

Одеський національний медичний університет

Кафедра Фізіології та Біофізики

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ З ДИСЦИПЛІНИ
«Ядерна медицина: апаратні засоби клінічної практики»

Тема

Радіоізотопна сцинтиграфія. Остеосцинтиграфія

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри

"29" серпня 2023 р., протокол №1

Завідувач кафедри, проф.



Годлевський Л.С.

Одеса 2023

Остеосцинтиграфія

Вступ



Рисунок 1 Передні (ліворуч) та задні (праворуч) сканограми кісток, отримані у дорослого, демонструють нормальну анатомію.

тканин, що призводить до більшого співвідношення мішені до фону і покращеної візуалізації кістки. Деталізацію скелету можна додатково покращити, заохочуючи пацієнтів пити багато рідини після введення радіотрасера. Гамма-камера, обладнана низькоенергетичним високороздільним коліматором, забезпечить зображення з найвищою роздільною здатністю. За потреби отримують додаткові передні та задні зображення всього тіла.

Основні принципи

Нормальні результати остеосцинтиграфії

У здорових дорослих спостерігається симетричний розподіл активності по всьому скелету. Також нормально присутня активність сечового міхура, слабка ниркова активність і мінімальна активність м'яких тканин (рис. 1) (3). У дітей типowo присутнє інтенсивне симетричне накопичення в епіфізах довгих кісток, які є центрами нормального росту та кровотворення. Плоскі кістки

Остеосцинтиграфія є однією з найчастіше виконуваних радіонуклідних процедур. Радіонуклідна остеосцинтиграфія є швидкою, відносно недорогою, широко доступною, надзвичайно чутливою і неоцінимою в діагностичній оцінці численних патологічних станів. Процедура виконується з використанням технецію-99м, міченого дифосфонатами. Ці сполуки швидко накопичуються в кістці, і через 2-6 годин після ін'єкції близько 50% введеної дози знаходиться в скелетній системі. Механізми накопичення дифосфонатів до кінця не з'ясовані. Імовірно, вони адсорбуються на мінеральній фазі кістки, з відносно невеликим зв'язуванням з органічною фазою. Ступінь накопичення радіотрасера залежить, головним чином, від двох факторів: кровотоку і, можливо, більш важливого, швидкості утворення нової кістки (1-3).

Хоча протоколи варіюються між установами, візуалізацію зазвичай проводять через 2-6 годин після внутрішньовенного введення 740-925 МБк (20-25 мКі) технецію-99м, міченого дифосфонатами. Затримка між ін'єкцією та візуалізацією дозволяє очистити радіотрасер з м'яких

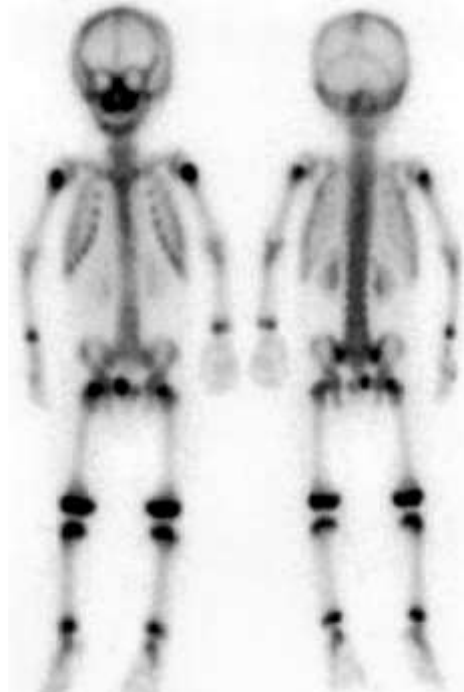
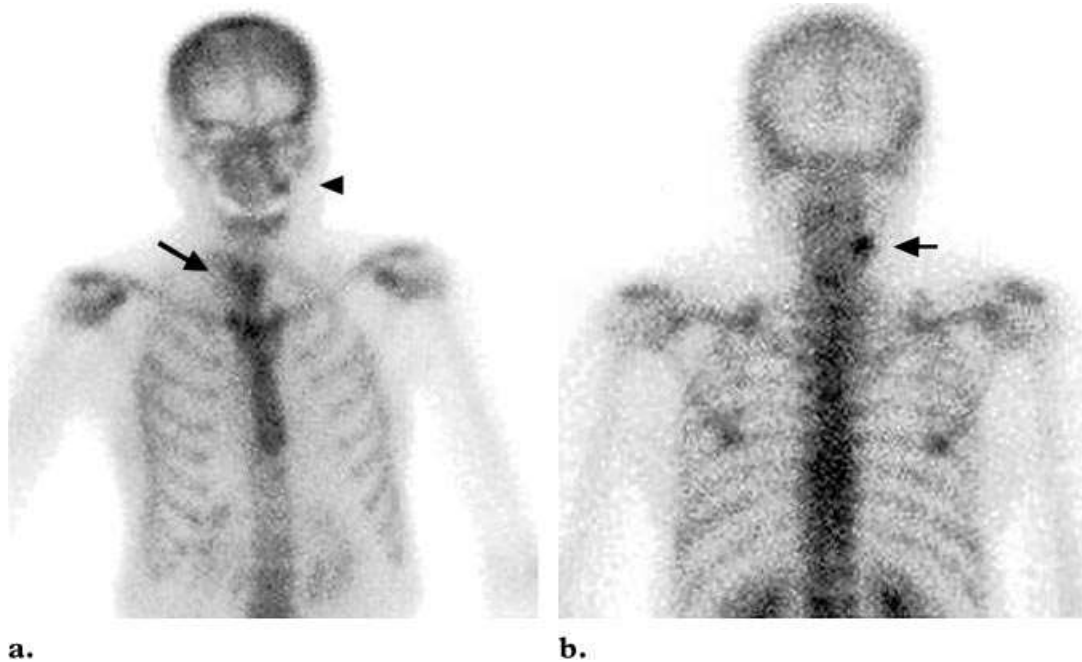


Рисунок 2 На зображенні представлені передні (ліворуч) і задні (праворуч) цілотілові сканограми кісток, отримані у дитини. Вони демонструють нормальну анатомію. Помітна підвищена активність у фізах довгих кісток та в кровотворних кістках обличчя.

обличчя, що містять кістковий мозок, також демонструють накопичення радіотрасера у дітей (рис. 2) (3).

Накопичення радіотрасера в кістці, як правило, зменшується з віком (3). Однак існують ділянки стійко підвищеного симетричного накопичення, такі як акроміальні та коракоїдні відростки лопаток, медіальні кінці ключиць, місце з'єднання тіла і груднини (кут Людовика), та крилові поверхні клубових кісток. Підвищене накопичення радіотрасера в щелепах може бути пов'язане із захворюваннями зубів або неправильним приляганням зубних протезів. Симетричні ділянки підвищеної активності в склепінні черепа спостерігаються при лобній гіперостозі. На шії активність може спостерігатися в зокальцинованому щитоподібному хрящі та в міжхребцевих суглобах шийних хребців при безсимптомних дегенеративних змінах (рис. 3) (3).



а. **б.**
Рисунок 3 (а) Передня кісткова сцинтиграма виявляє дискретну вогнищеву активність у лівій щелепі (вказано стрілкою) через зубний процес та серцеподібну активність у передній частині шії (вказано стрілкою), що представляє щитоподібний хрящ, обидва з яких є нормальними варіантами. (б) Задня кісткова сцинтиграма демонструє вогнищеву активність у правій частині шії (вказано стрілкою), спричинену шийним остеофітом.

Метастатичне захворювання

Багато, якщо не більшість остеосцинтиграм, виконуються у пацієнтів з діагнозом злоякісного новоутворення, особливо раку молочної залози, передміхурової залози та легень. Радіонуклідна остеосцинтиграфія відіграє інтегральну роль у стадіюванні пухлин та їх лікуванні. Ця модальність є надзвичайно чутливою для виявлення скелетних аномалій, і численні дослідження підтвердили, що вона значно чутливіша за звичайну рентгенографію для цієї мети (4–7). Близько 75% пацієнтів з злоякісним новоутворенням та болем мають аномальні сцинтиграфічні знахідки кісток. Що ще важливіше, у 25–45% безсимптомних пацієнтів зі злоякісними новоутвореннями є сцинтиграфічні ознаки кісткових метастазів. Типовий патерн складається з підвищеного відкладення радіотрасера в ділянках остеобластичного репаративного процесу у відповідь на пухлинний остеоліз (7–9). Наявність численних, випадково розподілених ділянок підвищеного накопичення різного розміру, форми та інтенсивності дуже характерна для кісткових метастазів (рис. 4). Хоча множинні вогнища підвищеної активності можуть зустрічатися і при інших патологічних станах, часто можливо відрізнити метастатичне захворювання від інших станів шляхом аналізу патерну розподілу аномалій. На відміну від метастатичного захворювання, травматичне ушкодження зазвичай проявляється дискретними фокальними аномаліями подібної

інтенсивності. Множинна травма ребер має характерний лінійний розподіл. У пацієнтів з остеопорозом кіфоз і Н-подібний перелом крижів вказують на правильний діагноз (рис. 5). У літніх пацієнтів остеоартрит та дегенеративні зміни можуть проявлятися як ділянки інтенсивної активності на радіонуклідних остеосцинтиграмах. Ці зміни можна відрізнити від метастатичного захворювання через їх характерну локалізацію (наприклад, коліна, кисті, зап'ястки). Залучення обох сторін суглоба є типовим для артриту, але незвичним для злоякісних станів (10).

Коли метастатичний процес є дифузним, практично весь радіотрасер концентрується в скелеті, з

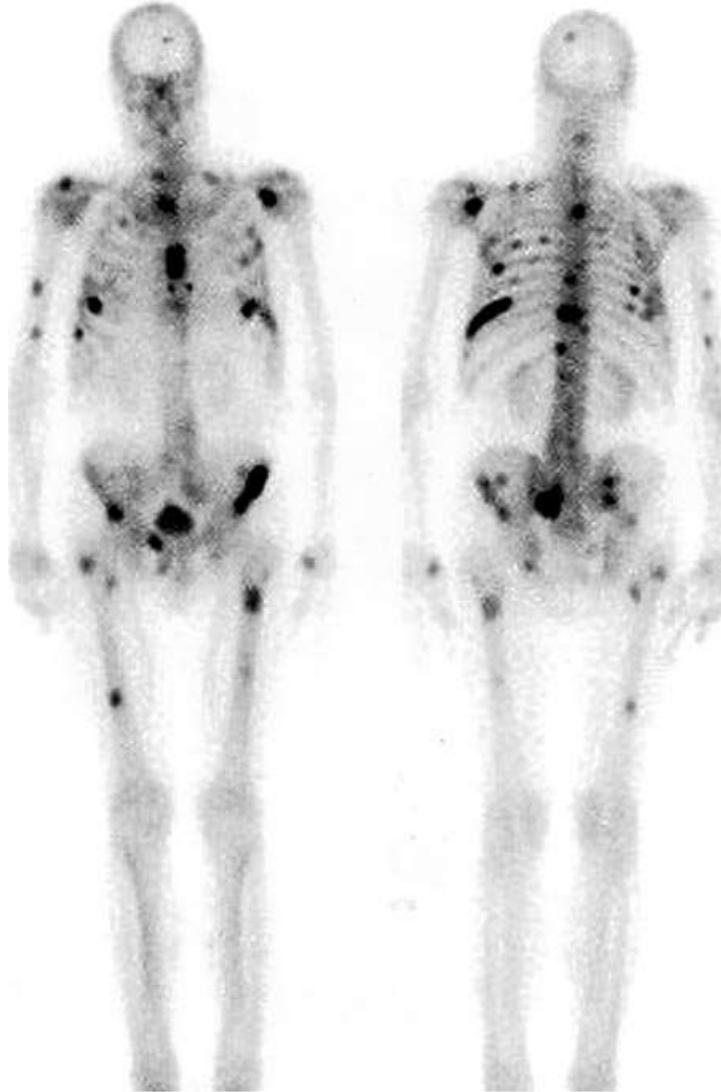


Рисунок 4 Поширені кісткові метастази від раку легень. Передня (ліва) та задня (права) сцинтиграми всього тіла демонструють множинні, випадково розподілені вогнища аномального поглинання радіофармпрепарату. Вогнища варіюються за розміром та інтенсивністю.

мінімальною або відсутньою активністю в м'яких тканинах чи сечовивідних шляхах. Така картина, яка характеризується чудовою деталізацією кісток, часто називається "суперскан" (рис. 6) (9-11). Суперскан також може спостерігатися при метаболічних захворюваннях кісток. На відміну від метастатичного захворювання, однак, накопичення при метаболічних хворобах більш рівномірне і поширюється на дистальні кінцівки. Інтенсивне накопичення в склепінні черепа, непропорційне до накопичення в решті скелету, є ще однією ознакою метаболічного суперскану (рис. 7) (12).

Іноді метастатичне захворювання проявляється як одиночна аномалія, зазвичай у хребті. Дегенеративні зміни також можуть проявлятися як ізольована аномалія. Одно фотонна емісійна комп'ютерна томографія (ОФЕКТ) корисна для диференціації між цими двома патологічними станами (13, 14).

ОФЕКТ "видаляє" небажану активність навколо ділянки інтересу, покращуючи контраст зображення та дозволяючи більш точну локалізацію вогнища. Ця техніка особливо корисна при оцінці анатомічно

складних структур, таких як хребет. За допомогою ОФЕКТ можна досліджувати поперечні, корональні, сагітальні та тривимірні зображення хребців, що полегшує як локалізацію, так і характеристику аномалії (15).

Аномалії, що поширюються за межі тіла хребця, неодмінно зумовлені остеофітами, тоді як аномалії, обмежені міжхребцевими суглобами, майже завжди є доброякісними за походженням. Накопичення радіотрасера як у тілі хребця, так і в його відростках, зазвичай вказує на

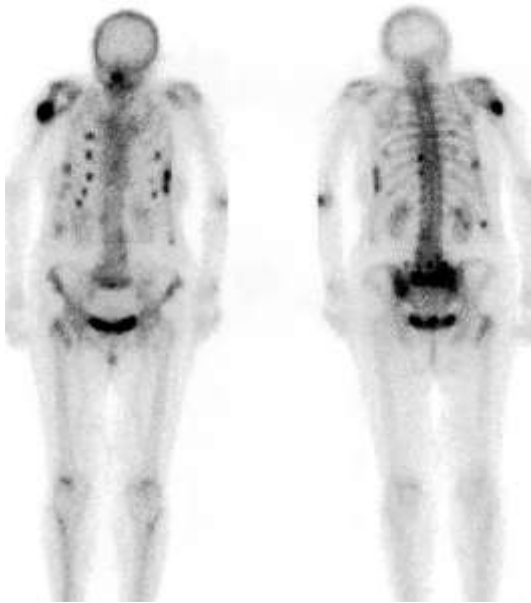


Рисунок 5 Передня (ліворуч) і задня (праворуч) сцинтиграми всього тіла, отримані у пацієнта, який впав, демонструють численні вогнища підвищеного поглинання радіоактивних індикаторів. Лінійно розподілені реброві вогнища та H-подібна сакральна активність вказують на травму як причину цих вогнищ. Підвищена активність правого проксимального відділу плечової кістки внаслідок перелому.

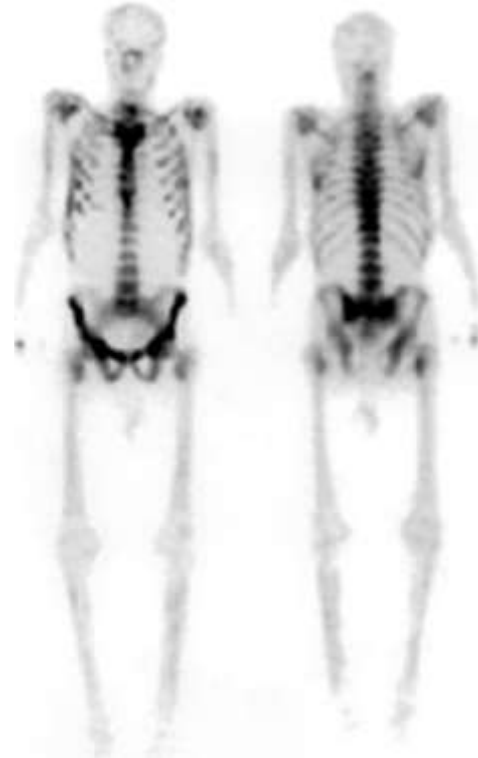


Рисунок 6 Кісткові метастази від раку шлунка. Передні (ліворуч) і задні (праворуч) цілотілові сцинтиграми демонструють дифузну, нерегулярно підвищену активність по всьому апендикулярному та аксіальному скелету. Спостерігається мінімальна активність у м'яких тканинах та практично відсутня активність у нирках або сечовому міхурі. Такий паттерн є характерним для дифузних кісткових метастазів та часто називається суперасканом.

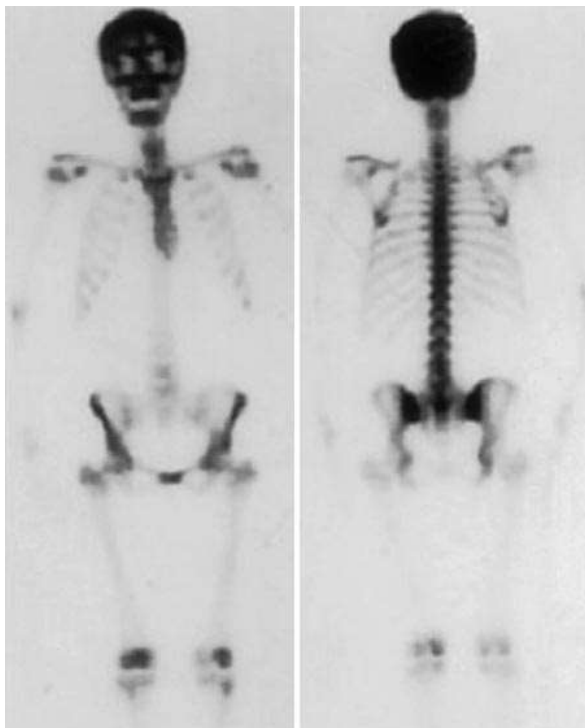


Рисунок 7 Ниркова остеодистрофія та вторинний гіперпаратиреоз. Передні (ліворуч) та задні (праворуч) цілотілові сцинтиграми демонструють рівномірно підвищену активність по всьому скелету, особливо інтенсивну у кістках черепа. Ці зображення показують супераскан-патерн, пов'язаний із метаболічним захворюванням кісток (див. рис. 6).

метастатичне захворювання, тоді як аномалії, що залучають тіло хребця і міжхребцеві суглоби, але оминають відростки, зазвичай доброякісні (рис. 8, 9). Активність, обмежена тілом хребця, може бути спричинена пухлиною, травмою або інфекцією (13-15).

Параметри ОФЕКТ-зйомки варіюються залежно від того, чи використовується одно-, дво- чи три-детекторна система. У нашій установі при використанні двоголовчастої системи здійснюється 128 кутових проєкцій (20 сек/проєкція) на матриці 128x128x16. При використанні одноголовчастої системи здійснюється 64 кутові проєкції (20 сек/проєкція) на матриці 128x128x16. Оптимальні алгоритми реконструкції різняться залежно від виробника.

Хоча метастатичне захворювання, як правило, проявляється як ділянки підвищеної активності, іноді воно може проявлятися як

Рисунок 8 (а) Задня планарна сцинтиграма демонструє вогнище підвищеного захоплення радіоізоотопу в правій частині нижнього грудного хребця. (b-d) Трансаксіальні (b), корональні (c) та сагітальні (d) томограми демонструють, що ця ексцентрична активність розширюється від тіла хребця до педикулу, що є характерним паттерном для метастатичного захворювання.

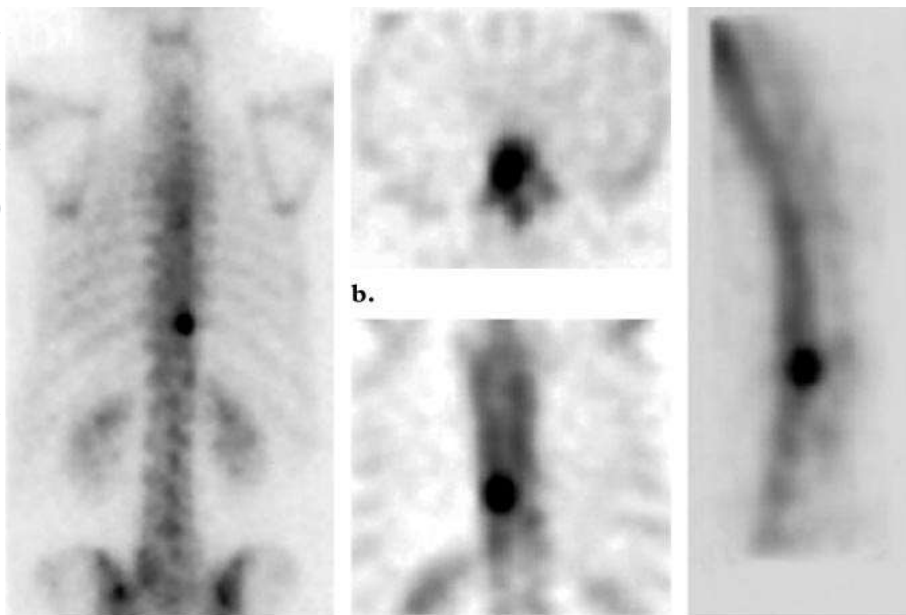
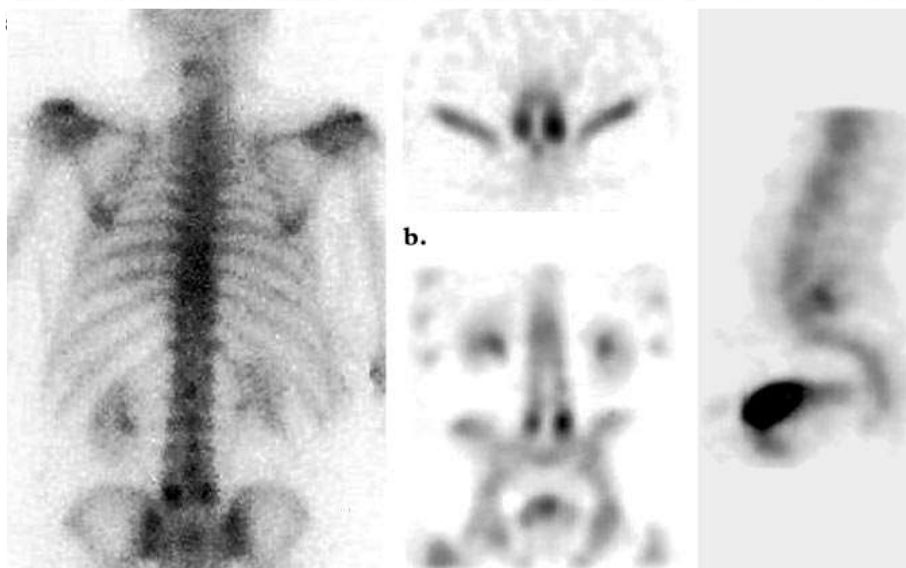


Рисунок 9 (а) Задня планарна сцинтиграма показує двосторонні вогнища підвищеної активності в нижньому поперековому хребці. (b-d) Трансаксіальні (b), корональні (c), та сагітальні (d) томограми підтверджують, що ця підвищена активність обмежена задніми елементами, оминаючи педикули, що вказує на те, що це не метастатичне захворювання.



ділянки зниженої активності (рис. 10) (3). Інші стани, які можуть проявлятися локальним зменшенням активності, включають гостру фазу аваскулярного некрозу та навіть остеомиєліт (16).

Для точної інтерпретації радіонуклідних остеосцинтиграм, отриманих у пацієнтів з пухлинами, необхідно бути обізнаним з ефектами, які лікування може мати на дослідження.

Багато пухлин лікують променевою терапією. На гострій (ранній) стадії променевого остейту накопичення радіотрасера фактично збільшується в опроміненій ділянці внаслідок запальної гіперемії (17). Це збільшення, що сягає максимуму приблизно через 2-3 місяці після лікування, становить лише близько 10-20% вище базового рівня і може бути не помітним при візуальному огляді зображень. Пізня фаза променевого остейту характеризується



Рисунок 10 Сцинтиграма показує кістковій метастазі в нижньому поперековому хребці (стрілка) у вигляді ділянки зниженої, а не підвищеної активності.

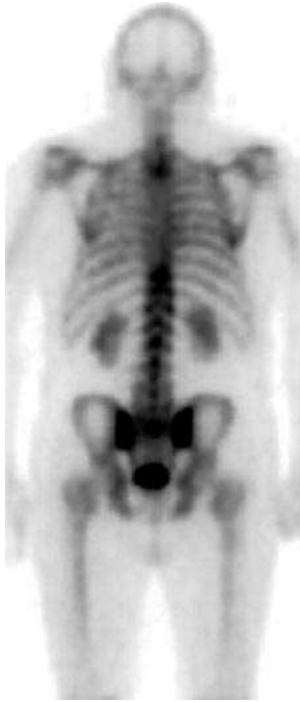


Рисунок 11 Задня цілотілова сцинтиграма, отримана приблизно через рік після медіастинальної променевої терапії, показує чітко окреслену область рівномірно зниженого накопичення радіоізоотопів у верхньому грудному хребті, що свідчить про зону впливу радіації.

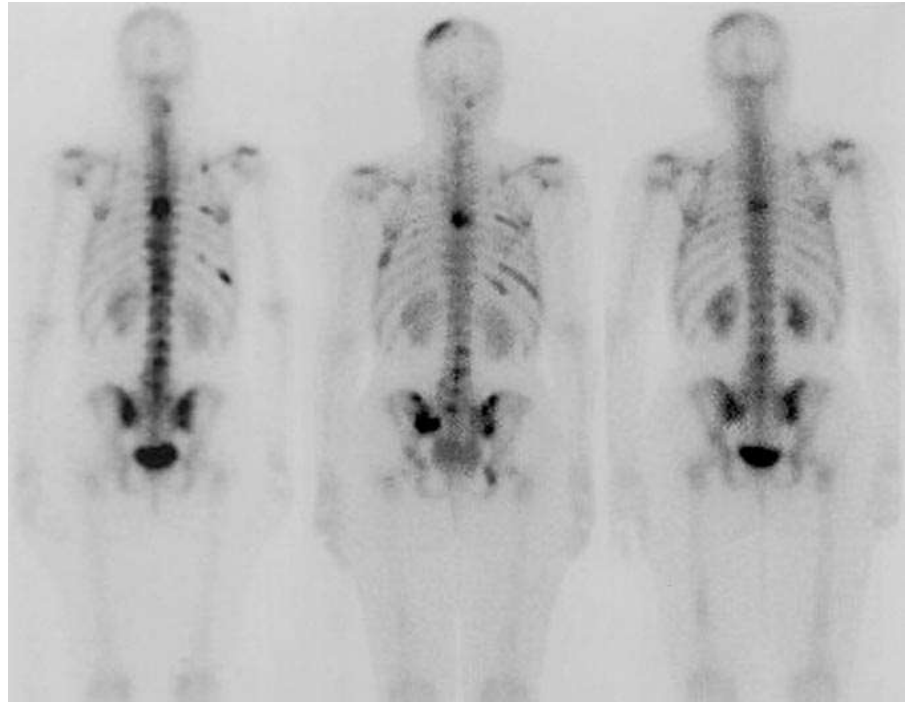


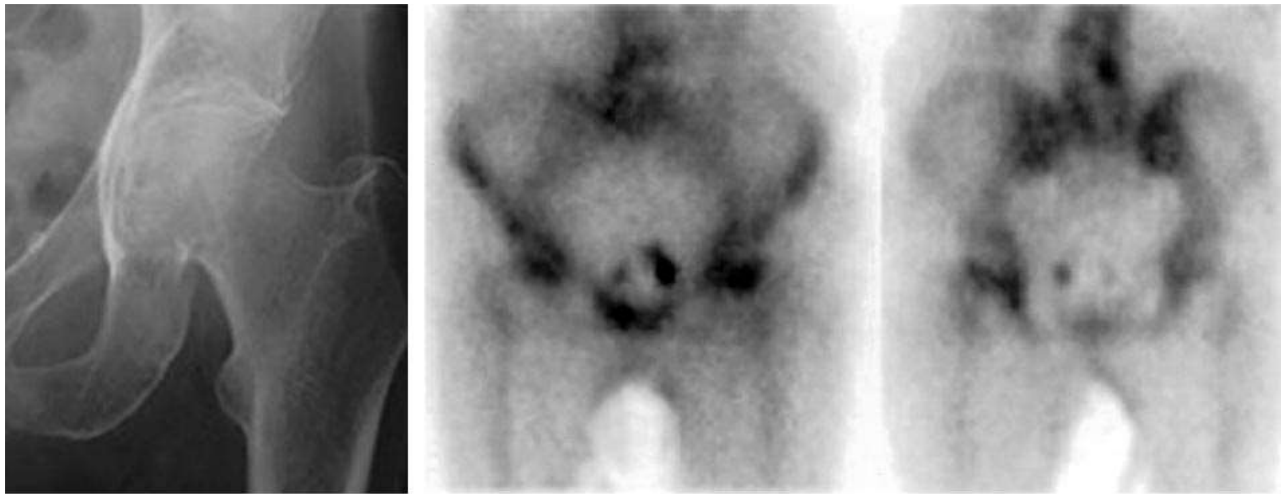
Рисунок 12 Кісткові метастази від раку молочної залози. Сцинтиграма з початкового дослідження кісток (ліворуч) демонструє численні вогнища підвищеної активності. На сцинтиграмі, отриманій через 3 місяці (в центрі), аномалії стали інтенсивнішими, а також з'явилися нові аномалії. На третій сцинтиграмі, отриманій через ще 3 місяці (праворуч), багато уражень зникли, а ті, що залишилися, зменшили інтенсивність. Нові аномалії не з'явилися. Зміни, які спостерігаються в другому дослідженні (в центрі), відображають відповідь на лікування та феномен "спалаху", а не прогресування захворювання.

рівномірно зниженим накопиченням в межах променевого порту (рис. 11). Ця картина, яку можна ідентифікувати через 6 місяців після лікування, зазвичай є постійною, хоча іноді накопичення в кістці може повернутися до рівня, що передувало лікуванню (3). Ефекти променевого остеїту, як правило, спостерігаються лише тоді, коли застосовуються дози принаймні 17,5 Гр (1750 рад) (18).

Гормональна терапія та хіміотерапія також можуть впливати на результати остеосцинтиграм (17). Збільшення інтенсивності або поява нових аномалій від однієї остеосцинтиграми до наступної не обов'язково вказує на прогресування захворювання. Цей патерн, який спостерігається у пацієнтів, що реагують на лікування, відображає загоєння кісткових вогнищ і було названо феноменом "спалаху". Цей феномен зазвичай спостерігається протягом 3 місяців після початку лікування і часто асоціюється рентгенологічно зі склеротичними змінами, що вказують на загоєння. Продовжене збільшення кількості та інтенсивності вогнищ понад 6 місяців зазвичай свідчить про прогресування захворювання (19, 20). Серійні дослідження з часом корисні для диференціації загоєння від прогресування захворювання (рис. 12).

Травма

Хоча більшість переломів виявляються рентгенологічно, остеосцинтиграфія корисна для виявлення переломів у пацієнтів з анамнезом травми та сумнівними або відверто негативними рентгенологічними знахідками (рис. 13). Більшість переломів можна сцинтиграфічно виявити протягом 24 годин після їх виникнення; однак у літніх пацієнтів з остеопенією та ненормальними знахідками при початковій остеосцинтиграфії, виконаній протягом 24 годин після травми, може



a.

b.

Рисунок 13 Перелом стегнової кістки у 83-річного пацієнта, який скаржився на біль у лівому стегні після падіння. **(а)** Рентгенографія демонструє нормальні результати. **(б)** Передня (ліворуч) та задня (праворуч) сцинтиграми кісток показують вогнища підвищеної активності в лівій шийці стегнової кістки, що свідчить про травму. **(с)** Комп'ютерна томографія (КТ) підтверджує наявність перелому лівої шийки стегнової кістки (стрілка).



с.

бути проведена повторна сцинтиграфія через 72 години для максимізації чутливості. Мінімальний час для нормалізації активності становить 6 місяців після перелому, і практично всі переломи продемонструють нормалізацію активності через 2 роки. Оскільки ремоделювання є постійним процесом при незрощених переломах, такі переломи ніколи не зможуть досягти нормальної сцинтиграфічної картини (21).

У спортсменів нижні кінцівки часто є місцем скелетно-м'язової травми. Поширеними станами є ентезопатії, стресові переломи та "гомільковий біль" (22). Плантарний фасциїт, форма локалізованого реактивного періоститу, розвивається у осіб, які займаються діяльністю, що включає значну дорсифлексію стопи, таку як біг та аеробіка. Біль і чутливість зосереджені в місці прикріплення довгої підшовної зв'язки до нижньої поверхні п'яткової кістки. Типовим проявом цього стану на радіонуклідних остеосцинтиграмах є фокально підвищена, іноді інтенсивна, активність у місці прикріплення зв'язки (рис. 14) (22–24).

Радіонуклідна остеосцинтиграфія часто використовується для диференціації великогомілкових стресових переломів від гомількового болю (рис. 15). При гострому стресовому переломі типово наявні гіперперфузія та гіперемія. На відстрочених знімках виявляється фокальне фузіформне накопичення в ділянці вогнища, яке часто відбувається на межі середньої та дистальної третини великогомілкової кістки (25). Гомільковий біль спричинений надмірним навантаженням на великогомілковий та литковий м'язи ніг, що призводить до періоститу в місцях їх прикріплення

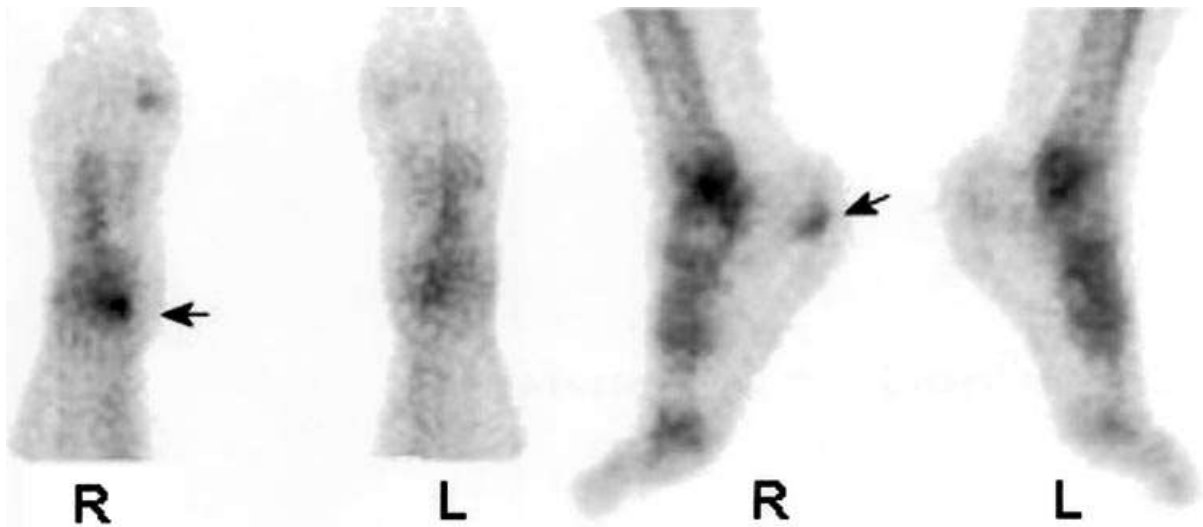


Рисунок 14 Плантарний фасциїт. Радіонуклідні скани демонструють вогнища підвищеної активності на підшовній поверхні правого п'яtkового горба (стрілка), де плантарна фасція кріпиться до п'яtkової кістки.

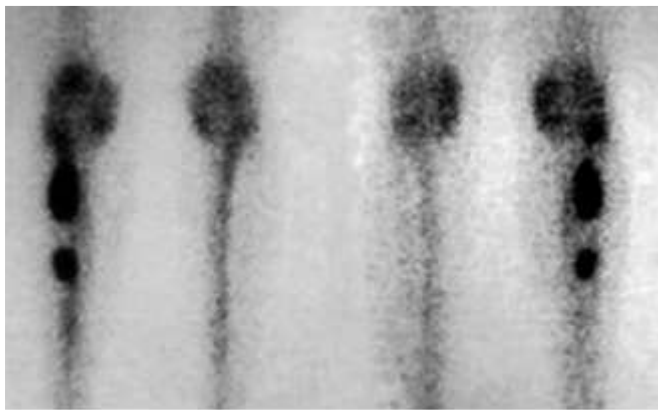
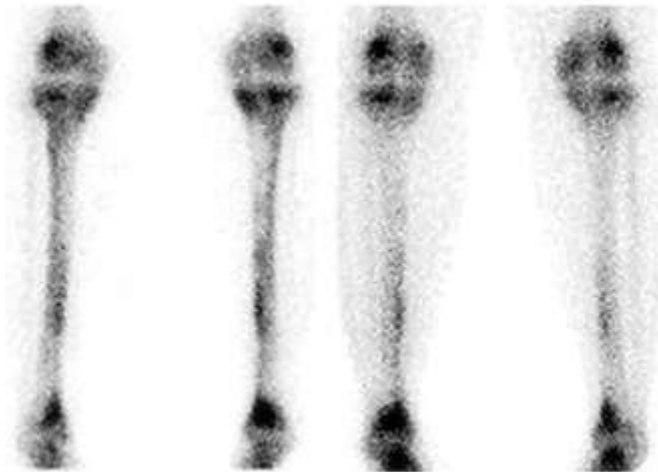


Рисунок 15 (а) Передні (ліворуч) та задні (праворуч) сцинтиграми, отримані у молодій жінки зі стресовими переломами правої гомілкової кістки, показують фокальну, інтенсивну активність у проксимальній частині кістки. (б) На передніх (ліворуч) та задніх (праворуч) сцинтиграмах, отриманих у пацієнта з двосторонніми "шипамі гомілки", активність гомілкової кістки лінійна, орієнтована вздовж кістки та м'яка за інтенсивністю.

а.



б.

до великогомілкових кісток. На відміну від стресових переломів, ангіограми та знімки кровообігу зазвичай нормальні при гомілковому болю. Відстрочені кісткові знімки виявляють поздовжні лінійні ділянки підвищеного накопичення різної інтенсивності, що займають третину або більше задньої кортикальної поверхні великогомілкової кістки (26). Диференціація стресового перелому від гомілкового болю є важливою, оскільки їх лікування дуже різниться.

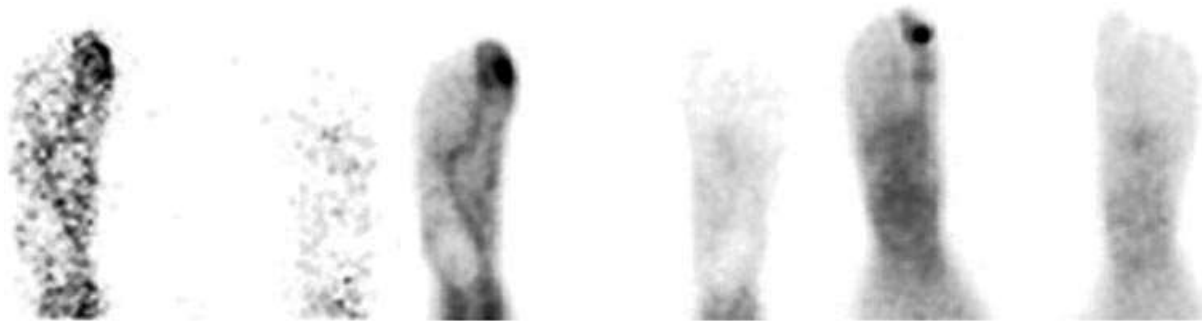


Рисунок 16 Остеомієліт. Динамічні (ліворуч), кров'яний басейн (в центрі) та кісткові (праворуч) зображення з трифазної сцинтиграфії кісток демонструють фокальну гіперперфузію, фокальну гіперемію та вогнища підвищеного поглинання кісток, відповідно, у правому великому пальці ноги.

Інфекція

Трифазна остеосцинтиграфія з точністю понад 90% є радіонуклідною процедурою вибору для діагностики остеомієліту в кістці, не ураженій супутніми станами (27).

Перша (динамічна) фаза відображає відносну кількість кровотоку до ділянки інтересу, тоді як друга (фаза кровообігу) фаза відображає кількість активності, що екстравазувалася в оточуючі тканини навколо ділянки інтересу. Третя (відстрочена [кісткова]) фаза відображає швидкість обміну речовин у кістці. Класичною картиною остеомієліту на трифазних остеосцинтиграмах є фокальна гіперперфузія, фокальна гіперемія та фокально підвищене накопичення в кістці (рис. 16). Аномалії при радіонуклідній остеосцинтиграфії відображають підвищений обмін мінералів у кістці в цілому, а не інфекцію як таку. Тому стани, пов'язані з підвищеним обміном мінералів у кістці (наприклад, пухлини, переломи, суглобова нейропатія), можуть імітувати остеомієліт при трифазній остеосцинтиграфії. За цих обставин трифазна остеосцинтиграфія є менш корисною, головним чином через знижену специфічність. Для покращення специфічності часто виконується комплементарна візуалізація з Галієм-67 цитратом (для хребетної інфекції) або Індієм-111, міченими аутологічними лейкоцитами (для кінцівок) (27).

Остеосцинтиграфія часто використовується для оцінки болючого ендопротезу суглоба. Негативне дослідження є вагомим свідченням того, що протез не є джерелом скарг пацієнта. Однак значення підвищеного перипротезного накопичення є менш визначеним. Факторами, які необхідно враховувати, є тип і локалізація протеза, а також час, що минув між імплантацією та візуалізацією (28).

Інші стани, що можуть бути діагностовані

Хвороба Педжета

Хвороба Педжета, вогнищевий розлад обміну речовин у скелеті невідомої причини, характеризується підвищеною резорбцією, порушенням ремоделювання та нерівномірною мінералізацією кістки (29). Уражені кістки стають збільшеними, нерівними та



Рисунок 17 Хвороба Педжета. Цілотілова сцинтиграма демонструє підвищене накопичення радіоізоотопів у проксимальній частині правого стегна та у деформованих і збільшених гомілях.

деформованими. При сцинтиграфії ці зміни проявляються як інтенсивно підвищена активність по всьому протязі уражених кісток (рис. 17) (30). Єдиним винятком з цього патерну є остеопороз обмежений, при якому інтенсивна активність обмежена краями вогнища (31).

Гіпертрофічна остеоартропатія

Гіпертрофічна остеоартропатія є вторинною до кортикального періоститу, що виникає у зв'язку з різними інтраторакальними пухлинами, легневими захворюваннями, серцевими станами та



Рисунок 18 Рак легенів з гіпертрофічною остеоартропатією. Передні (ліворуч) та задні (праворуч) цілотілові сцинтиграми демонструють перикортикальні смуги активності (означений "трамвайними лініями") в нижніх кінцівках. Гіпертрофічна остеоартропатія також спостерігається в кістках передпліччя.

інтраабдомінальними захворюваннями (17). Вважається, що невідомий цитокін чинить остеогенну дію (32). Найбільш поширеним сцинтиграфічним патерном є нерівномірне, нерегулярне кортикальне накопичення, що залучає довгі кісткові трубки і призводить до "симптому рейки" (рис. 18) (33).

Рефлекторна симпатична дистрофія

Рефлекторна симпатична дистрофія, синдром, що викликає значний дискомфорт, імовірно, зумовлений "симпатичним перевантаженням", що може пояснити біль, тепло та набряк ураженої кінцівки (34). При остеосцинтиграфії рефлекторна симпатична дистрофія зазвичай проявляється як дифузно підвищене рівномірне накопичення по всій ураженій ділянці (рис. 19). Інколи рефлекторна симпатична дистрофія може проявлятися як фокальна аномалія, обмежена, наприклад, кистю або коліном. Також було описано зменшене накопичення радіотрасера, особливо у дітей (34-37).

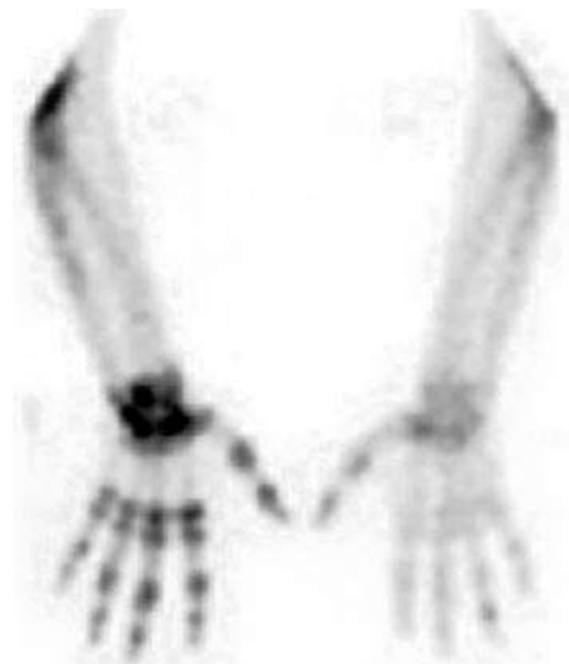


Рисунок 19 Рефлекторна симпатична дистрофія. Сцинтиграма показує дифузно підвищене поглинання у дистальній частині правої верхньої кінцівки.

Аваскулярний некроз

Порушення артеріальної перфузії або обструкція венозного відтоку з замкнутого суглоба, такого як кульшовий, призводить до кисневого голодування, що викликає загибель остеоцитів. Судинної недостатності всього на 12 годин може бути достатньо для розвитку аваскулярного некрозу. В гострій фазі судинної недостатності жодна частина радіотрасера не надходить до кісткової тканини. При сцинтиграфії уражена частина кістки виглядає як фотопенічний дефект.

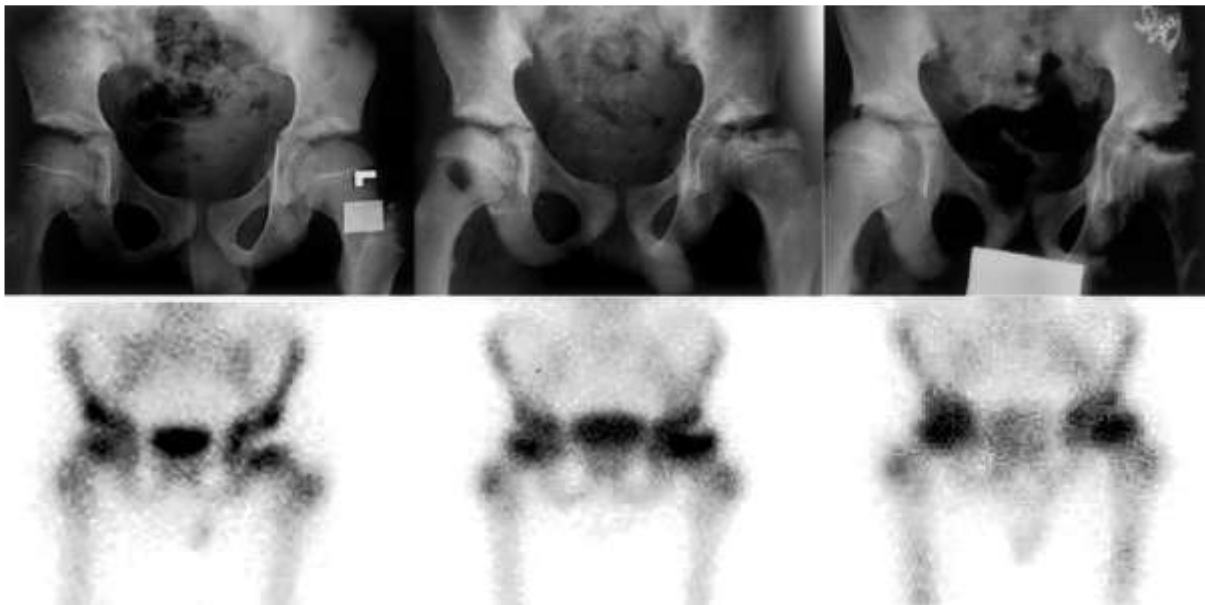


Рисунок 20 Аваскулярний некроз у пацієнта з серпоподібноклітинною анемією, який скаржився на біль у лівому стегні. Рентгенограма з початкового дослідження (вгорі ліворуч) демонструє нормальні результати. Відповідна сцинтиграма (внизу ліворуч) показує аномалію з фотопенічним дефектом у лівій голівці стегнової кістки. Рентгенограма, отримана через рік (вгорі в центрі), виявляє деформацію лівої голівки стегнової кістки. Відповідна сцинтиграма (внизу в центрі) показує підвищене поглинання радіоізотопів, що свідчить про репаративну фазу аваскулярного некрозу. Рентгенограма, отримана через 2 роки після початкового дослідження (вгорі праворуч), виявляє ознаки прогресивного руйнування та деформації лівої голівки стегнової кістки. Відповідна сцинтиграма (внизу праворуч) показує маленьку, деформовану ліву голівку стегнової кістки.

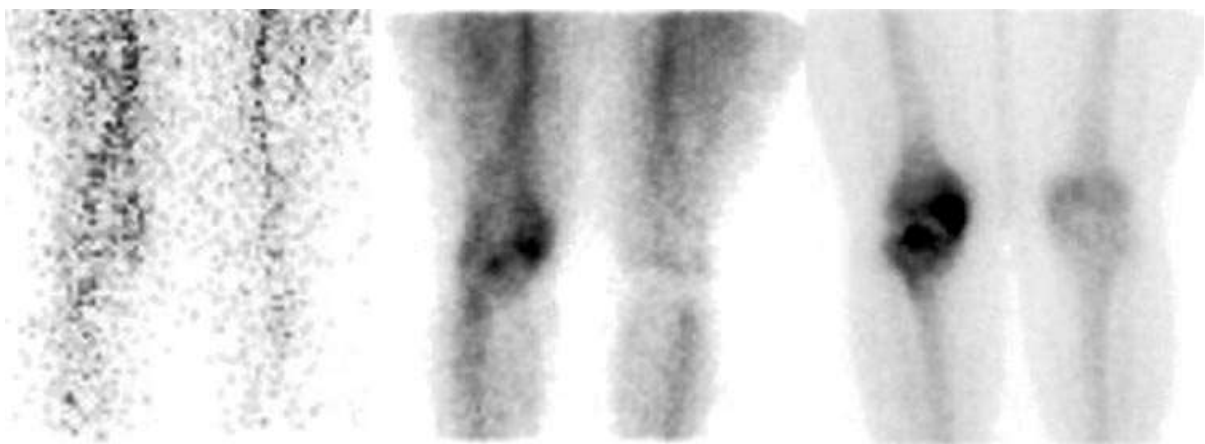


Рисунок 21 Спонтанний остеонекроз. Динамічні (ліворуч), кров'яний басейн (в центрі) та кісткові (праворуч) зображення показують фокальну гіперперфузію, гіперемію та активність кісток, відповідно, в міжвиростковій області голівки та медіальному виростку стегнової кістки.

Після реваскуляризації буйний остеобластичний репаративний процес проявляється як інтенсивне накопичення радіотрасера. Згодом, коли репарація завершується, накопичення радіотрасера може повернутися до базового рівня (рис. 20) (37). Спонтанний аваскулярний некроз може виникати у літніх людей, особливо жінок, і характеризується раптовим початком

болю в коліні з нормальними рентгенологічними знахідками. При сцинтиграфії спонтанний аваскулярний некроз характеризується фокально підвищеним накопиченням радіотрасера, зазвичай у медіальному виростку стегнової кістки, хоча також можуть бути залучені латеральний виросток стегнової кістки та великогомілкова кістка (рис. 21) (38). Радіонуклідна візуалізація перевершує звичайну рентгенографію у виявленні аваскулярного некрозу, але поступається магнітно-резонансній томографії, яка на даний час є переважним методом візуалізації в цьому випадку (39).

Спондилоліз

Спондилоліз - це стан, викликаний дефектом у *pars interarticularis* хребця, що є важливою причиною болю у активної молоді. Якщо початкові рентгенограми негативні, сцинтиграфія кісток може бути корисною для ініціювання більш спеціалізованого анатомічного дослідження для діагностики. Крім планарного сканування, для забезпечення адекватного обстеження обов'язково необхідне SPECT-сканування грудно-поперекового відділу хребта (рис. 22). (36).

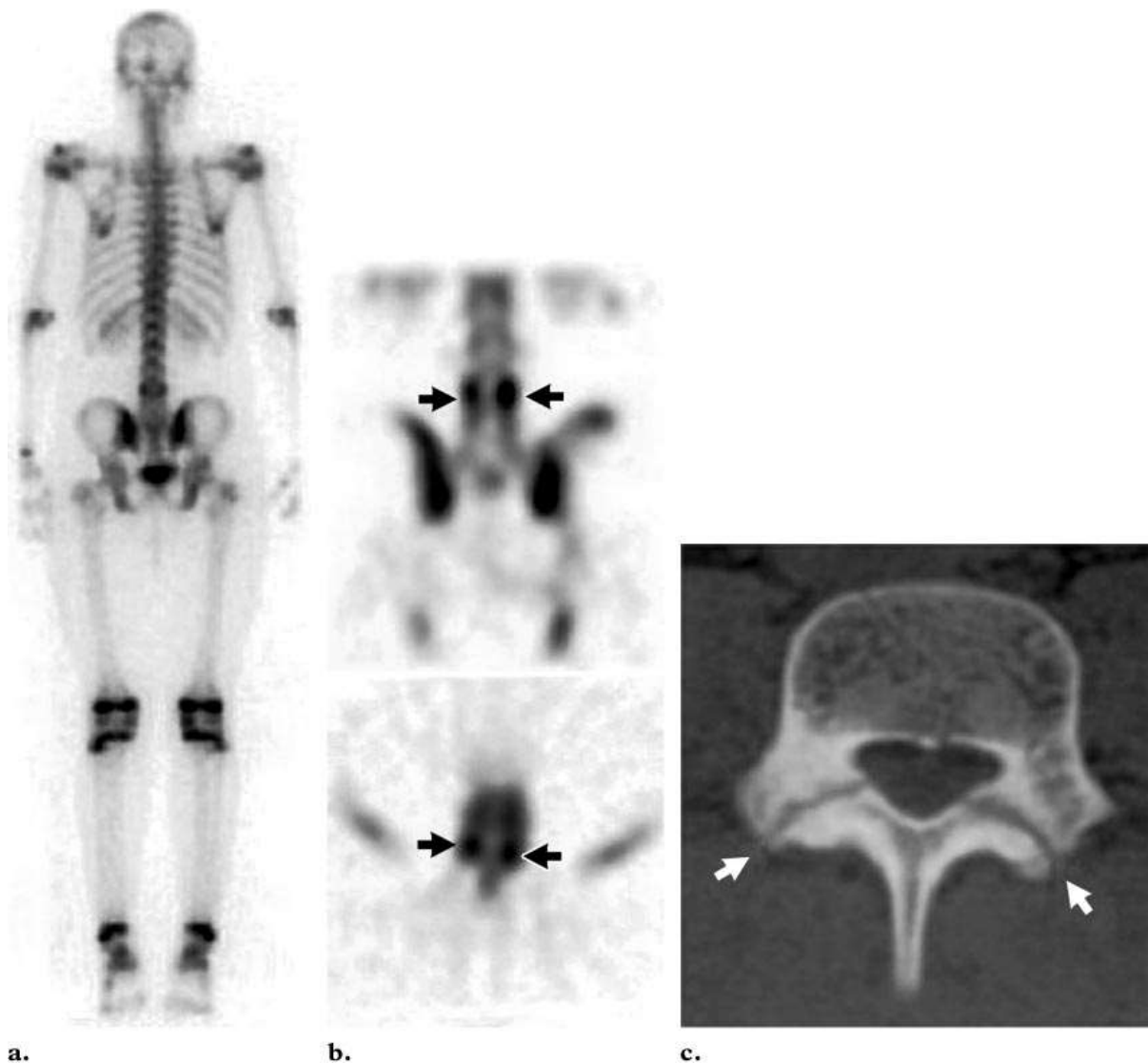


Рисунок 22 Двосторонній спондилоліз. (а) Задня цілотілова сцинтиграма показує незначне підвищення активності в нижній частині поперекового відділу хребта. (б) Корональні (вгорі) та поперечні (внизу) зображення SPECT чітко показують двосторонні вогнища інтенсивної активності в задніх елементах L4 (стрілки). (с) КТ-сканування допомагає підтвердити наявність двостороннього спондилолізу (стрілки).

Венозна обструкція

Пацієнти з венозною обструкцією часто скаржаться на набряк та набухання ураженої ділянки. На динамічних знімках трифазної остеосцинтиграфії можна виявити колатеральні судини (рис. 23).



Рисунок 22 Рак легенів з обструкцією верхньої порожнистої вени. Динамічні радіонуклідні зображення, отримані через 3 (ліворуч), 6 (в центрі) та 9 (праворуч) секунд після ін'єкції, показують розширені основні судини та колатеральні судини.

Позакісткова активність

М'якотканинне накопичення дифосфонатів може спостерігатися при багатьох патологічних станах. Хоча причини такого накопичення є багатофакторними, одним важливим фактором є утворення солей кальцій-фосфату з кальцієм та фосфатом, що витікають в позаклітинну рідину з гіпоксичних або мертвих клітин. Ці солі зв'язуються з дифосфонатами (40). Виявлення позакісткового накопичення дифосфонатів має практичні діагностичні наслідки і іноді може вказувати на системне захворювання.

Міокардіальне накопичення було описане при тривалій серцевій недостатності, інфаркті міокарда, перикардиті, амілоїдозі, нестабільній стенокардії та після реанімації або кардіоверсії (рис. 24) (41). Метастази в різні анатомічні структури, такі як печінка та лімфатичні вузли, демонструють накопичення радіотрасера з кісток (рис. 25). Імовірно, порушення сарколеми у багатьох на кальцій скелетних м'язах пояснює накопичення дифосфонатів при рабдоміолізі (рис. 26) (41, 42). Гетеротопічна осифікація, зумовлена наявністю позаскелетних остеобластичних клітин, спостерігається у пацієнтів з переломами, ендопротезуванням суглобів, парепарезом та геміплегією після інсульту (рис. 27) (43). Автоінфарктована селезінка, яка є поширеним явищем у пацієнтів з серпоподібноклітинною хворобою, виглядає як вогнище активності супралатерально до лівої нирки (рис. 28) (44).

Позакісткова активність також може бути результатом потрапляння повітря у флакон або шприц, що містить технецій-99м, мічений дифосфонатами. Повітря викликає окиснення та розпад міченої сполуки з вивільненням вільного пертехнетату. Знахідки оральної, щитоподібної та шлункової активності на радіонуклідній остеосцинтиграмі є підтвердженням (рис. 29) (10). Іноді позакісткова активність являє собою залишкову активність від попередньої радіонуклідної процедури; таким чином, важливість отримання ретельного анамнезу не можна переоцінити (рис. 30).

Артефакти

Хибні аномалії можуть бути викликані ювелірними виробами, предметами одягу та навіть медичними пристроями (рис. 31) (3).

Висновки

Остеосцинтиграфія є популярною та важливою модальністю візуалізування, і, ймовірно, залишатиметься такою в найближчому майбутньому. Хоча остеосцинтиграфія є неспецифічною, її надзвичайна чутливість робить її корисною скринінговою процедурою для багатьох патологічних станів. Більше того, деякі стани, які не проявляються на анатомічних зображеннях, можна діагностувати за допомогою радіонуклідної остеосцинтиграфії.

Список літератури

1. Genant HK, Bautovich GJ, Singh M, Lathrop KA, Harper PV. Bone-seeking radionuclides: an in vivo study of factors affecting skeletal uptake. *Radiology* 1974; 113:373–382.
2. Galasko CSB. The pathological basis for skeletal scintigraphy. *J Bone Joint Surg Br* 1975; 57:353–359.
3. McAfee JG, Reba RC, Majd M. The musculoskeletal system. In: Wagner HN Jr, Szabo Z, Buchanan JW, eds. *Principles of nuclear medicine*. 2nd ed. Philadelphia, Pa: Saunders, 1995; 986–1012.
4. Citrin DL, Tormey DC, Carbone PP. Implications of the ^{99m}Tc diphosphonate bone scan on treatment of primary breast cancer. *Cancer Treat Rep* 1977; 61:1249–1252.
5. Fon GT, Wong WS, Gold RH, Kaiser LR. Skeletal metastases of melanoma: radiographic, scintigraphic, and clinical review. *AJR Am J Roentgenol* 1981; 137:103–108.
6. Galasko CS, Doyle FH. The detection of skeletal metastases from mammary cancer: a regional comparison between radiology and scintigraphy. *Clin Radiol* 1972; 23:295–297.
7. Hage WD, Aboulafia AJ, Aboulafia DM. Incidence, location, and diagnostic evaluation of metastatic bone disease. *Orthop Clin North Am* 2000; 31:515–528.
8. Palmer E, Henrikson B, McKusick K, Strauss HW, Hochberg F. Pain as an indicator of bone metastasis. *Acta Radiol* 1988; 29:445–449.
9. Bibbo C, Patel DV, Benevenia J. Perioperative considerations in patients with metastatic bone disease. *Orthop Clin North Am* 2000; 31:577–595.
10. Thrall JH, Ziessman HA. Skeletal system. In: Thrall JH, Ziessman HA, eds. *Nuclear medicine: the requisites*. 2nd ed. St Louis, Mo: Mosby, 2001; 110–144.
11. Weckesser M, Muller-Mattheis VG, Vosberg H, Muller-Gartner HW. Pathogenetic differentiation of the bone superscan using bone marrow scintigraphy. *Nuklearmedizin* 1998; 37:156–158. [German]
12. Mari C, Catafau A, Carrio I. Bone scintigraphy and metabolic disorders. *Q J Nucl Med* 1999; 43:259–267.
13. Savelli G, Maffioli L, Maccauro M, De Deckere E, Bombardieri E. Bone scintigraphy and the added value of SPECT (single photon emission tomography) in detecting skeletal lesions. *Q J Nucl Med* 2001; 45:27–37.
14. Even-Sapir E, Martin RH, Barnes DC, Pringle CR, Iles SE, Mitchell MJ. Role of SPECT in differentiating malignant from benign lesions in the lower thoracic and lumbar vertebrae. *Radiology* 1993; 187:193–198.
15. Delpassand ES, Garcia JR, Bhadkamkar V, Podoloff DA. Value of SPECT imaging of the thoracolumbar spine in cancer patients. *Clin Nucl Med* 1995; 20:1047–1051.
16. Pennington WT, Mott MP, Thometz JG, Sty JR, Metz D. Photopenic bone scan osteomyelitis: a clinical perspective. *J Pediatr Orthop* 1999; 19:695–698.
17. Stokkel MPM, Valdes Olmos RA, Hoefnagel CA, Richel DJ. Tumor and therapy associated abnormal changes on bone scintigraphy: old and new phenomena. *Clin Nucl Med* 1993; 18:821–828.
18. King MA, Weber DA, Casarett GW, Burgener FA, Corriveau O. A study of irradiated bone. II. Changes in Tc-^{99m} pyrophosphate bone imaging. *J Nucl Med* 1980; 21:22–30.

19. Coombes RC, Dady P, Parsons C, et al. Assessment of response of bone metastases to systemic treatment in patients with breast cancer. *Cancer* 1983; 52:610–614.
20. Coleman RE, Mashiter G, Whitaker KB, Moss DW, Rubens RD, Fogelman I. Bone scan flare predicts successful systemic therapy for bone metastases. *J Nucl Med* 1988; 29:1354–1359.
21. Matin P. The appearance of bone scans following fractures, including immediate and long-term studies. *J Nucl Med* 1979; 20:1227–1231.
22. Murray IPC. Bone scintigraphy in trauma. In: Murray IPC, Ell PJ, eds. *Nuclear medicine in clinical diagnosis and treatment*. 2nd ed. Edinburgh, Scotland: Churchill Livingstone, 1998; 1241–1267.
23. Aburano T, Yokoyama K, Taki J, Nakajima K, Tonami N, Hisada K. Tc-99m MDP bone imaging in inflammatory enthesopathy. *Clin Nucl Med* 1990; 15:105–106.
24. Intenzo CM, Wapner KL, Park CH, Kim SM. Evaluation of plantar fasciitis by three-phase bone scintigraphy. *Clin Nucl Med* 1991; 16:325–328.
25. Rupani HD, Holder LE, Espinola DA, Engin SI. Three-phase radionuclide bone imaging in sports medicine. *Radiology* 1985; 156:187–196.
26. Holder LE, Michael RH. The specific scintigraphic pattern of “shin splints in the lower leg”: concise communication. *J Nucl Med* 1984; 25:865–869.
27. Palestro CJ, Torres MA. Radionuclide imaging of orthopedic infections. *Semin Nucl Med* 1997; 27:334–345.
28. Love C, Tomas MB, Marwin SE, Pugliese PV, Palestro CJ. Role of nuclear medicine in diagnosis of the infected joint replacement. *RadioGraphics* 2001; 21:1229–1238.
29. Kanis JA. Paget’s disease of bone (osteitis deformans). In: Goldman L, Bennett JC, eds. *Cecil textbook of medicine*. 21st ed. Philadelphia, Pa: Saunders, 2000; 1413–1416.
30. Wellman HN, Schauwecker D, Robb JA, Khairi MR, Johnston CC. Skeletal scintigraphy and radiography in the diagnosis and management of Paget’s disease. *Clin Orthop* 1977; 127:55–62.
31. Rausch JM, Resnick D, Goergen TG, Taylor A. Bone scanning in osteolytic Paget’s disease: case report. *J Nucl Med* 1977; 18:699–701.
32. Ernstoff MS, Meehan KR. Nonmetastatic effects of cancer: other systems. In: Goldman L, Bennett JC, eds. *Cecil textbook of medicine*. 21st ed. Philadelphia, Pa: Saunders, 2000; 1057–1059.
33. Ali A, Tetalman MR, Fordham EW, et al. Distribution of hypertrophic pulmonary osteoarthropathy. *AJR Am J Roentgenol* 1980; 134:771–780.
34. Fournier RS, Holder LE. Reflex sympathetic dystrophy: diagnostic controversies. *Semin Nucl Med* 1998; 28:116–123.
35. Kozin F, Soin JS, Ryan LM, Carrera GF, Wortmann RL. Bone scintigraphy in the reflex sympathetic dystrophy syndrome. *Radiology* 1981; 138:437–443.
36. Nadel HR, Stilwell ME. Nuclear medicine topics in pediatric musculoskeletal disease: techniques and applications. *Radiol Clin North Am* 2001; 39:619–651.
37. Murray IPC. Vascular manifestations. In: Murray IPC, Ell PJ, eds. *Nuclear medicine in clinical diagnosis and treatment*. 2nd ed. Edinburgh, Scotland: Churchill Livingstone, 1998; 1223–1240.
38. Galasko CSB, Weber DA. Avascular necrosis. In: Galasko CSB, Weber DA, eds. *Radionuclide scintigraphy in orthopaedics*. Edinburgh, Scotland: Churchill Livingstone, 1984; 200–209.
39. DeSmet AA, Dalinka MK, Alazraki N, et al. Diagnostic imaging of avascular necrosis of the hip. *Radiology* 2000; 215(suppl):247–254.
40. Heck LL. Extraosseous localization of phosphate bone agents. *Semin Nucl Med* 1980; 10:311–313.
41. Silberstein EB, Elgazzar AH, Fernandez-Ulloa M, Nishiyama H. Skeletal scintigraphy in non-neoplastic osseous disorders. In: Henkin RE, Bloes MA, Dillehay GL, et al. *Nuclear medicine*. St Louis, Mo: Mosby, 1996; 1141–1197.

42. Blair RJ, Schroeder ET, McAfee JG, Duxbury CE. Skeletal muscle uptake of bone seeking agents in both traumatic and non-traumatic rhabdomyolysis with acute renal failure (abstr). *J Nucl Med* 1975; 16(P):515–516.
43. Buring K. On the origin of cells in heterotopic bone formation. *Clin Orthop* 1975; 110:293–302.
44. Silberstein EB, DeLong S, Cline J. Tc99m diphosphonate and sulfur colloid uptake by the spleen in sickle disease: interrelationship and clinical correlates: concise communication. *J Nucl Med* 1984; 25:1300–1303.