

CAPÍTULO 22

INDICACIONES Y VALORACIÓN DE MEDICINA NUCLEAR

Autores: Silvia Rodríguez Alonso, Luis Pallé Martínez

Coordinadora: Beatriz Rodríguez de Paz
*Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología.
Hospital Universitario Nuestra Señora de
Candelaria, Santa Cruz de Tenerife*

1. INTRODUCCIÓN

La **medicina nuclear** es una subespecialidad que consiste en el uso de técnicas diagnósticas y terapéuticas mediante la utilización de radioisótopos. Cada vez está cobrando mayor relevancia en la cirugía ortopédica, ya que complementa a las pruebas tradicionales ya conocidas. Es capaz de detectar cambios a nivel molecular dentro de estructuras anormales, los cuales pasarían desapercibidos en pruebas como la radiografía, escáner o resonancia magnética durante un mayor periodo de tiempo hasta poder ser detectadas mediante estos medios. Además, proporciona información metabólica y funcional en tiempo real convirtiéndose en una herramienta muy útil en el diagnóstico y tratamiento de diversas patologías de nuestra especialidad.

En el siguiente capítulo se exponen las técnicas de imagen utilizadas en la actualidad en cirugía ortopédica y traumatología:

- Gammagrafía ósea; subdividido a su vez según el tipo de radioisótopo utilizado.
- PET y PET/RM
- SPECT y SPECT/TC

Su introducción en nuestro campo es todavía variable debido a costes elevados, desconocimiento de las técnicas, baja accesibilidad al equipo necesario y dificultad para interpretar sus resultados. Por estos motivos, no está ampliamente establecida en todos los centros.

2. GAMMAGRAFÍA ÓSEA

2.1. Gammagrafía ósea con TC-99m

La gammagrafía ósea puede ser la prueba más ampliamente utilizada dentro de este campo, dada su mayor

accesibilidad, coste más reducido y alta sensibilidad. Sus principales usos son:

- Artroplastia dolorosa
- Fracturas por insuficiencia o estrés, fracturas ocultas que no se detectan en la radiografía simple
- Infecciones musculoesqueléticas
- Detección de lesiones metastásicas
- Estadaje de lesiones tumorales

El radioisótopo usado en este caso es el tecnecio 99 metaestable o el T tecnecio 99 metaestable hidroximetilendifosfonato que es inyectado de manera intravenosa al paciente, tras lo cual se obtienen 3 secuencias diferentes de imágenes en distintos momentos. El radiotrazador tiende a depositarse en zonas de alta actividad metabólica (hueso en remodelación o en zonas inflamatorias) de la matriz mineral ósea. Cada secuencia tiene su aplicación específica y busca estudiar patologías concretas.

2.1.1. Artroplastia dolorosa: la gammagrafía tiene como uso principal el estudio de una prótesis dolorosa. En el periodo agudo postoperatorio, se ha descrito una captación del 20% durante el primer año y hasta un 10% en los dos primeros años en pacientes asintomáticos intervenidos de una artroplastia de rodilla. Sin embargo, pasado el periodo comentado, una captación aumentada suele ser una manifestación patológica:

- Desgaste del polietileno y enfermedad por partículas
- Aflojamiento aséptico
- Infección periprotésica

Cuenta con una sensibilidad del 93% y una especificidad del 56% para infección periprotésica de rodilla, así como una sensibilidad del 80% con especificidad del 69% en cadera. Además, la literatura reporta mayor sensibilidad, aunque menor especificidad en comparación con el PET-18FDG, siendo a su vez más costo-efectivo y disponible para diferenciar entre aflojamiento séptico o aséptico.

2.1.2. Fracturas por estrés: la gammagrafía es capaz de diferenciar entre las fases de la consolidación,

siendo un periodo normal de captación de 6 meses a 2 años posteriores a la lesión inicial o cirugía. Captaciones por encima de dichos periodos pueden ser indicativas de pseudoartrosis o infección. También está validado su uso en la detección de fracturas ocultas. Cuenta con un 95% de sensibilidad y 99% de especificidad en detección de fracturas del carpo, fémur proximal, astrágalo, pelvis y columna.

2.1.3. Infecciones musculoesqueléticas: la principal ventaja de la gammagrafía frente al TC o la RM es que no se ve interferida por la presencia de implantes metálicos, lo cual confiere superioridad frente a dichas pruebas. Su especificidad es relativamente baja, sobre todo en fases iniciales de la infección, siendo difícil de interpretar su resultado entre esta o una fractura, por lo cual en este momento otras pruebas son de elección.

El patrón de captación puede aportar ideas sobre la patología estudiada, así la osteomielitis tiene captación en las 3 fases, mientras que la infección de partes blandas suele captar solo en las 2 primeras fases.

2.1.4. Patología tumoral: la gammagrafía es capaz de ser diagnóstica, estudiar extensión y respuesta al tratamiento de la patología tumoral. Con una sensibilidad de hasta el 95%, está descrito que cuenta con mayor sensibilidad que el PET-18FDG en detección de osteosarcoma, todo ello explicado por el mayor recambio óseo y metabolismo acelerado en este tipo de patologías.

2.2. Gammagrafía ósea con leucocitos marcados

Esta prueba es el gold estándar para el estudio de infecciones ortopédicas en población inmunocompetente y generalmente es la prueba realizada tras una gammagrafía con tecnecio positiva⁽¹⁾. Se realiza marcando leucocitos autólogos con un radioisótopo variable (^{111}In , con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ o con fragmentos de inmunoglobulina unidos a $^{99\text{m}}\text{Tc}$) e infundidos nuevamente al paciente, donde principalmente los neutrófilos viajarán hacia zonas con procesos inflamatorios, como puede ser la infección. Sus usos son:

- Artroplastia dolorosa
- Infección musculoesquelética

2.2.1. Artroplastia dolorosa: la gammagrafía ósea con leucocitos marcados es la prueba de elección para el diagnóstico de infección periprotésica (Figura 1). La ventaja de este procedimiento es que los neutrófilos marcados se depositarán solo en lugares donde haya un proceso inflamatorio, por lo tanto, será una prueba ca-

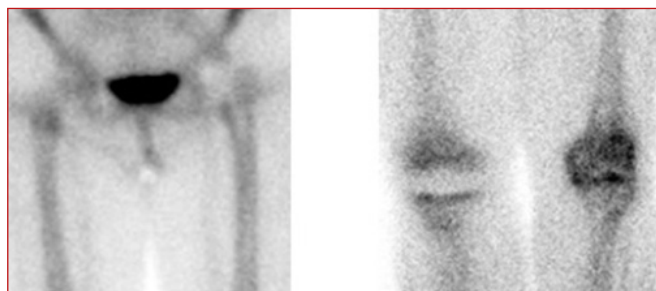


Figura 1. Gammagrafía ósea con leucocitos marcados positiva en artroplastia de rodilla izquierda por encima de 1 año postcirugía.

paz de diferenciar entre el aflojamiento aséptico (no hay inflamación ni infección) del séptico (Figura 2). Su sensibilidad y especificidad están ampliamente discutidas en la literatura y aunque no existen cifras claras, su valor en la patología protésica es claro y predominante⁽²⁾.

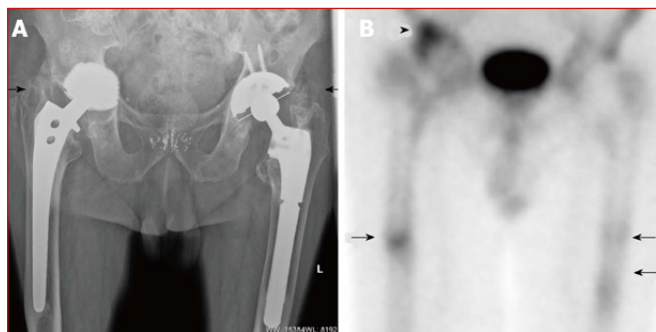


Figura 2. Gammagrafía ósea con leucocitos marcados positiva en artroplastia de cadera bilateral.

2.2.2. Infección musculoesquelética: cobra importancia el uso de la gammagrafía ósea con leucocitos marcados en la osteomielitis, de la mano de otras pruebas capaces de estudiar la zona medular del interior de los huesos como la RMN para aumentar la precisión. Tras las fracturas, es normal una captación en gammagrafía convencional de hasta 2 años, momento en el que la marcación de leucocitos juega un papel crucial para poder diferenciar la remodelación normal de la infección. Como desventaja, es un proceso laborioso que requiere de una infusión de leucocitos sobre un paciente con una infección concurrente y además, es una prueba que requiere un consumo de tiempo importante.

2.3. Gammagrafía ósea con Galio-67

Su mecanismo de captación es a través de los receptores de transferrina, reactante de fase aguda que se ve aumentado en los procesos inflamatorios/infecciosos. Sus principales usos son:

- Artroplastia dolorosa
- Patología de columna vertebral (Figura 3)



Figura 3. Gammagrafía con Ga-67 en linfoma con extensión a columna vertebral torácica.

2.3.1. Artroplastia dolorosa: la gammagrafía ósea con Galio-67 es una prueba que ha caído en desuso para el diagnóstico de la infección periprotésica porque no solo existía captación en las artroplastias infectadas sino también en el periodo postoperatorio inmediato, en aflojamientos asépticos, fracturas y reacciones del hueso al contacto con el cemento. Además, los efectos adversos al galio han sido descritos con frecuencia, así como mayor cantidad de reacciones alérgicas.

2.3.2. Patología de la columna vertebral: la gammagrafía ósea con Galio-67 parece ser la prueba más sensible para detectar infecciones primarias, así como postquirúrgicas, y para distinguir entre una celulitis y una osteomielitis vertebral.

Por otro lado, otra de sus principales ventajas es que permite hacer diagnósticos en aquellos pacientes inmunocomprometidos donde no existen neutrófilos circulantes para realizar una gammagrafía con leucocitos marcados, hecho que mantiene a las pruebas con galio dentro de los estudios de imagen con utilidad en la cirugía ortopédica.

3. PET/TC

Se trata de una técnica de imagen molecular en la que se inyecta un radiofármaco intravenoso que emite positrones. Estos positrones interactúan con los electrones de los tejidos y emiten radiación que capta el escáner PET. De esta manera se puede ver qué zonas del cuerpo están más activas metabólicamente.

En cirugía ortopédica utilizamos 3 trazadores principalmente:

- **Fluorodesoxiglucosa marcada con flúor-18 (18F-FDG):** es un análogo de la glucosa y se trata del trazador más utilizado para estudios de infecciones musculoesqueléticas.
- **Fluoruro de sodio marcado con flúor-18 (18F-NaF):** se une a la hidroxiapatita y un valor elevado indica un aumento de la actividad osteoblástica y del remodelado óseo.
- **Citrato de Galio 68 (68-Ga):** es un análogo del hierro y se une a la transferrina, siendo útil para estudiar patología inflamatoria o determinados tumores óseos.

Las principales indicaciones del PET/TC son:

- Evaluación de tumores óseos primarios y metastásicos
- Diagnóstico de infecciones óseas y periprotésicas
- Estudio de pseudoartrosis
- Fracturas de estrés
- Integración del injerto óseo

3.1. Tumores musculoesqueléticos

El PET/TC permite obtener imágenes detalladas de la actividad metabólica de los tejidos, junto con información anatómica precisa. El uso del PET-TAC en oncología musculoesquelética nos permite realizar:

3.1.1. Evaluación de tumores óseos primarios: en detección y estadificación de tumores óseos primarios, como el osteosarcoma y el sarcoma de Ewing (Figura 4).

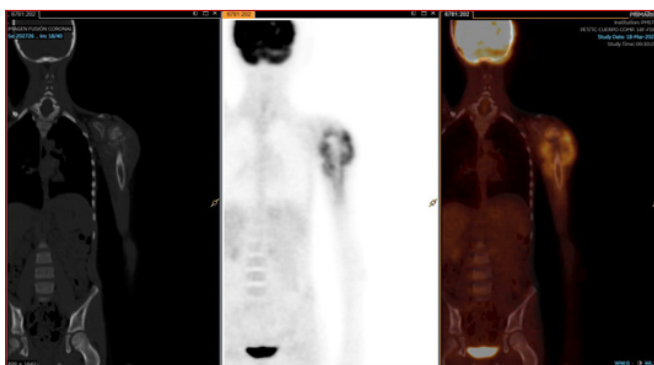


Figura 4. PET/TAC con aumento de captación en húmero proximal izquierdo de características malignas compatible con la sospecha diagnóstica de osteosarcoma de húmero proximal izquierdo.

3.1.2. Detección de metástasis: el PET/CT con 18F-FDG es más sensible que la gammagrafía ósea en la detección de metástasis óseas, especialmente en carcinomas primarios que desarrollan metástasis osteolíticas. Sin embargo, su sensibilidad puede ser reducida

en metástasis osteoblásticas, como las originadas en cáncer de próstata o mama. En estos casos, el PET/CT con $^{18}\text{F-NaF}$ puede ser más eficaz, ya que refleja la actividad de remodelación ósea.

3.1.3. Diferenciación entre lesiones benignas y malignas

3.1.4. Valoración de la respuesta al tratamiento

3.2. Infecciones musculoesqueléticas

El trazador de PET más utilizado en infecciones es la $^{18}\text{F-FDG}$. Se trata de un análogo de la glucosa que, al ser administrado, es captado por las células a través de transportadores de glucosa en la membrana celular. Una vez dentro de la célula, la $^{18}\text{F-FDG}$ es fosforilada y se acumula dentro de las células permitiendo su detección mediante el PET. Esta prueba presenta alta sensibilidad, pero baja especificidad para el diagnóstico de infecciones ya que esta también es positiva en procesos inflamatorios⁽⁴⁾. Sus utilidades clínicas principales son:

3.2.1. Osteomielitis crónica: muy útil cuando hay dudas con otras técnicas como la RM o gammagrafía.

3.2.2. Espondilodiscitis

- Sirve para la diferenciación entre cambios degenerativos y verdaderas infecciones.
- Presenta una alta sensibilidad y especificidad (alrededor del 90-95%).
- Complemento valioso cuando la RM es inconclusa o no viable.

3.2.3. Infección protésica

- Puede ayudar a detectar infecciones en prótesis de cadera o rodilla, siendo una herramienta más utilizada para el diagnóstico infecciones de prótesis de cadera ya que la rodilla se ha visto asociada a un mayor proceso inflamatorio postoperatorio.
- Útil especialmente cuando otras técnicas no son concluyentes.
- La principal limitación que presenta son los falsos positivos que puede tener por inflamación postoperatoria o aflojamiento aséptico, por ello se presenta un mejor rendimiento cuando la prueba se realiza ≥ 6 meses postcirugía⁽⁵⁾.

3.2.4. Pie diabético

- Diferencia entre infección de tejidos blandos y osteomielitis.

- Nos ayuda a decidir un tratamiento quirúrgico o conservador.

3.2.5. Infección en fracturas o implantes

- Diferencia entre infección activa y curación ósea.
- Localiza el foco de captación de FDG en función de si se encuentra en la línea de fractura o en la periferia para distinguir ambas situaciones.

4. PET/RNM

Se trata de una técnica híbrida que combina la información funcional del PET y la estructural de la resonancia magnética.

Permite una mejor visualización de tejidos blandos y se ha visto su utilidad en estadios iniciales de la artrosis. Presenta una menor exposición a radiación de manera que sería beneficioso para pacientes pediátricos⁽⁶⁾.

5. SPECT Y SPECT/TC

El SPECT (Tomografía Computarizada por Emisión de Fotón Único) es una tomografía tridimensional que usa radionúclidos emisores gamma (como Tc-99m) que ayuda a diferenciar lesiones superpuestas en la gammagrafía planar.

La combinación de SPECT y TC permite la fusión de información funcional y anatómica, mejorando la precisión diagnóstica. El SPECT/TC resulta útil principalmente en:

- Infecciones musculoesqueléticas
- Evaluación de metástasis óseas
- Fracturas ocultas, lesiones por estrés
- Enfermedades articulares y degenerativas⁽⁷⁾
- Diferenciación entre infección e inflamación crónica en enfermedades como la artropatía de Charcot

5.1. Infecciones musculoesqueléticas

Su principal uso recae en la **osteomielitis**, combinándose con leucocitos con indio-111 (^{111}In) y coloide de azufre marcado con tecnecio-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), mejora por tanto la precisión diagnóstica. También puede utilizarse en el estudio de las infecciones en prótesis articulares.

Como conclusión, el conocimiento de todas estas modalidades de pruebas de imagen confiere al cirujano ortopédico la habilidad para llegar a diagnósticos que por otras vías serían difíciles o dudosos, y por ello su aprendizaje es fundamental, así como su aplicación en casos adecuados y bien seleccionados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ibaseta A, Emara A, Pasqualini I, Jevnikar B, Colak C, Turan O, *et al*. Nuclear Imaging in Orthopaedic Practice: A Critical Analysis Review. *JBJS Rev*. 2024 Sep 16;12(9). DOI:10.2106/JBJS.RVV.24.00090 PMID: 39283958.
2. Pinski JM, Chen AF, Estok DM, Kavolus JJ. Nuclear Medicine Scans in Total Joint Replacement. *J Bone Joint Surg Am*. 2021 Feb 17;103(4):359-72. DOI:10.2106/JBJS.20.00301 PMID: 33369983.
3. Puleo JM, Murtaza H, Thibodeau RM, Acosta EM, Cooley MR, DiCaprio MR. The role of positron emission tomography in the evaluation and management of musculoskeletal lesions—a narrative review. *Ann Jt*. 2025 Jan 21;10:8. DOI:10.21037/aoj-24-26 PMID: 39981426; PMCID: PMC: 11840359.
4. Love C, Palestro CJ. Nuclear medicine imaging of bone infections. *Clin Radiol*. 2016;71(7):632-46. DOI:10.1016/j.crad.2016.03.007
5. Kwee RM, Kwee TC. 18F-FDG PET for Diagnosing Infections in Prosthetic Joints. *PET Clin*. 2020 Apr;15(2):197-205. DOI:10.1016/j.cpet.2019.11.005 PMID: 32145890.
6. Kogan F, Broski SM, Yoon D, Gold GE. Applications of PET/MRI in Musculoskeletal Disease. *PET Clin*. 2020;15(2):267-84. DOI:10.1016/j.cpet.2019.12.002
7. Koppula BR, Morton KA, Al-Dulaimi R, Fine GC, Damme NM, Brown RKJ. SPECT/CT in the Evaluation of Suspected Skeletal Pathology. *Semin Nucl Med*. 2021;51(1):61-72. DOI:10.1053/j.semnuclmed.2020.08.004