

Contribución de las técnicas de medicina nuclear en sarcomas de partes blandas y de los huesos: PET-TC y PET-RM. Futuro del diagnóstico por imagen

M. N. CABRERA MARTÍN, A. ORTEGA CANDIL, J. L. CARRERAS DELGADO

Servicio de Medicina Nuclear. Hospital Clínico San Carlos. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid. Instituto de Investigación Sanitaria San Carlos. Madrid

RESUMEN

Los sarcomas son un grupo heterogéneo de tumores sólidos de origen mesenquimal muy poco frecuentes, con rasgos clínicos y patológicos diferentes. Los equipos multimodalidad PET-TC y PET-RM resultan de gran utilidad en la evaluación de estos tumores.

En los sarcomas de partes blandas, la PET-TC ^{18}F -FDG es de mayor utilidad en aquellos que metastatizan en hueso, retroperitoneo, o en los que presentan mayor probabilidad de metástasis ganglionares, con mayor aportación en tumores de alto grado de malignidad, de gran tamaño y localización profunda. La principal indicación en los sarcomas óseos sería la estadificación de los cordomas, la estadificación, respuesta a quimioterapia neoadyuvante y seguimiento del sarcoma de Ewing y del osteosarcoma.

La posibilidad de combinar la RM y la PET en los equipos multimodalidad de PET-RM puede tener un gran impacto en la estadificación de los sarcomas y evitar a los pacientes las radiaciones ionizantes.

PALABRAS CLAVE: Sarcomas óseos. Sarcomas de partes blandas. PET-TC ^{18}F -FDG. PET-RM ^{18}F -FDG.

INTRODUCCIÓN

Los sarcomas son un grupo heterogéneo de tumores sólidos de origen mesenquimal muy poco frecuentes, con rasgos clínicos y patológicos diferentes, que se dividen en dos grandes categorías: los sarcomas de partes blandas y los sarcomas óseos (1).

La localización anatómica de los sarcomas de partes blandas es una variable muy importante que influye en el tratamiento y en la evolución de estos.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se han descrito más de 50 subtipos histológicos

ABSTRACT

Sarcomas are an heterogeneous group of rare tumors of mesenchymal origin, with different clinical and pathological features. PET-CT and PET-MRI multimodality techniques are very useful in the evaluation of these tumors.

In soft tissue sarcomas, PET-CT ^{18}F -FDG is more useful in those that metastasize to bone, retroperitoneum, or in those that have a higher probability of lymph node metastasis, with greater contribution in tumors with a high degree of malignancy, large size and deep location. The main indication in bone sarcomas is staging of chordomas, response to neoadjuvant chemotherapy and monitoring response of Ewing's sarcoma and osteosarcoma.

The possibility of combining MRI and PET in multimodality PET-MRI equipment can have a great impact on the staging of sarcomas and avoid ionizing radiation for patients.

KEY WORDS: Bone sarcomas. Soft tissue sarcomas. ^{18}F -FDG PET-CT. ^{18}F -FDG PET-MRI.

de sarcomas de partes blandas. Estos tumores suponen un reto diagnóstico y terapéutico, dado que cada uno de ellos tiene diferente comportamiento clínico, así como pronóstico y tratamiento (2).

Los tumores óseos más frecuentes son los osteosarcomas, seguidos de los condrosarcomas y los sarcomas de Ewing. Otros tumores óseos menos frecuentes son los sarcomas pleomórficos indiferenciados de alto grado, fibrosarcomas, cordomas y tumores de células gigantes.

Los equipos multimodalidad de tomografía por emisión de positrones (PET) y tomografía computarizada (TC) o resonancia magnética (RM) emplean fluorodesoxi-D-glucosa

sa marcada con ^{18}F (^{18}F -FDG), y combinan la información de carácter metabólico o funcional de la PET con la de carácter anatómico o estructural de la TC/RM. De igual manera, permiten un diagnóstico óptimo en múltiples tumores sólidos. Esta técnica ha demostrado una gran utilidad en la evaluación de los sarcomas en múltiples trabajos publicados.

SARCOMAS DE PARTES BLANDAS

ESTADIFICACIÓN INICIAL

Hay muy pocos trabajos en la bibliografía que evalúen el impacto de incorporar la PET-TC ^{18}F -FDG en la estadificación inicial de los sarcomas. Hay que tener en cuenta que se trata de un grupo heterogéneo de tumores, muy poco frecuentes, que comprenden una gran variedad de subtipos histológicos (3).

Aunque no está claramente establecida la indicación de esta técnica en la estadificación de cada subtipo de sarcoma, en las guías de la NCCN (The National Comprehensive Cancer Network) se sugiere su posible utilidad en la estadificación, evaluación pronóstica, determinación del grado tumoral, seguimiento y valoración de la respuesta a la quimioterapia neoadyuvante (4).

Con los datos publicados hasta hoy, parece recomendable la realización de PET-TC ^{18}F -FDG en aquellos sarcomas con mayor tendencia a metastatizar en hueso o en retroperitoneo, como el liposarcoma mixoide, el sarcoma de células redondas y el leiomiomasarcoma, o en los que tienen mayor probabilidad de metástasis ganglionares, como el sarcoma epitelioides, sarcoma sinovial, rabdomiosarcoma, angiosarcoma y sarcoma de células claras (Fig. 1). Los pacientes con estos subtipos de sarcomas, y sobre todo los que presentan tumores de alto grado de malignidad, los de gran tamaño (mayores de 3 centímetros) y los de localización profunda, son los que más pueden beneficiarse de una estadificación completa con PET-TC (2).

La aportación fundamental de la PET-TC ^{18}F -FDG en la estadificación ganglionar recae en su elevado valor predictivo negativo, que oscila entre el 92-100%. Por tanto, nos permite con una elevada fiabilidad descartar afectación ganglionar cuando el estudio resulta negativo.

Hay que tener en cuenta que existen algunas limitaciones de la técnica en la evaluación de lesiones de pequeño tamaño (menores de 4-5 milímetros), en lesiones derivadas de subtipos histológicos con escasa avidéz por la ^{18}F -FDG (tumores desmoides, sarcomas del nervio periférico o liposarcomas) y lesiones próximas a áreas de captación fisiológica, como el miocardio o las vías urinarias (2).

La PET-TC ha demostrado ser superior a la gammagrafía ósea para la detección de metástasis óseas en cuanto a sensibilidad y, fundamentalmente, en cuanto a su especificidad. Asimismo, es capaz de visualizar tanto

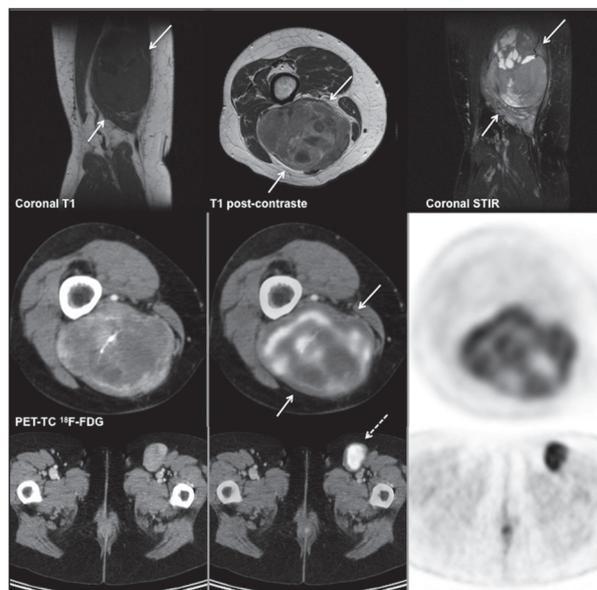


Fig. 1. Mujer de 58 años con sarcoma sinovial monofásico grado 3 pT2b entre los músculos de compartimentos medio y posterior del muslo derecho, que se señala con flechas continuas (secuencias T1, postcontraste y STIR de RM, así como cortes transversales de PET-TC ^{18}F -FDG, en los que se aprecia depósito patológico de ^{18}F -FDG). En el estudio de estadificación inicial con PET-TC se observó captación patológica en una adenopatía inguinal izquierda metastásica (flecha blanca discontinua).

las lesiones intramedulares como las lesiones de naturaleza lítica. Por otra parte, el componente TC de la PET-TC permite la identificación de las lesiones blásticas.

La capacidad de esta técnica para detectar metástasis óseas es similar a la RM, pero ambas son superiores a la TC y a la gammagrafía ósea.

Una de las limitaciones de la PET ^{18}F -FDG es su limitada sensibilidad para la detección de nódulos pulmonares subcentimétricos, pero en los últimos años esta limitación se ha minimizado por el empleo de equipos PET-TC de última generación, con TC de dosis diagnóstica, con protocolo pulmonar inspiratorio y administración de contraste yodado intravenoso (Fig. 2).

No obstante, no se puede descartar malignidad en aquellos nódulos pulmonares sospechosos en TC que no muestren captación patológica en PET y sobre todo en aquellos casos en que no se conozca la avidéz del tumor primario por la ^{18}F -FDG (2).

RESPUESTA AL TRATAMIENTO

Algunos estudios sugieren que la PET-TC ^{18}F -FDG puede ser una herramienta fiable en la determinación de la respuesta a la neoadyuvancia. Así, en el trabajo de Quak, un descenso mayor o igual al 40% del Standardi-

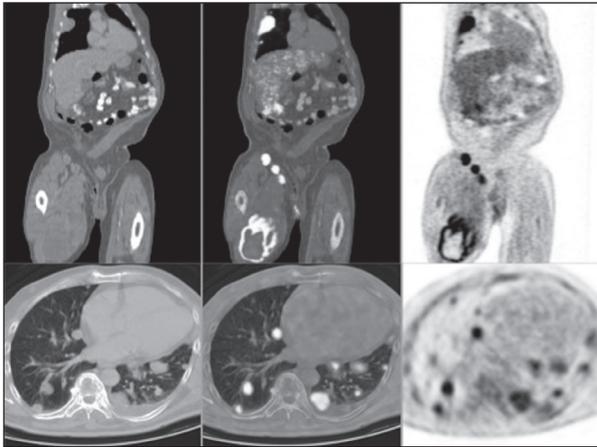


Fig. 2. Varón de 66 años con sarcoma pleomórfico en el musculo derecho. En las imágenes PET-TC ^{18}F -FDG, además de la tumoración primaria con captación patológica de ^{18}F -FDG e hipometabolismo central en relación con necrosis, se observó afectación ganglionar inguinal derecha y múltiples metástasis pulmonares.

zed Uptake Value máximo (SUVmax) del tumor tras la quimioterapia neoadyuvante predijo de forma independiente menor riesgo de recidiva y muerte tras resección completa y radioterapia, con una supervivencia libre de enfermedad (SLE) a 5 años del 80% frente al 40% en los pacientes que mostraban un descenso menor (5).

Asimismo, hay evidencia de que los criterios metabólicos tienen una mayor eficacia que los criterios RECIST en la respuesta a la quimioterapia (6,7) y el 35% tras el primer ciclo de quimioterapia es un buen predictor de respuesta histopatológica (7).

En el trabajo de Herrmann, los pacientes con una respuesta metabólica precoz (descenso del SUVmax superior al 26%), tras un ciclo de quimioterapia o los que alcanzaron una respuesta metabólica tardía (descenso del SUVmax mayor del 57% al final del tratamiento), mostraban mejor supervivencia que los que lo presentaban inferior (8).

DETECCIÓN DE RECIDIVAS

La PET-TC ^{18}F -FDG es más sensible y específica que la TC y la RM en la detección de recidivas de sarcomas de partes blandas, aunque sin olvidar que la RM con gadolinio es superior en la identificación de recidivas locales (9,10).

EVALUACIÓN PRONÓSTICA

Hay evidencia de la aportación de la PET-TC ^{18}F -FDG en la determinación del pronóstico de los pacientes y se ha visto la correlación con la supervivencia global en los sarcomas de alto grado (3).

TRANSFORMACIÓN MALIGNA

La PET-TC ^{18}F -FDG puede predecir la transformación maligna de los neurofibromas plexiformes en niños con neurofibromatosis de tipo 1 (NF-1). El SUVmax de los neurofibromas plexiformes fue significativamente menor que los tumores malignos de la vaina del nervio periférico. Un valor de corte de SUVmax de 4 mostraba una sensibilidad y especificidad del 100% y 94% para la diferenciación de lesiones benignas y malignas en el trabajo de Tsai (11).

TUMORES DEL ESTROMA GASTROINTESTINAL (GIST)

Los tumores del estroma gastrointestinal (GIST) merecen una mención especial en el grupo de los sarcomas de partes blandas. Se trata de tumores que pueden presentarse en cualquier parte del tracto gastrointestinal, aunque el estómago y el intestino delgado son las localizaciones más comunes.

La PET-TC ^{18}F -FDG juega un papel importante en la diferenciación de tumor activo y necrosis o tejido cicatricial y en la detección de recidivas. Esta técnica resulta de utilidad en los casos dudosos con TC o RM o para determinar posible extensión metastásica en pacientes candidatos a intervención quirúrgica. Además, la PET tiene un valor adicional a la TC, dado que generalmente en estos tumores el cambio metabólico precede a los cambios estructurales.

En los casos en que los clínicos decidan hacer el seguimiento de estos pacientes con PET, debe realizarse un estudio basal para poder monitorizar el cambio metabólico. La PET-TC también puede ser de utilidad en la evaluación precoz del tratamiento con imatinib (4).

SARCOMAS ÓSEOS

ESTADIFICACIÓN INICIAL

Las guías de la NCCN para tumores óseos se centran en cinco subtipos histológicos, que son el cordoma, condrosarcoma, tumores de la familia del sarcoma de Ewing, tumores de células gigantes y osteosarcomas. La principal indicación de la PET-TC ^{18}F -FDG sería la estadificación de los cordomas, la estadificación, respuesta a neoadyuvancia y seguimiento del sarcoma de Ewing y el osteosarcoma.

Condrosarcomas

Son tumores condrogénicos óseos o de tejidos blandos, considerados de bajo grado según los criterios de gradación histológica de Evans y cols. (12).

Arsos consideró que se trataba de “una diana difícil para la imagen con radionúclidos” (13).

Hay varias publicaciones de tumores musculoesqueléticos, en las que se incluye el condrosarcoma, pero solo dos trabajos estudian a pacientes con condrosarcoma de forma aislada (14,15).

Aoki y cols. en un grupo de seis pacientes encontraron correlación entre el SUV y el grado tumoral, así como diferencias significativas en el SUV entre tumores cartilagosos benignos y condrosarcomas. Los valores de SUV bajos podrían estar justificados por baja actividad metabólica del tejido cartilaginoso.

En el trabajo de Brenner había diferencias estadísticamente significativas de captación entre los grados I, II y III y concluían que los grados II y III y valores de SUV-max superior a 4 predecían un mayor riesgo de recidiva.

Cordomas

Son tumores que derivan de restos embrionarios de la notocorda, más comunes en adultos. Son más frecuentes en esqueleto axial: sacro (50-60%), base de cráneo (25-35%) y columna vertebral (15%). Tienen un curso clínico agresivo y la presentación clínica más común es de dolor, radiculopatías, obstrucción de vía aérea y disfagia en los cervicales.

Entre los métodos diagnósticos, la PET-TC ^{18}F -FDG ha mostrado su utilidad en la estadificación inicial.

Tumor de células gigantes

Generalmente son clasificados como lesiones benignas. La localización más frecuente es el fémur distal y tibia proximal y tienen una gran tendencia a las recidivas locales (50% de los casos). Estos tumores presentan en ocasiones transformación a osteosarcomas de alto grado y pueden metastatizar al pulmón.

Generalmente muestran captación de FDG, principalmente atribuible a un aumento de vascularización y aumento de transporte de glucosa. Los datos de la cinética de la ^{18}F -FDG muestran una estrecha correlación de los valores cuantitativos de la ^{18}F -FDG y la expresión de genes relacionados con la angiogénesis.

Osteosarcomas

Derivan de células mesenquimales primitivas del hueso, más raramente de tejidos blandos. Es el tumor óseo primario más frecuente en niños y adolescentes. La localización más común es la metáfisis de huesos largos (fémur distal, tibia proximal, húmero proximal y rodillas).

Muestran una elevada probabilidad de metastatizar, en el 80% de los casos a pulmón. Las metástasis más raras son las óseas o ganglionares (16) (Fig. 3).

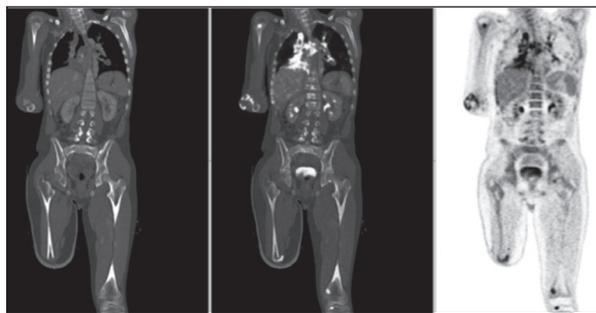


Fig. 3. Varón de 15 años con osteosarcoma en pierna derecha operado. Se realizó PET-TC por sospecha de progresión de enfermedad, en la que se observó afectación ganglionar mediastínica e hilar y múltiples metástasis pulmonares y óseas.

No es la técnica de elección en la caracterización del tumor primario, que corresponde con la radiografía y con la RM.

La imagen radiológica característica de las metástasis pulmonares de osteosarcoma son las lesiones múltiples, grandes, a veces osificadas.

La PET puede presentar una baja sensibilidad en la detección de nódulos pulmonares pequeños, que se incrementa con el uso de los nuevos equipos multimodalidad de PET-TC, como ya hemos comentado anteriormente.

En el trabajo de Cistaro y cols., la PET-TC ^{18}F -FDG encontró una elevada sensibilidad, especificidad y valores predictivo positivo y negativo (90,3%, 87,5%, 87,5% y 90,3%, respectivamente) en la determinación de benignidad/malignidad de nódulos confirmados por biopsia, y establecen un SUVmax superior a 1 como valor fiable para diferenciar lesiones malignas de benignas (17).

Hay escasos estudios de detección de lesiones óseas metastásicas en pacientes con osteosarcoma, aunque en los publicados hasta el momento se encuentra una elevada sensibilidad en la detección de las mismas.

Un amplio trabajo en el que se analizaron 412 lesiones en 64 pacientes pediátricos (20 osteosarcomas y 44 sarcomas Ewing) mostró una mayor eficacia diagnóstica de la PET-TC ^{18}F -FDG para detección de lesiones óseas respecto a TC y RM (95% vs. 67% para TC y 86% para la RM) y fue complementaria a la TC en la evaluación de nódulos pulmonares (sensibilidad 84% vs. 94%; especificidad 79% vs. 71%).

La PET-TC tuvo un elevado impacto diagnóstico en 21 de 44 pacientes con sarcoma de Ewing y en 9 de 20 con osteosarcoma (18).

La PET y la PET-TC fueron superiores a la gammagrafía ósea y métodos diagnósticos convencionales en la detección de metástasis óseas en la revisión de Quartuccio y cols. (16).

El tratamiento habitual de los osteosarcomas consiste en administración de quimioterapia neoadyuvante, cirugía y tratamiento quimioterápico posterior. La respuesta histológica al tratamiento neoadyuvante en un buen indicador pronóstico (19) y en la bibliografía publicada se ha encontrado una fuerte correlación entre la reducción del metabolismo de la glucosa tras tratamiento y el grado histológico tras neoadyuvancia (20-22).

La diferencia del SUV postneoadyuvancia y el SUV preneoadyuvancia (SUV_{max2}/SUV_{max1}) es buen predictor de respuesta histológica (23). Sin embargo, el metaanálisis de Hongtao indica una mayor fiabilidad del $SUV2 < 2,5$ (sensibilidad 73%, especificidad 86%) que el $SUV2/SUV1 < 0,5$ (sensibilidad 69%, especificidad 65%) para determinar el grado de respuesta (24).

El grupo de Cheon propuso un árbol de decisión para la predicción de respuesta histológica a la quimioterapia neoadyuvante en estos tumores, basado en el SUV_{max} en el estudio posneoadyuvancia ($SUV2$) y el índice de cambio de volumen metabólico, calculado como el producto del índice de cambio del SUV ($SUV2/SUV1$) y el índice de cambio de volumen tumoral (VT tras QT/VT antes de quimioterapia).

Consideraron buenos respondedores a los pacientes cuyo valor de $SUV2$ era inferior a 2, malos respondedores a los que mostraban $SUV2$ mayor de 5 y cuando se encontraban en ese intervalo, eran buenos respondedores aquellos con índice de cambio del volumen metabólico inferior a 0,65.

Los valores predictivos de este modelo de respuesta para buenos y malos respondedores fue del 97% (31/32) y 95% (36/38) respectivamente (25).

En la revisión sistemática de Caldarella, a pesar de la heterogeneidad metodológica, la PET y la PET-TC ^{18}F -FDG mostraron una gran sensibilidad y fiabilidad en la evaluación de respuesta de pacientes con osteosarcoma. En la mayoría de los pacientes, la respuesta metabólica predecía mejor que el cambio morfológico una buena respuesta histológica, elevado intervalo libre de progresión y mayor supervivencia global (26).

Por otra parte, Byun y cols. sugirieron que cuando se asociaba el volumen metabólico tumoral (VMT) previo a la neoadyuvancia y la respuesta histológica, se predecía mejor el tiempo de supervivencia de los pacientes, que cuando se empleaba únicamente la respuesta histológica (27).

Otro estudio del mismo grupo mostró que la combinación de la PET-TC ^{18}F -FDG y la RM de difusión, cuando se empleaban el SUV y el coeficiente de difusión aparente (ADC) de forma conjunta, presentaban la mejor predicción de respuesta histológica tras neoadyuvancia, que otros biomarcadores de forma aislada (28).

Se han realizado pocos estudios tras finalización del tratamiento del osteosarcoma, pero en los publicados hasta el momento se muestra una gran eficacia en la detección de recidiva y permiten una buena diferenciación de los cambios postratamiento (28-30), con unos

valores excelentes de sensibilidad y especificidad (95% y 97% respectivamente) y elevados valores predictivo positivo y negativo (97% y 87,5%) (31).

Un dato que es importante mencionar es la posible persistencia de captación de FDG en la zona de cirugía hasta tres años después del tratamiento, pero un valor persistentemente elevado de SUV_{max} con incremento del valor de SUV a lo largo del tiempo predice un mayor riesgo de recidiva local (32).

TUMORES DE LA FAMILIA DEL SARCOMA DE EWING

Son un grupo de neoplasias de células redondas pequeñas que incluyen al sarcoma de Ewing, tumor neuroectodérmico primitivo, tumor de Askin, tumor neuroectodérmico primitivo óseo y sarcoma de Ewing extraóseo. Típicamente se da en adolescentes y adultos jóvenes, y las localizaciones más frecuentes son en huesos pélvicos, fémur y pared torácica. Cuando ocurre en huesos largos, es más común en la diáfisis. Cursan con dolor y tumefacción, ocasionalmente fiebre, pérdida de peso y fatiga.

La estadificación local del tumor primario corresponde fundamentalmente a la RM y tradicionalmente se han realizado otras exploraciones (TC torácica, gammagrafía ósea y biopsias y aspirados de médula ósea). Sin embargo, recientemente se ha demostrado ampliamente la utilidad de la PET-TC ^{18}F -FDG en la estadificación y seguimiento de estos tumores (33-35) y las guías de la NCCN incorporan la realización de esta técnica multimodalidad en diferentes momentos de la enfermedad (36) (Fig. 4).

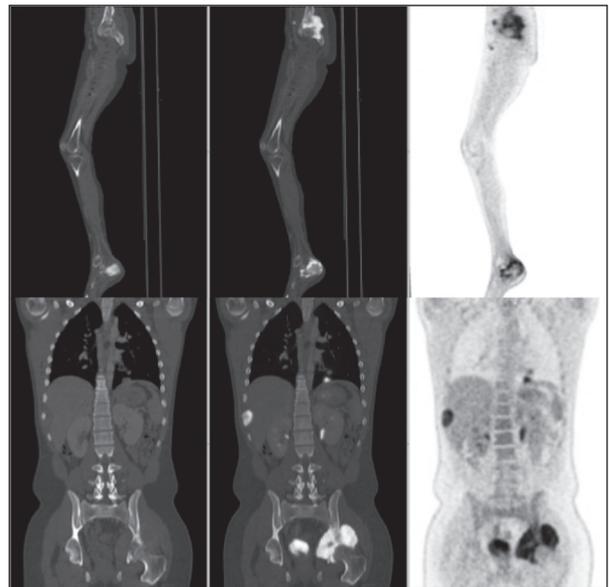


Fig. 4. Varón de 14 años con sarcoma de Ewing en calcáneo izquierdo. En el estudio PET-TC ^{18}F -FDG se observó extensa enfermedad metastásica ganglionar, pulmonar, hepática y ósea.

El trabajo de Newman y cols. mostró que la PET-TC ^{18}F -FDG es buen indicador tanto de metástasis esqueléticas como en médula ósea, con alta concordancia con la gammagrafía ósea (98%) (36).

El metaanálisis de Treglia y cols. sobre la exactitud diagnóstica de la PET-TC en los tumores de la familia del sarcoma de Ewing mostró unos elevados valores de sensibilidad y especificidad global en la estadificación de los mismos (96 y 92% respectivamente) (37).

Además, la PET ^{18}F -FDG mostró su superioridad frente a la gammagrafía ósea y a la RM en la detección de metástasis óseas.

El sarcoma de Ewing tiende a invadir la médula ósea, a diferencia del osteosarcoma (hueso mineralizado), por lo que es de enorme interés la realización de esta técnica en la estadificación ósea, con clara superioridad frente a la gammagrafía.

Sin embargo, la correlación con la respuesta histológica no es tan clara como en el osteosarcoma (24,38-40).

PET-RM. FUTURO DEL DIAGNÓSTICO POR IMAGEN EN SARCOMAS

La posibilidad de combinar la RM, con un excelente contraste en tejidos blandos y parámetros funcionales de la RM y la PET, en los equipos multimodalidad de PET-RM puede tener un gran impacto en la estadificación de los sarcomas (41).

Las indicaciones de la PET-RM son en principio las mismas que las de la PET-TC, teniendo en cuenta que los casos en que la RM es superior a la TC, la PET-RM también será superior a la PET-TC (42).

La RM y la PET-TC con ^{18}F -FDG son usadas rutinariamente en el estudio de los sarcomas.

La RM con gadolinio es la técnica de elección para la caracterización de sarcomas óseos y de partes blandas, muestra un mejor contraste de tejidos blandos y permite la identificación de la extensión a tejidos blandos y estructuras neurovasculares y afectación medular, con un papel único en la planificación de tratamiento y seguimiento (43).

De forma adicional, muestra la enorme ventaja de no exponer a los pacientes a radiaciones ionizantes, lo cual tiene un especial interés en la población joven y en edad pediátrica (41).

La PET-TC ^{18}F -FDG, como ya se ha comentado anteriormente, muestra una elevada sensibilidad en la detección de metástasis a distancia en sarcomas de alto grado y permite la evaluación de respuesta metabólica a la neoadyuvancia.

La técnica multimodalidad PET-RM ^{18}F -FDG, por tanto, resulta de enorme utilidad en la estadificación de este tipo de tumores, y permite ahorrar tiempo en el diagnóstico y estadificar en una única prueba la enfermedad local y a distancia. Esta exploración tiene su principal indicación

en la población pediátrica, dado que los niños son más susceptibles a la radiación. Se ha determinado que una dosis acumulada de radiación de 50-100 mSv puede incrementar el riesgo de desarrollar tumores secundarios o radioinducidos, como leucemia o tumores cerebrales (44,45).

Los estudios PET-RM publicados hasta el momento muestran especial aportación de la PET-RM en los linfomas y sarcomas pediátricos (45-49).

En un interesante trabajo publicado recientemente sobre sarcomas de partes blandas con PET-RM ^{18}F -FDG se realizó un análisis multiparamétrico basado en *voxels* del SUV y el ADC y mostró en el *scatter plot* una fuerte correlación inversa entre ambos biomarcadores y una amplia heterogeneidad tanto del SUV como del ADC. El mejor área bajo la curva (ABC) *Receiving Operating Characteristics* (ROC) para la diferenciación entre sarcomas de alto grado y los de grado intermedio/bajo correspondió con el coeficiente de correlación de ambos parámetros (ABC de 0,79), con una sensibilidad del 96%, especificidad del 60% y exactitud diagnóstica del 85,7%, cuando se comparaba con el volumen tumoral, SUVmax, ADC mínimo o heterogeneidad (50).

CONCLUSIONES

Los pacientes con sarcomas con tendencia a metastatizar en hueso, en retroperitoneo, o aquellos con mayor probabilidad o metástasis ganglionares, y sobre todo los que presentan tumores de alto grado de malignidad, los de gran tamaño (mayores de 3 centímetros) y los de localización profunda, son los que más pueden beneficiarse de una estadificación completa. En los sarcomas óseos esta técnica presenta su mayor aportación en la estadificación de los cordomas y estadificación y reestadificación de los osteosarcomas de sarcomas de Ewing.

Hoy en día es muy importante agrupar las ventajas de la multimodalidad PET-TC y PET-RM, con una gran ventaja de esta última, dado que permite una óptima estadificación local y a distancia en un mismo estudio sin exponer al paciente a radiaciones ionizantes. No obstante, dado que los protocolos de los sarcomas no están aún bien establecidos para cada subtipo, y de acuerdo con la heterogeneidad y la escasa frecuencia de estos tumores, resulta fundamental la multidisciplinariedad de los comités de sarcomas a la hora de decidir la técnica idónea en cada paciente.

CORRESPONDENCIA:

María Nieves Cabrera Martín
Servicio de Medicina Nuclear
Hospital Clínico San Carlos
C/ Prof. Martín Lagos, s/n
28040 Madrid
e-mail: mncabreram@hotmail.com

BIBLIOGRAFÍA

1. Sheikhabaehi S, Marcus C, Hafezi-Nejad N, Taghipour M, Subramaniam RM. Value of FDG PET/CT in patient management and outcome of skeletal and soft tissue sarcomas. *PET Clin* 2015;10(3):375-93.
2. Rodríguez-Alfonso B, Mucientes J, Mitjavila M, Cardona J, Cubedo R. 18F-FDG-PET-CT in soft tissue sarcomas: When to image? *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol* 2014;33(1):43-9.
3. Harrison DJ, Parisi MT, Shulkin BL. The role of 18F-FDG-PET/CT in pediatric sarcoma. *Sem Nucl Med* 2017;47(3):229-41.
4. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines®). Soft Tissue Sarcoma. Version 1.2018-October 31; 2017.
5. Quak E, van de Luijngaarden AC, de Geus-Oei LF, van der Graaf WT, Oyen WJ. Clinical applications of positron emission tomography in sarcoma management. *Expert Rev Anticancer Ther* 2011;11(2):195-204.
6. Schwarzbach MH, Dimitrakopoulou-Strauss A, Willeke F, Hinz U, Strauss LG, Zhang YM, et al. Clinical value of [18F]fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging in soft tissue sarcomas. *Ann Surg* 2000;231(3):380-6.
7. Eary JF, O'Sullivan F, Powitan Y, Chandhury KR, Vernon C, Bruckner JD, et al. Sarcoma tumor FDG uptake measured by PET and patient outcome: a retrospective analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;29(9):1149-54.
8. Herrmann K, Benz MR, Czernin J, Allen-Auerbach MS, Tap WD, Dry SM, et al. 18F-FDG-PET/CT Imaging as an early survival predictor in patients with primary high-grade soft tissue sarcomas undergoing neoadjuvant therapy. *Clin Cancer Res* 2012;18(7):2024-31.
9. Schuetze SM. Utility of positron emission tomography in sarcomas. *Curr Opin Oncol* 2006;18(4):369-73.
10. Al-Ibraheem A, Buck AK, Benz MR, Rudert M, Beer AJ, Mansour A, et al. (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography for the detection of recurrent bone and soft tissue sarcoma. *Cancer* 2013;119(6):1227-34.
11. Tsai LL, Drubach L, Fahey F, Irons M, Voss S, Ullrich NJ. [18F]-Fluorodeoxyglucose positron emission tomography in children with neurofibromatosis type 1 and plexiform neurofibromas: correlation with malignant transformation. *J Neurooncol* 2012;108(3):469-75.
12. Evans HL, Ayala AG, Romsdahl MM. Prognostic factors in chondrosarcoma of bone: a clinicopathologic analysis with emphasis on histologic grading. *Cancer* 1977;40(2):818-31.
13. Arsos G, Vezelos I, Karatzas N, Koukoulidis A, Karakatsanis C. Low-grade chondrosarcomas: a difficult target for radionuclide imaging. Case report and review of the literature. *Eur J Radiol* 2002;43(1):66-72.
14. Aoki J, Watanabe H, Shinozaki T, Tokunaga M, Inoue T, Endo K. FDG-PET in differential diagnosis and grading of chondrosarcomas. *J Comput Assist Tomogr* 1999;23(4):603-8.
15. Brenner W, Conrad EU, Eary JF. FDG PET imaging for grading and prediction of outcome in chondrosarcoma patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004;31(2):189-95.
16. Quartuccio N, Treglia G, Salsano M, Mattoli MV, Muoio B, Piccardo A, et al. The role of fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in staging and restaging of patients with osteosarcoma. *Radiol Oncol* 2013;47(2):97-102.
17. Cistaro A, Lopci E, Gastaldo L, Fania P, Brach Del Prever A, Fagioli F. The role of 18F-FDG PET/CT in the metabolic characterization of lung nodules in pediatric patients with bone sarcoma. *Pediatr Blood Cancer* 2012;59(7):1206-10.
18. Quartuccio N, Fox J, Kuk D, Wexler LH, Baldari S, Cistaro A, et al. Pediatric bone sarcoma: diagnostic performance of 18F-FDG PET/CT versus conventional imaging for initial staging and follow-up. *AJR Am J Roentgenol* 2015;204(1):153-60.
19. Ferrari S, Bacci G, Picci P, Mercuri M, Briccoli A, Pinto D, et al. Long-term follow-up and post-relapse survival in patients with non-metastatic osteosarcoma of the extremity treated with neoadjuvant chemotherapy. *Ann Oncol* 1997;8(8):765-71.
20. Hawkins DS, Rajendran JG, Conrad EU 3rd, Bruckner JD, Eary JF. Evaluation of chemotherapy response in pediatric bone sarcomas by [F-18]-fluorodeoxy-D-glucose positron emission tomography. *Cancer* 2002; 94(12):3277-84.
21. Bredella MA, Caputo GR, Steinbach LS. Value of FDG positron emission tomography in conjunction with MR imaging for evaluating therapy response in patients with musculoskeletal sarcomas. *AJR Am J Roentgenol* 2002;179(5):1145-50.
22. Hamada K, Tomita Y, Inoue A, Fujimoto T, Hashimoto N, Myoui A, et al. Evaluation of chemotherapy response in osteosarcoma with FDG-PET. *Ann Nucl Med* 2009;23(1):89-95.
23. Denecke T, Hundsdoerfer P, Misch D, Steffen IG, Schönberger S, Furth C, et al. Assessment of histological response of paediatric bone sarcomas using FDG PET in comparison to morphological volume measurement and standardized MRI parameters. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2010;37(10):1842-53.
24. Hongtao L, Hui Z, Bingshun W, Xiaojin W, Zhiyu W, Shuier Z, et al. 18F-FDG positron emission tomography for the assessment of histological response to neoadjuvant chemotherapy in osteosarcomas: a meta-analysis. *Surg Oncol* 2012;21(4):e165-70.
25. Cheon GJ, Kim MS, Lee JA, Lee SY, Cho WH, Song WS, et al. Prediction model of chemotherapy response in osteosarcoma by 18F-FDG PET and MRI. *J Nucl Med* 2009;50(9):1435-40.
26. Caldarella C, Salsano M, Isgro MA, Treglia G. The role of Fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in assessing the response to neoadjuvant treatment in patients with osteosarcoma. *Int J Mol Imaging* 2012;2012:870301.
27. Byun BH, Kong CB, Park J, Seo Y, Lim I, Choi CW, et al. Initial metabolic tumor volume measured by 18F-FDG PET/CT can predict the outcome of osteosarcoma of the extremities. *J Nucl Med* 2013;54(10):1725-32.
28. Lucas JD, O'Doherty MJ, Wong JC, Bingham JB, McKee PH, Fletcher CD, et al. Evaluation of fluorodeoxyglucose positron emission tomography in the management of soft-tissue sarcomas. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80(3):441-7.
29. el-Zeftawy H, Heiba SI, Jana S, Rosen G, Salem S, Santiago JF, et al. Role of repeated F-18 fluorodeoxyglucose imaging in management of patients with bone and soft tissue sarcoma. *Cancer Biother Radiopharm* 2001;16(1):37-46.
30. Garcia R, Kim EE, Wong FC, Korkmaz M, Wong WH, Yang DJ, et al. Comparison of fluorine-18-FDG PET and technetium-99m-MIBI SPECT in evaluation of musculoskeletal sarcomas. *J Nucl Med* 1996;37(9):1476-9.
31. Sharma P, Khangembam BC, Suman KC, Singh H, Rastogi S, Khan SA, et al. Diagnostic accuracy of 18F-FDG PET/CT for detecting recurrence in patients with primary skeletal Ewing sarcoma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2013;40(7):1036-43.
32. Chang KJ, Kong CB, Cho WH, Jeon DG, Lee SY, Lim I, et al. Usefulness of increased 18F-FDG uptake for detecting local recurrence in patients with extremity osteosarcoma treated with surgical resection and endoprosthetic replacement. *Skeletal Radiol* 2015;44(4):529-37.
33. Franzius C, Sciuk J, Daldrup-Link HE, Jürgens H, Schober O. FDG-PET for detection of osseous metastases from malignant primary bone tumours: comparison with bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med* 2000;27(9):1305-11.
34. Newman EN, Jones RL, Hawkins DS. An evaluation of [F-18]-fluorodeoxy-D-glucose positron emission tomography, bone scan, and bone marrow aspiration/biopsy as staging investigations in Ewing sarcoma. *Pediatr Blood Cancer* 2013;60(7):1113-7.
35. Völker T, Denecke T, Steffen I, Misch D, Schönberger S, Plotkin M, et al. Positron emission tomography for staging of pediatric sarcoma patients: results of a prospective multicenter trial. *J Clin Oncol* 2007;25(34):5435-41.
36. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines®). Bone Cancer. Version 1.2018-August 29; 2017.
37. Treglia G, Salsano M, Stefanelli A, Mattoli MV, Giordano A, Bonomo L. Diagnostic accuracy of 18F-FDG-PET and PET/CT in patients with Ewing sarcoma family tumours: a systematic review and a meta-analysis. *Skeletal Radiol* 2012;41(3):249-56.

38. Hawkins DS, Schuetze SM, Butrynski JE, Rajendran JG, Vernon CB, Conrad EU 3rd, et al. [18F]Fluorodeoxyglucose positron emission tomography predicts outcome for Ewing sarcoma family of tumors. *J Clin Oncol* 2005;23(34):8828-34.
39. Raciborska A, Bilska K, Drabko K, Chaber R, Pogorzala M, Polczynska K, et al. Response to chemotherapy estimates by FDG PET is an important prognostic factor in patients with Ewing sarcoma. *Clin Transl Oncol* 2016;18(2):189-95.
40. Gaston LL, Di Bella C, Slavin J, Hicks RJ, Choong PF. 18F-FDG PET response to neoadjuvant chemotherapy for Ewing sarcoma and osteosarcoma are different. *Skeletal Radiol* 2011;40(8):1007-15.
41. Andersen KF, Jensen KE, Loft A. PET/MR imaging in musculoskeletal disorders. *PET Clin* 2016;11(4):453-63.
42. Carreras JL, Pérez-Dueñas V, Riola-Parada C, García-Cañamaque L. PET/RM: ¿un lujo o una necesidad? *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol* 2016;35(5):313-20.
43. Zhang X, Chen YLE, Lim R, Huang C, Chebib IA, El Fakhri. Synergistic role of simultaneous PET/MRI-MRS in soft tissue sarcoma metabolism imaging. *Magn Reson Imaging* 2016;34(3):276-9.
44. Hirsch FW, Sattler B, Sorge I, Kurch L, Viehweger A, Ritter L, et al. PET/MR in children. Initial clinical experience in paediatric oncology using integrated PET/MR scanner. *Pediatr Radiol* 2013;43(7):860-75.
45. Daldrup-Link HE. How PET/MR can add value for children with cancer. *Curr Radiol Rep* 2017;5(3):15.
46. Schafer JF, Gatidis S, Schmidt H, Gückel B, Bezrukov I, Pfannenberger CA, et al. Simultaneous whole-body PET/MR imaging in comparison to PET/CT in pediatric oncology: initial results. *Radiology* 2014;273(1):220-31.
47. Ponisio MR, McConathy J, Laforest R, Khanna G. Evaluation of diagnostic performance of whole-body simultaneous PET/MRI in pediatric lymphoma. *Pediatr Radiol* 2016;46(9):1258-68.
48. Bezrukov I, Schmidt H, Gatidis S, Mantlik F, Schäfer JF, Schwenzer N, et al. Quantitative evaluation of segmentation and Atlas-based attenuation correction for PET/MR on pediatric patients. *J Nucl Med* 2015;56(7):1067-74.
49. Purz S, Sabri O, Viehweger A, Barthel H, Kluge R, Sorge I, et al. Potential Pediatric Applications of PET/MR. *J Nucl Med* 2014;55(Suppl 2):32S-39S.
50. Sagiyama K, Watanabe Y, Kamei R, Hong S, Kawanami S, Matsumoto Y, et al. Multiparametric voxel-based analyses of standardized uptake values and apparent diffusion coefficients of soft-tissue tumours with a positron emission tomography/magnetic resonance system: preliminary results. *Eur Radiol* 2017;27(12):5024-33.