іван Павлович. Енциклопедія історії України : у 10 т. / редкол.: В. А. Смолій (голова) та ін. ; Інститут історії України НАН України. – К. : Наукова думка, 2012. – Т. 9 : Прил – С. – С. 60. – 944 с. : іл. – ISBN 978-966-00-1290-5.
3. Голка ГГ, Бур'янов ОА, Климовицький ВГ. Травматологія та ортопедія: підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів – Вінниця: Нова Книга, 2014. – 416 с.
4. Прадіп Р Пател. Radiology. John Wiley Sons Ltd / 2020 / ISBN 9781119550341- P 248.
5. Sten Carlson. A Glance At The History Of Nuclear Medicine, Acta Oncologica, 34:8, 1095-1102, DOI:10.3109/02841869509127236
6. Newman SP, Pitcairn GR, Hirst PH. A brief history of gamma scintigraphy. J Aerosol Med. 2001 Summer;14(2):139-45. doi:10.1089/08942680152484072. PMID: 11681646.
7. Hutton B. F. The origins of SPECT and SPECT/CT. Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. – 2014. – Vol. 41, Suppl. 1. – P. 3–16.
8. Gary J.R. PET and PET/CT imaging of skeletal metastases// Cook The Royal Marsden NHS Foundation Trust, Sutton, UK Cancer Imaging (2010) 10, 153-160 DOI:10.1102/1470-7330.2010.0022
9. Усенко О, Кости́лев М, Король П, Северин Ю, Щербіна О. Гібридні установки для мультимодальної візуалізації ПЕТ/ОФЕКТ/КТ в Україні та забезпечення контролю якості в ядерній медицині. Radiation Diagnostics, Radiation Therapy, (4), 16–22. <https://doi.org/10.37336/2707-0700-2020-4-2>

10. Мечев Д С, Щербіна О В. Радіонуклідні методи дослідження скелету: роль в клінічній практиці. Радіологічний вісник. 2011. Т. 38, № 1. С. 23-25.
11. Palestro C.J., Kim C.K., Swyer A.J., Vallabhajosula S., Goldsmith S. Radionuclide diagnosis of vertebral osteomyelitis: In-111-leukocyte and Tc-99mMDP bone scintigraphy. J. Nucl. Med. 1991. Vol. 32.; P. 1861-1865.
12. Ткаченко ММ, Романенко ГО, Макаренко АВ, Миронова ОВ. Оптимізація скінтиграфічних досліджень з нефротропними препаратами. Радіологічний вісник. 2019. № 1/2 (70–71); С. 127.
13. Ткаченко М, Романенко Г, Миронова О, Мазур А, Макаренко А, Горіянова Н. Переваги багатоцільової скінтиграфії в діагностиці раку нирки. УРОЖ [інтернет]. 30, Вересень 2023; 31(3):285-02. <https://ukroj.com/index.php/journal/article/view/204>
14. Сатир МВ, Солодянникова ОІ, Кундін ВЮ, Ярошенко ОЮ, Ніколов МО. Порівняння планарної остеосцинтиграфії та ОФЕКТ при доброякісних та злоякісних ураженнях опорно-рухового апарату у пацієнтів з онкологічними захворюваннями. УРЖ. 2015. Т. XXIII. Вип. 3 с. 114-116.
15. Солодянникова ОІ, Сукач ГГ, Северин ЮП, Войт НЮ. Позитронна емісійна томографія. Можливості клінічного використання. Променева діагностика, променева терапія. Наук-практ конф «Актуальні питання використання сучасного рентгенологічного обладнання». Наукові статті та тези доповідей. Київ, 2007. 59–65.
16. Casali M, Lauri C, Altini C, et al. State of the art of 18F-FDG PET/CT application in inflammation and infection: A guide for image acquisition and interpretation. Clin. Transl. Imaging 2021, 9, 299–339.
17. Bartel TB, Kuruva M, Gnanasegaran G, Beheshti M, Cohen EJ, Weissman AF et al. SNMMI Procedure Standard for Bone Scintigraphy 4.0. J Nucl Med Technol. 2018 Dec;46(4):398-404. PMID: 30518604.
18. Brenner AI, Koshy J, Morey J. et al. The bone scan. J. Semin. Nucl. Med. 2012. Vol. 42, N 1. ; P. 11–26.
19. Fornetti, J, Welm AL., Stewart SA. Understanding the bone in cancer metastasis. Journal of Bone and Mineral, 33(12), 2099–2113. doi:10.1002/jbmr.3618.
20. Zhang L, Gong Z. Clinical characteristics and prognostic factors in bone metastases from lung cancer. Medical Science Monitor, 23, 4087–4094. doi:10.12659/msm.902971.
21. Chen SC, Kuo PL. Bone metastasis from renal cell carcinoma. International Journal of Molecular Sciences, 17(6), 987. doi:10.3390/ijms17060987.
22. Zajączkowska R, Kocot-Kępska M, Leppert W, Wordliczek J. Bone pain in cancer patients: mechanisms and current treatment. International Journal of Molecular Sciences, 20(23), 6047. doi:10.3390/ijms20236047.
23. Мечев ДС, Бабій ЯС, Щербіна ОВ. ОФЕКТ та МРТ в діагностиці метастазів в скелет у хворих на рак молочної та передміхурової залоз. Збірка наукових робіт Асоціації радіологів України: Променева діагностика, променева терапія. 2002. Вип. 12; С. 59 – 65.
24. Кундін ВЮ, Сатир МВ, Солодянникова ОІ. Диференційна діагностика доброякісного та злоякісного ураження хребта за допомогою додаткових режимів остеосцинтиграфії. Клін. онкологія. 2011. № 3. С. 96–100.
25. Vassiliou V, Andreopoulos D, Frangos S, Tselis N. et al. Bone metastases: assessment of therapeutic response through radiological and nuclear medicine imaging modalities. Clin Oncol (R Coll Radiol). 2011. Vol. 23 (9). P. 632 – 645.
26. Ткаченко ММ, Романенко ГО, Миронова ОВ та ін. Значення радіонуклідних методів дослідження при встановленні діагнозу карциноми нирки. Радіологічний вісник. 2021. № 1/2 (78–79). С. 57–58.
27. Van der Wall H, Magee M, Reiter L. et al. Degenerative spondylolysis: a concise report of scintigraphic observations. Rheumatology, 45(2): 209–211.
28. Romer W, Nomayr A, Uder M. et al. SPECT-guided CT for evaluating foci of increased bone metabolism classified as indeterminate on SPECT in cancer patients. J. Nucl. Med., 47: 1102–1106.
29. Schlenkhoff C, Mantovani P, Randau T. The value of 99mTc bone scintigraphy in detecting a low grade infection of a total hip or knee arthroplasty. Eur. J. Nucl. Med. 2017. Vol. 44, Suppl. 2. P. 256.
30. Сиваченко ТП. Ядерная медицина, Киев, «Здоровья», 1991.
31. Коваль ГЮ, Мечев ДС, Сиваченко ТП та ін. Променева діагностика. Київ, Медицина України, т. І, 832 с.
32. Rosado-de-Castro PH, Lopes de Souza SA, Alexandre D. et al. Rheumatoid arthritis: nuclear medicine state-of-the-art imaging. World J. Orthop. 2014. Vol. 5, № 3. P. 312-318
33. Мілько ВІ, Матвієнко ВІ. Радіонуклідная диагностика, оценка эффективности лечения некоторых заболеваний. Киев, 1991.
34. Buchbender C, Ostendorf B, Mattes-Gyorgy K. et al. Synovitis and bone inflammation in early rheumatoid arthritis: high-resolution multi-pinhole SPECT versus MRI // Diagn. Interv. Radiol. – 2013. – Vol. 19, № 1. – P. 20-24.
35. Valero-Martínez C, Castillo-Morales V, Gómez-León N, Hernández-Pérez I, Vicente-Rabáneda EF, Uriarte M, Castaneda S. Application of Nuclear Medicine Techniques in Musculoskeletal Infection: Current Trends and Future Prospects. J. Clin. Med. 2024, 13, 1058. <https://doi.org/10.3390/jcm13041058>.
36. Король ПО. Роль параметрів остеосцинтиграфії в діагностиці імплант-асоційованих параендопротезних ускладнень при ендопротезуванні кульшових та колінних суглобів. Травма. 2017. Т. 18, № 1. С. 58-62. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Travma_2017_18_1_8.

37. Ткаченко ММ, Король ПО. Роль трифазової остеосцинтиграфії при ендопротезуванні кульшових і колінних суглобів учасників ліквідації наслідків аварії на чорнобильській атомній електростанції. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2017. Вип. 22. С. 476–483.

38. Портняга ЄМ, Скокова НВ, Ткаченко ММ, Романенко ГО. Радіонуклідна діагностика при метастазуванні раку передміхурової залози у кістки. УНММЖ. № 3 (96). С. 30–33. URI: <http://ir.library.nmu.com/handle/123456789/2719>

39. Bartel TB, Kuruva M, Gnanasegaran G, Beheshti M, Cohen EJ, Weissman AF, Yarbrough TL. SNMMI Procedure Standard for Bone Scintigraphy 4.0. J Nucl Med Technol. 2018 Dec;46(4):398-404. PMID: 30518604.

40. Ткаченко ММ, Романенко ГО, Миронова ОВ. Оцінка ефективності ранньої діагностики злоякісного первинного ураження кісток за допомогою скінтиграфічного дослідження. Радіологічний вісник. 2022. № 1/2 (80–81). С. 50.

Osteoscintigraphy in modern clinical practice (literature review)

Nechayev Mykyta¹, Tkachenko Mykhailo², Romanenko Hanna², Makarenko Anatoliy², Myronova Olena², Mazur Anastasiia²

¹ National Children's Specialized Hospital "Ohmatdyt", Department of Nuclear Medicine, Kyiv, Ukraine

² Bogomolets National Medical University, Department of Radiology and Radiation Medicine, Kyiv, Ukraine

Address for correspondence:

Romanenko Hanna

E-mail: ganusya96@gmail.com

+380503127031

Abstract: the article examines the basics of Radionuclide bone imaging of the skeleton, the history of the method's development, its capabilities, limiting factors, and prospects for further advancement. Today, bone scintigraphy holds a leading position in oncological practice and in other clinical practices for detecting and differentiating inflammatory processes in bones. It is currently one of the most in-demand and widely used nuclear medical procedures due to its high sensitivity for detecting bone pathologies. In clinical practice, scintigraphy and SPECT/CT of the skeleton are one of the unique and promising directions, due to the development of new radiopharmaceuticals, the improvement of functional outcomes, treatment monitoring, and the enhancement of quality of life for oncology patients. Recently, the methodology of bone scintigraphy has undergone significant development and refinement, enhancing its diagnostic capabilities. However, its classification as a third-tier radiological diagnostic method has resulted in insufficient awareness among physicians of various specialties, limiting the full usage of its potential. Such information is essential for modern physicians, as nuclear medicine continues to expand and integrate into numerous fields of medical science. This review provides updated indications for the usage of bone scintigraphy in various musculoskeletal disorders and highlights the significance of radionuclide scanning in treatment monitoring. In our view, this article will be of clinical interest to internists, rheumatologists, radiologists, orthopedic surgeons, oncologists, rehabilitation specialists, and other professionals involved in managing musculoskeletal pathologies.

Keywords: [Neoplasms](#); [Bone Diseases](#); [Metastases](#); [Osteoblasts](#); [Osteocytes](#); [Radio-isotope](#); [Radiopharmaceuticals](#); [Skeleton](#); [Spine](#); [Nuclear Medicine](#).



Copyright: © 2024 by the authors; licensee USMYJ, Kyiv, Ukraine.

This article is an open access article distributed under the terms

and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).