

formación continuada

Impacto clínico de la PET en pediatría

I. ROCA^a, M. SIMÓ^b, J. SÁNCHEZ DE TOLEDO^a

^aHospital Univesitario Vall d'Hebron. Barcelona. ^bCETIR Grup Mèdic. Unitat PET. Esplugues de Llobregat (Barcelona)

CLINICAL IMPACT OF PET IN PEDIATRICS

INTRODUCCIÓN

La incorporación de la tomografía por emisión de positrones (PET) está teniendo un indiscutible impacto clínico en Neurología, Cardiología, Infecciones y especialmente en Oncología¹. El porcentaje de cambio en el manejo clínico del paciente oncológico atribuible al PET o al PET-CT se cifra en las distintas series y patologías entre el 30 y el 50 %.

Estas nuevas técnicas se han ido incorporando progresivamente también a la práctica pediátrica. En Pediatría es muy difícil conseguir estudiar grandes series, por lo que no se dispone de evidencia clínica suficiente para establecer cuáles deben ser las indicaciones pediátricas aprobadas y financiadas por los organismos autorizados². Sin embargo, van apareciendo progresivamente diferentes publicaciones con un número limitado de pacientes así como revisiones bibliográficas en las que se describen las tumoraciones de la edad pediátrica más captantes de FDG (linfomas, sarcomas, tumores de partes blandas, algunos neuroblastomas), por lo cual en diferentes reuniones de expertos se ha llegado a un consenso sobre algunas indicaciones oncológicas³⁻⁹.

Punto clave 1

Existe evidencia de la utilidad de la PET en Oncología Pediátrica en linfomas, sarcomas y neuroblastomas no captantes de MIBG.

Correspondencia:

I. ROCA
Servicio de Medicina Nuclear
HU Vall d'Hebron
08035 Barcelona
E-mail: iroca@vhebron.net

El manejo del niño al que debemos practicar un PET no es fácil ya que las tomocámaras PET, y en especial las PET-CT, son voluminosas y no permiten un fácil acceso al niño durante la exploración. Desde el punto de vista técnico^{6,10}, el protocolo del PET en Pediatría debe incluir una correcta información, consentimiento y colaboración de los padres o tutores, preparación del niño (ayunas, farmacológica, sondaje), cálculo y administración de la dosis y sedación o anestesia siempre que sea necesario¹¹. En centros hospitalarios es recomendable contar con la colaboración de la enfermería de planta y con el servicio de anestesia, ya que en un porcentaje significativo de casos deberá realizarse alguna maniobra de sedación o anestesia.

Otro de los puntos básicos de esta revisión es remarcar la importancia de la imagen comparativa en el diagnóstico pediátrico: es indispensable la colaboración entre todos los especialistas en diagnóstico por imagen y es indudable que la irrupción de los PET-CT va a mejorar el diagnóstico oncológico forzando la interpretación conjunta de estas exploraciones¹².

Punto clave 2

La cooperación con los radiólogos y la correlación de imágenes PET-CT y/o PET-CT-RM es básico para un buen diagnóstico en Oncología Pediátrica.

INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

El pediatra u oncólogo debe informar a los padres o tutores sobre la conveniencia y beneficios de la exploración. En el servicio de Medicina Nuclear se debe informar a los padres o representantes legales del niño o al propio niño o niña según la edad y grado de comprensión, acerca de las características del estudio PET (tiempo de adquisición, características de la cámara...).

Es aconsejable que esta información sea escrita (folleto informativo) y oral (el personal técnico o de enfermería puede contestar las posibles preguntas técnicas o médicas que se originen). Es aconsejable obtener un consentimiento informado por escrito.

PREPARACIÓN

Al citar la exploración, sea a través de los oncólogos o en una entrevista previa con el niño y sus padres, deberemos valorar el grado de colaboración del paciente y programar una sedación o anestesia en caso necesario.

Cuando el niño llega al servicio, es aconsejable que lo reciba un técnico o diplomado de enfermería con experiencia en Pediatría para establecer un buen contacto (juguetes, fotos del equipamiento, de otros niños) y conseguir la mejor colaboración posible. El niño deberá permanecer en reposo (cama, sillón) durante unos 15 minutos antes y un mínimo de 45 minutos después de la administración del trazador. En estudios PET cerebrales pueden adquirirse las imágenes PET a los 30 minutos después de la administración de la FDG. Durante este periodo deberemos evitar que el paciente coma caramelos o chicles, para evitar captación de glucosa en los músculos de la masticación.

Antes de pasar a detectarse, debe orinar y puede tomar alguna comida i líquido.

Punto clave 3

La preparación y manejo del niño debe estar a cargo de personal de enfermería con experiencia pediátrica.

AYUNAS

Los niños deben venir al servicio de medicina nuclear o a la unidad PET en ayunas (mínimo 4 horas, aconsejable 6 horas en niños mayores). Su finalidad es evitar la presencia de unos niveles elevados de insulina en sangre (lo que provocaría una incorporación excesiva del trazador en los músculos) y reducir la glucemia (que reduciría la captación tisular de FDG al competir con la glucosa endógena).

Si no se va a requerir anestesia, a los 45 minutos de la inyección de FDG podemos dar de comer al niño. En este momento, ya se ha producido casi toda la incorporación de glucosa a los tejidos, por que el au-

mento post-prandial de glucemia no va a interferir en la calidad de la imagen, y por otra parte, podremos aprovechar el relax post-prandial del niño para conseguir una mejor colaboración durante la detección.

VÍA INTRAVENOSA

Es aconsejable que personal de enfermería del servicio de Medicina Nuclear con experiencia en pacientes pediátricos colabore en las PET en niños. Los niños oncológicos suelen estar multitratados y a menudo tienen un difícil acceso venoso. Algunos de ellos llegan al servicio con una vía endovenosa periférica o incluso con una vía central. En principio pueden utilizarse ambas vías de administración de la FDG siempre que se compruebe previamente su permeabilidad. Asimismo es imprescindible “lavar” posteriormente muy bien la vía de administración con suero fisiológico para minimizar la dosis residual en la palomita o en el catéter. De hecho siempre va a persistir una leve o moderada actividad en el punto de inyección, lo que no va a interferir en principio con la interpretación de las imágenes. No obstante, debe tenerse en cuenta que la presencia de dosis residual en la vía de administración puede interferir en la cuantificación de las lesiones tumorales, fundamentalmente cuando se utilice el “SUV o standard uptake value”¹³.

Para minimizar la dosis residual puede diluirse el trazador en un mayor volumen, lavar bien la vía después de la administración de FDG, cambiar la llave de tres pasos después de la inyección y el lavado, y siempre que sea posible separar la vía de administración de la zona a detectar (epicraneales, vías largas).

Punto clave 4

Vía endovenosa:

- Debe comprobarse siempre antes de la administración de la FDG.*
- Lavar siempre muy bien (SSF) después de la administración de FDG.*
- Puede utilizarse una vía central. En este caso diluir la dosis para disminuir el depósito residual en la vía de administración.*

CATÉTER VESICAL

La cateterización vesical solo es necesaria en algunas situaciones clínicas:

- Necesidad de valoración de la pelvis menor.
- Dilatación de vías excretoras.
- Anestesia (distensión vesical).
- Menores de 3 años sin continencia de esfínteres (para evitar los artefactos causados por la orina en el paquete absorbente).

La colocación de un catéter vesical en niños no es un problema para el personal entrenado, por lo que al igual que se ha mencionado previamente, es muy aconsejable solicitar la colaboración de enfermería de Medicina Nuclear o de Radiología entrenada en el manejo de niños. Si se ha decidido practicar el PET bajo anestesia, la cateterización vesical se realizará después de haber anestesiado al niño.

Punto clave 5

- Cateterización vesical solo en los siguientes casos:*
- Valoración de pelvis menor.
 - Dilatación de vías urinarias excretoras.
 - Anestesia (distensión vesical).
 - Opcional: menores de 3 años (evitar artefacto por micción espontánea).

SEDACIÓN O ANESTESIA

Son tributarios de sedación o anestesia todos los niños que no vayan a colaborar durante la exploración. Teniendo en cuenta que un PET es una exploración con un grado de complejidad algo superior al SPET (similar tiempo de detección, preparación más compleja, disponibilidad tomocámara limitada que impide repetición de detección), deberá plantearse la necesidad de sedación o anestesia en los siguientes casos:

- Deficiencia mental u otros síndromes neurológicos complejos.
- Niños menores de 5 años, sin posibilidad de colaboración.
- Niños con claustrofobia.

Por lo que hace referencia a la sedación o anestesia, debe tenerse en cuenta que la sedación es superficial, limitada en el tiempo y que las maniobras a las que deba someterse al niño (punción venosa, sondaje) deben realizarse previamente. En ambos casos debe haber personal cualificado presente durante toda la exploración, con monitorización continua del estado

de conciencia y constantes cardiorrespiratorias (pulsoxiómetro). Para una correcta interpretación de un estudio PET cerebral, la sedación o anestesia debe administrarse al menos 30 minutos después de la administración de FDG para evitar una posible interacción con el metabolismo cerebral.

Punto clave 6

- Sedación o anestesia solo en los siguientes casos:*
- Deficiencia mental.
 - Menores de 5 años no colaboradores.
 - Claustrofobia.

DOSIS Y DOSIMETRÍA

La dosis recomendada en Pediatría es de 6 MBq/kg de peso (5-10 MBq) con una dosis mínima de 37 MBq y una dosis de referencia en el adulto tipo de 70 kg de 370 MBq. El órgano diana es la pared vesical, por lo que es aconsejable recomendar una hidratación forzada y micciones frecuentes. En los recién nacidos y lactantes, parece que la distribución corporal de la FDG difiere significativamente del adulto (menor dosimetría vesical), con menores dosis efectivas durante los primeros meses de vida¹⁴.

Para disminuir la dosimetría, es aconsejable una hidratación forzada durante todo el día de la exploración, ofreciendo frecuentemente al niño su bebida preferida.

Punto clave 7

- Dosis de referencia: 6 MBq/kg de peso. Dosis referencia adulto 70 kg: 370 MBq.*

Punto clave 8

- Disminuir la dosimetría recomendando hidratación abundante durante todo el día de la exploración y micciones frecuentes.*

DETECCIÓN

Los lactantes y niños pequeños que pueden explorarse durmiendo o con sedación superficial pueden inmovilizarse con sacos de vacuum o tiras de velcro. La atmósfera debe ser lo más tranquila posible y se recomienda que los padres o un técnico o diplomado de enfermería con buena relación con el niño perma-

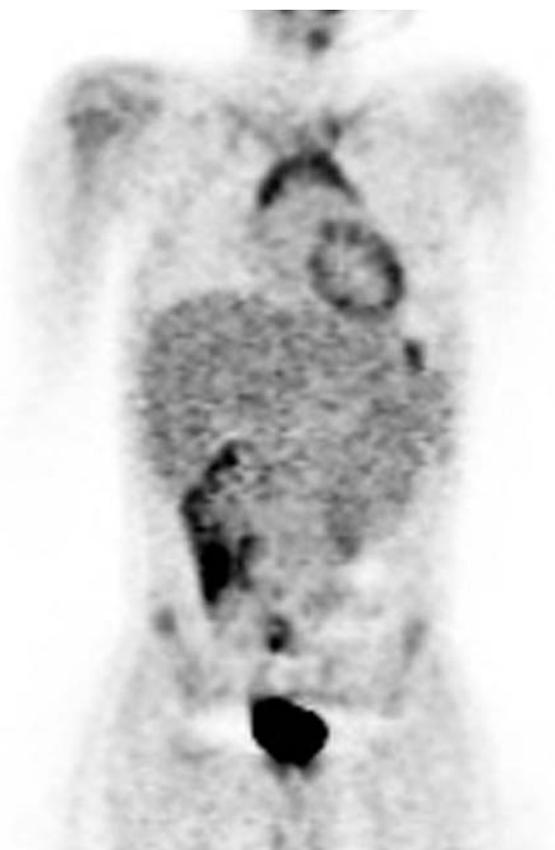


FIG. 1.—Captación fisiológica o normal del trazador en timo.

nezca con él/ella durante la detección (explicar cuento, poner música, contacto físico si posible).

PET-CT

Este nuevo equipamiento permite un mejor diagnóstico al fusionar las imágenes anatómicas del CT con las metabólicas del PET. En cuanto a las características del CT, al tratarse de pacientes pediátricos, debe minimizarse la radiación (mA). Para obtener una buena fusión de ambas imágenes, es aconsejable obtener el CT con respiración libre y superficial (1 a 3 minutos). La imagen del CT se utiliza como método de transmisión para obtener las imágenes PET de emisión corregidas por atenuación.

La administración de contraste oral no interfiere en la interpretación del estudio (numerosos autores utilizan el agua como contraste oral para el estudio de TC). La administración de contraste endovenoso tampoco interfiere pero el tipo de adquisición (dinámica, ultrarrápida) sí puede interferir con la fusión.

La dosimetría del PET-CT es significativamente más alta que la del PET solo, por lo que su indicación tiene que estar bien fundamentada y deben evitarse repeticiones de CT. Los nuevos equipamientos PET-CT disponen de CT de alta resolución, por lo que el CT que se utiliza para fusión y corrección de atenuación del PET debe ser un CT solicitado con indicación diagnóstica¹².

IMÁGENES NORMALES DEL PET EN PEDIATRÍA

Al igual que en la gammagrafía ósea, es normal la captación de FDG en los cartílagos de crecimiento. También puede detectarse captación medular inespecífica en situaciones de regeneración o en pacientes tratados con estimulantes de las colonias granulocíticas.

Podemos observar captación fisiológica o normal de la FDG en timo fundamentalmente en niños e incluso en adultos jóvenes¹⁵. Esta se identifica como una captación en forma de V invertida localizada en mediastino antero-superior. En región cervico-facial podemos hallar captación normal de la FDG en el anillo linfático de Waldeyer (habitualmente la captación en esta estructura es simétrica y homogénea) y en los músculos de la masticación.

En el PET cerebral, y al igual que sucede con el SPET, al interpretar un estudio deben tenerse en cuenta las variaciones del metabolismo cerebral normales durante los primeros 24 meses de vida (fig. 1).

Punto clave 9

Las imágenes normales de la PET en Pediatría son diferentes del adulto:

- Cartílagos de crecimiento.
- Médula.
- Timo.
- Anillo de Waldeyer.
- Maduración cerebral.

INDICACIONES CLÍNICAS DE PET EN PEDIATRÍA

Oncología

En Oncología pediátrica, al igual que en adultos, las indicaciones de la PET deben basarse en las siguientes situaciones clínicas:

- Diagnóstico diferencial entre tumor benigno o maligno.

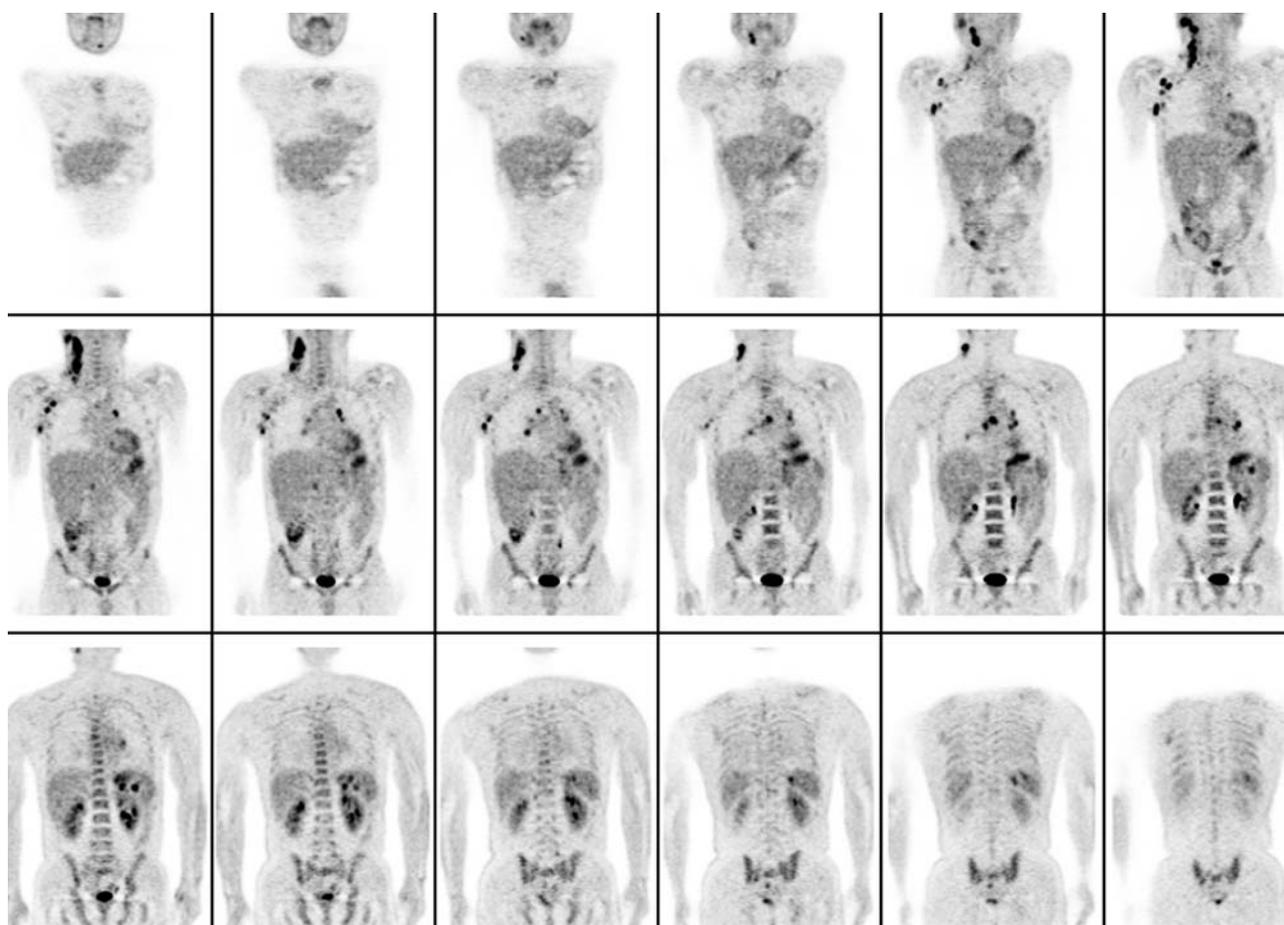


FIG. 2.—Estudio de extensión pre-terapéutico en un varón de 16 años de edad diagnosticado de un Linfoma de Hodgkin. El estudio PET de cuerpo completo muestra una infiltración adenopática tumoral múltiple y esplénica.

- Estadificación inicial o preterapéutica.
- Valoración de la respuesta a la quimioterapia.
- Diagnóstico diferencial entre cicatriz, fibrosis o necrosis y tumor viable.
- Sospecha radiológica o sérica de recidiva tumoral y estudios de re-estadificación tras detectarse una recidiva potencialmente resecable.

Los tumores con mayor frecuencia de indicación de PET en Pediatría son el neuroblastoma, linfomas, y sarcomas o tumores de partes blandas.

Linfoma

Los linfomas son la tercera neoplasia más frecuente en la edad pediátrica. En el 15 % de linfomas no captantes de galio, la PET se ha convertido directamente el trazador oncotropo de elección. Pero además, al igual que en adultos, la PET en los linfomas pediátricos

aporta una mayor precisión al diagnóstico, estadificación y valoración de la respuesta al tratamiento que el citrato de galio, el CT u otras técnicas de imagen¹⁶⁻¹⁸.

En cuanto a la valoración de la respuesta al tratamiento, en varias series se ha comprobado que la persistencia de captación de FDG después de 1 o varios ciclos de quimioterapia indica mal pronóstico, siendo además un factor predictivo de recidiva tumoral¹⁹.

En estudios comparativos sobre la aportación del CT, RM y la PET en la valoración de la respuesta al tratamiento, se demuestra que aunque haya evidencia de tumor residual morfológico (CT/RM), la PET es claramente superior a las técnicas morfológicas para valorar la respuesta biológica del tumor (fig. 2).

Punto clave 10

La PET en el linfoma tiene mayor precisión diagnóstica que la gammagrafía con galio 67, el CT y la RM.

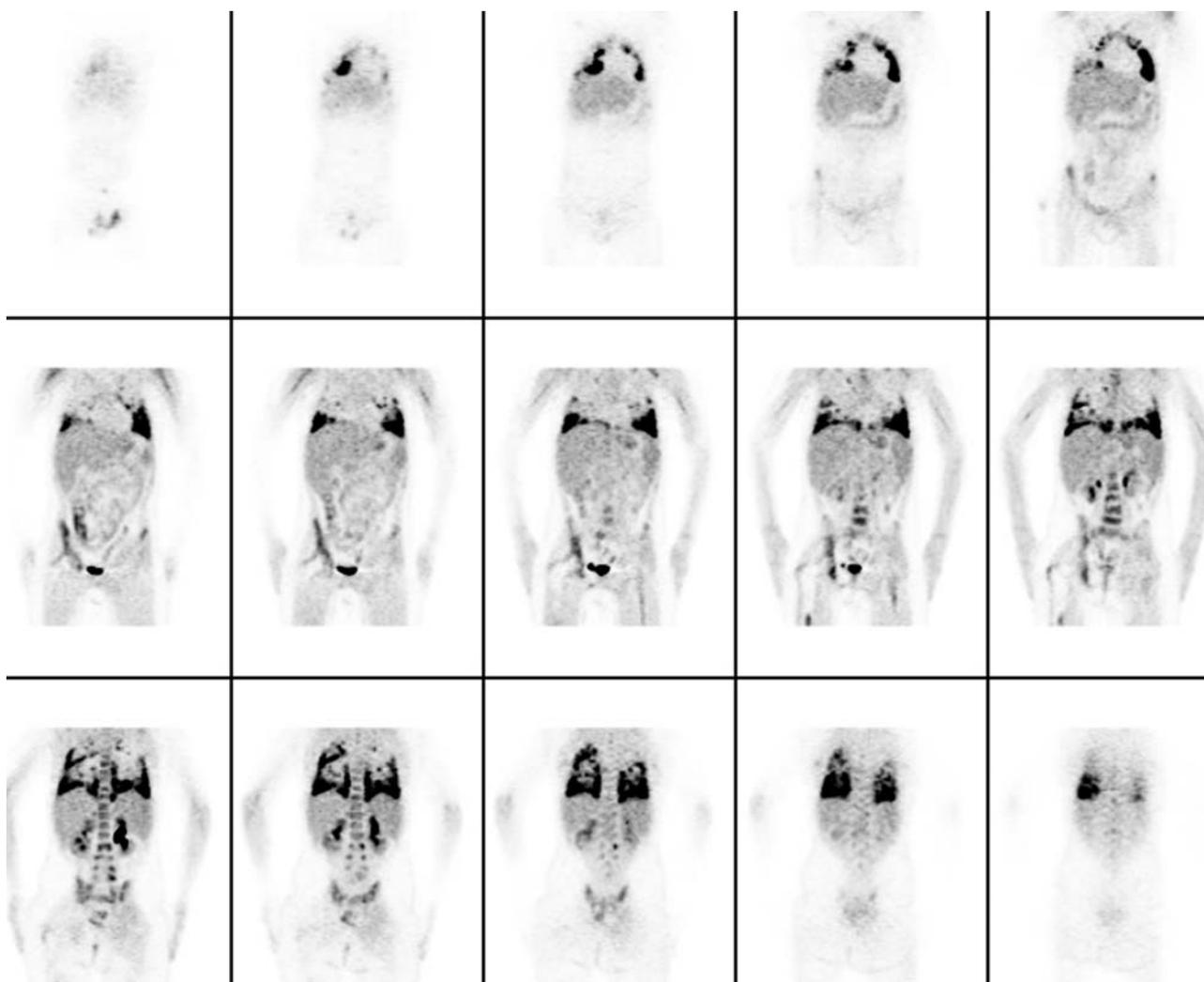


FIG. 3.—Recidiva metastásica pulmonar bilateral y ósea en un paciente previamente tratado de un osteosarcoma.

Tumores óseos primarios y sarcomas de partes blandas

En niños, el osteosarcoma y el sarcoma de Ewing son los dos tumores óseos más frecuentes. Actualmente, la evaluación inicial por imagen de estos tumores se basa en la resonancia magnética para definir la extensión tumoral ósea y de partes blandas y en la gammagrafía ósea para detectar metástasis a distancia. En algunas publicaciones, también se había propuesto la utilización del MIBI como trazador oncotropo (viabilidad tumoral, predicción de respuesta al tratamiento), pero los resultados han sido discordantes.

En las primeras series que están apareciendo, la PET mejora el manejo clínico de estos niños (detección

de metástasis, monitorización de la terapia, detección de recurrencia)²⁰⁻²². Únicamente para la detección de metástasis pulmonares de pequeño tamaño, el CT espiral muestra una mayor sensibilidad que la PET²³.

Estudios comparativos entre la gammagrafía ósea y la PET en el sarcoma de Ewing muestran resultados claramente superiores tanto en sensibilidad como en especificidad de la PET para la detección de metástasis óseas o medulares. En cambio, en el caso del osteosarcoma, con alto grado de captación en la gammagrafía ósea, la PET tiene una sensibilidad algo menor para detectar metástasis óseas²⁴⁻²⁵ (fig. 3).

En cuanto a la valoración precoz de la respuesta a la quimioterapia (factor pronóstico determinante en el osteosarcoma), los resultados iniciales sugieren un

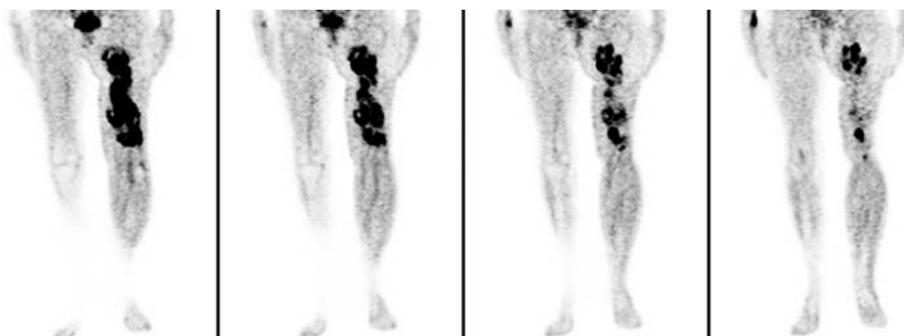


FIG. 4.—Intensa captación patológica de ^{18}F -FDG en los tejidos blandos adyacentes al fémur izquierdo en un paciente afecto de un Sarcoma de Ewing.

importante papel de la PET con FDG como herramienta no invasiva en la evaluación de la respuesta a la quimioterapia neoadyuvante. La disminución significativa de la captación de FDG (valorada mediante SUV) se correlaciona con los hallazgos histopatológicos²⁶⁻²⁷.

Algunos autores proponen utilizar la cuantificación del SUV como parámetro para diferenciar tumores óseos benignos o malignos²⁸.

En los sarcomas de partes blandas, la PET permite la diferenciación entre los tumores de bajo y alto grado histológico, así como la detección de metástasis a distancia y de recurrencia tumoral. También se ha descrito la utilidad de la PET en la evaluación de la respuesta a la terapia de los sarcomas musculoesqueléticos, diferenciando la persistencia de tumor viable de los cambios (fibrosis, necrosis) postterapéuticos²⁹⁻³¹ (fig. 4).

Punto clave 11

Los sarcomas óseos y de partes blandas de alto grado presentan intensos depósitos de FDG y la PET mejora el manejo clínico respecto a gammagrafía ósea, CT y RM.

Neuroblastoma

El diagnóstico clínico por imagen inicial del neuroblastoma se basa en la resonancia magnética, el CT y las gammagrafías óseas y con ^{123}I -MIBG.

La PET con FDG muestra en la mayor parte de neuroblastomas estudiados un alto grado de captación tanto en el tumor primario como en las metástasis, y el grado de captación de FDG es mayor en los tumores más indiferenciados. En estudios comparativos entre la PET-FDG y la gammagrafía con MIBG, en la valoración inicial o pre-tratamiento muestran una sensibilidad similar, si bien habitualmente la captación tumoral de MIBG es más intensa que la de

FDG³². Así pues podemos utilizar la PET con FDG en el control post-tratamiento y/o en la sospecha de recidiva tumoral en aquellos neuroblastomas no captantes de MIBG³³⁻³⁴.

Punto clave 12

La PET permite la valoración de los neuroblastomas no captantes de MIBG o con MIBG negativizada.

Neurología

En Neurología Pediátrica, la PET-FDG permite estudiar el consumo cerebral de glucosa y valorar de forma no invasiva trastornos del desarrollo, epilepsia, alteraciones de lenguaje, etc³⁵⁻³⁶. Antes de valorar un PET cerebral normal en Pediatría, es indispensable conocer las variantes de normalidad de la maduración cerebral, especialmente durante los 2 primeros años de vida³⁷:

- Actividad únicamente en córtex sensorimotor, ganglios basales y cerebelo al nacimiento.
- Aumento de la actividad cortical progresiva (córte temporal y parietal) a los 6 meses.
- Extensión progresiva de la actividad cortical a lóbulos occipital y frontal (12 a 24 meses).
- Disminución progresiva de la relación entre actividad basal y cortical.

La PET con FDG se ha utilizado en la valoración de los trastornos de lenguaje, encefalitis³⁸, encefalopatías³⁹, trastornos del desarrollo⁴⁰ y neuropsicológicos (trastorno de atención-hiperactividad, anorexia nerviosa)⁴¹⁻⁴³ y sobre todo en epilepsia⁴⁴⁻⁴⁶. Actualmente, en EE.UU, Medicare y las mutuas aseguradoras americanas reembolsan el estudio PET con FDG en la valoración prequirúrgica de las epilepsias refractarias al tratamiento médico. El foco epileptóge-

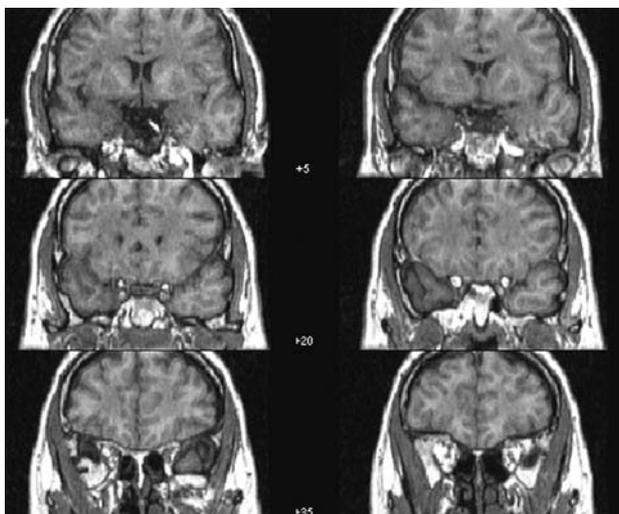


FIG. 5.—Estudio de corregistro PET-RM en un niño con epilepsia parcial refractaria al tratamiento médico. Los cortes coronales muestran un claro hipometabolismo del córtex temporal derecho.

no se manifiesta como un área hipoactiva en la PET-FDG basal, pero estos estudios deben siempre valorarse en un contexto multidisciplinar (EEG, CT, RM)⁴⁷ (fig. 5).

En el contexto oncológico cerebral se ha utilizado la PET usando como trazador la fluorodeoxiglucosa o la metionina marcada con carbono para caracterizar el pronóstico y grado de malignidad de los tumores cerebrales. Así aquellos tumores que tienen una mayor captación de glucosa tienen un peor pronóstico y un mayor grado de malignidad histológica. Por otro lado la PET con FDG puede diferenciar la recidiva tumoral de la radionecrosis en los tumores cerebrales de alto grado.

Punto clave 13

Para valorar una PET cerebral es indispensable conocer la maduración cerebral normal del niño.

Infección e inflamación

Los procesos inflamatorios e infecciosos también son captantes de FDG. En Pediatría se ha descrito la utilidad de la PET-FDG en la detección de patología inflamatoria intestinal⁴⁸, enfermedad granulomatosa crónica⁴⁹ y patología infecciosa⁵⁰.

Hay que recordar que la captación tímica es normal en niños e incluso en adultos jóvenes. Asimismo, en caso de linfoma la captación tímica es normal durante meses tras el tratamiento¹⁵.

Punto clave 14

La PET puede ser útil para valorar la enfermedad granulomatosa crónica.

Cardiología

Las indicaciones de la PET en Cardiología Pediátrica son escasas. Se han publicado casos de medición del flujo sanguíneo coronario y de la reserva coronaria en malformaciones, evaluaciones postquirúrgicas y cardiopatías congénitas (especialmente en caso de coronaria anómala)⁵¹⁻⁵⁶.

CONCLUSIÓN

Las indicaciones de la PET en Pediatría están todavía en fase de implantación, pero el impacto clínico parece evidente en Oncología (especialmente en linfomas, tumores óseos, sarcomas y neuroblastomas), pero también hay campo de aplicación en Neurología (cirugía de la epilepsia, trastornos del desarrollo), en Cardiología (malformaciones congénitas, evaluaciones postquirúrgicas) y en la detección de procesos inflamatorios e infecciosos.

En la población pediátrica, y por la baja frecuencia de muchos de los cánceres infantiles, será difícil conseguir series con un número suficiente de casos como para aceptar indicaciones basadas en la evidencia. Sin embargo, el alto impacto clínico de esta exploración en el manejo del niño con cáncer y la baja dosimetría comparativa obligan a la aceptación de estas exploraciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Reske SN, Kotzerke J. FDG-PET for clinical use. *Eur J Nucl Med* 2000;28:1707-23.
2. Reske SN, Kotzerke J. FDG-PET for clinical use—results of the 3rd German Interdisciplinary Consensus Conference, “Onko-PET III”, 21 July and 19 September 2000. *Eur J Nucl Med* 2001;28:1701-23.
3. Klaus Hahn, Thomas Pfluger. Has PET become an important clinical tool in paediatric imaging? *Eur J Nucl Med Mol Imaging* May 2004;31:615-21.
4. Schulkin BL. PET imaging in pediatric oncology. *Pediatr Radiol.* 2003;34(3):199-204.
5. Krasin MJ, Hudson MM, Kaste SC. Positron emission tomography in pediatric radiation oncology: integration in the treatment-planning process. *Pediatr Radiol.* 2004;34(3):214-21.
6. Foehrenbach H, Edeline V, Bonardel G, Neuenschwander S. Technique and indications in pediatric oncology. *Positron emis-*

Roca I, et al. Impacto clínico de la PET en pediatría

- sion tomography with 18F-fluorodeoxyglucose. *Arch Pediatr* 2004;11(4):378-82.
7. Franzius C, Schober O. Assessment of therapy response by FDG PET in pediatric patients. *Q J Nucl Med* 2003;47(1):41-5.
 8. O'Hara SM, Donnelly LF, Coleman RE. Pediatric body applications of FDG PET. *AJR Am J Roentgenol* 1999;172:1019-24.
 9. Shulkin BL. PET applications in pediatrics. *Q J Nucl Med* 1997;4:281-91.
 10. Roberts EG, Shulkin BL. Technical issues in performing PET studies in pediatric patients. *J Nucl Med Technol* 2004;32(1):5-9.
 11. Borgwardt L, Jung Larsen H, Pedersen K, Højgaard L. Practical use and implementation of PET in children in a hospital PET centre. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:1389-97.
 12. Kaste SC. Issues specific to implementing PET-CT for pediatric oncology: what we have learned along the way. *Pediatr Radiol* 2004;34(3):205-13.
 13. Yeung HW, Sanches A, Squire OD, Macapinlac HA, Larson SM, Erdi YE. Standardized uptake value in pediatric patients: an investigation to determine the optimum measurement parameter. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;29:61-6.
 14. Ruotsalainen U, Suhonen-Polvi H, Eronen E, Kinnala A, Bergman J, Haaparanta M, Teras M, Solin O, Wegelius U. Estimated radiation dose to the newborn in FDG-PET studies. *J Nucl Med* 1996;37:387-93.
 15. Brink L, Reinhardt MJ, Hoegerle S, Althoefer C, Moser E, Nitzsche EU. Increased metabolic activity in the thymus gland studied with 18F-FDG PET: age dependency and frequency after chemotherapy. *J Nucl Med* 2001;42:591-5.
 16. Hudson MM, Krasin MJ, Kaste SC. PET imaging in pediatric Hodgkin's lymphoma. *Pediatr Radiol* 2004;34(3):190-8.
 17. Körholz D, Kluge R, Wickmann L, Hirsch W, Lüders H, Lotz I, Dannenberg C, Hasenclever D, Dörffel W, Sabri O. Importance of F18-Fluorodeoxy-D-2-glucose positron emission tomography (FDG-PET) for staging and therapy control of Hodgkin's lymphoma in childhood and adolescence—consequences for the GPOH-HD 2003 protocol. *Onkologie* 2003;26:489-93.
 18. Jerusalem G, Begun Y, Fassotte MF, Najjar F, Paulus P, Rigo P, Fillet G. Whole-body positron emission tomography using 18F-fluorodeoxyglucose compared to standard procedures for staging patients with Hodgkin's disease. *Haematologica* 2001;86:266-73.
 19. Spaepen K, Stroobants S, Dupont P, Van Steenweghen S, Thomas J, Vandenberghe P, Vanuytsel L, Bormans G, Balzarini J, De Wolf-Peeters C, Mortelmans L, Verhoef G. Prognostic value of positron emission tomography (PET) with fluorine-18-fluorodeoxyglucose ([18F]FDG) after first-line chemotherapy in non-Hodgkin's lymphoma: is [18F]FDG-PET a valid alternative to conventional diagnostic methods? *J Clin Oncol* 2001;19:414-9.
 20. Brenner W, Bohuslavizki KH, Eary JF. PET imaging of osteosarcoma. *J Nucl Med* 2003;44:930-42.
 21. Franzius C, Daldrup-Link HE, Wagner-Bohn A, Sciuk J, Heindel WL, Jurgens H, Schober O. FDG-PET for detection of recurrences from malignant primary bone tumors: comparison with conventional imaging. *Ann Oncol* 2002;13:157-60.
 22. Franzius C, Schulte M, Hillmann A, Winkelmann W, Jurgens H, Bockisch A, Schober O. [Clinical value of positron emission tomography (PET) in the diagnosis of bone and soft tissue tumors. 3rd Interdisciplinary Consensus Conference "PET in Oncology": results of the Bone and Soft Tissue Study Group]. *Chirurg* 2001;72:1071-7.
 23. Franzius C, Daldrup-Link HE, Sciuk J, Rummeny EJ, Bielack S, Jurgens H, Schober O. FDG-PET for detection of pulmonary metastases from malignant primary bone tumors: comparison with spiral CT. *Ann Oncol* 2001;12:479-86.
 24. Daldrup-Link HE, Franzius C, Link TM, Laukamp D, Sciuk J, Jurgens H, Schober O, Rummeny EJ. Whole-body MR imaging for detection of bone metastases in children and young adults: comparison with skeletal scintigraphy and FDG PET. *AJR Am J Roentgenol* 2001;177:229-36.
 25. Franzius C, Sciuk J, Daldrup-Link HE, Jurgens H, Schober O. FDG-PET for detection of osseous metastases from malignant primary bone tumours: comparison with bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med* 2000;27:1305-11.
 26. 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;94:3277-84.
 27. Schulte M, Brecht-Krauss D, Werner M, Hartwig E, Sarkar MR, Keppler P, Kotzerke J, Guhlmann A, Delling G, Reske SN. Evaluation of neoadjuvant therapy response of osteogenic sarcoma using FDG PET. *J Nucl Med* 1999;40:1637-43.
 28. Watanabe H, Shinozaki T, Yanagawa T, Aoki J, Tokunaga M, Inoue T, Endo K, Mohara S, Sano K, Takagishi K. Glucose metabolic analysis of musculoskeletal tumours using 18fluorine-FDG PET as an aid to preoperative planning. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:760-7.
 29. 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;179:1145-50.
 30. Lucas JD, O'Doherty MJ, Cronin BF, Marsden PK, Lodge MA, McKee PH, Smith MA. Prospective evaluation of soft tissue masses and sarcomas using fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *Br J Surg* 1999;86:550-6.
 31. Lucas JD, O'Doherty MJ, Wong JC, Bingham JB, McKee PH, Fletcher CD, Smith MA. Evaluation of fluorodeoxyglucose positron emission tomography in the management of soft-tissue sarcomas. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80:441-7.
 32. Shulkin BL, Hutchinson RJ, Castle VP, Yanik GA, Shapiro B, Sisson JC. Neuroblastoma: positron emission tomography with 2-[fluorine-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose compared with metaiodobenzylguanidine scintigraphy. *Radiology* 1996;199:743-50.
 33. Kushner BH, Yeung HW, Larson SM, Kramer K, Cheung NK. Extending positron emission tomography scan utility to high-risk neuroblastoma: fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography as sole imaging modality in follow-up of patients. *J Clin Oncol* 2001;19:3397-405.
 34. Shulkin BL, Wieland DM, Baro ME, Ungar DR, Mitchell DS, Dole MG, Rawwas JB, Castle VP, Sisson JC, Hutchinson RJ. PET hydroxyephedrine imaging of neuroblastoma. *J Nucl Med* 1996;37:16-21.
 35. Mohan KK, Chugani DC, Chugani HT. Positron emission tomography in pediatric neurology. *Semin Pediatr Neurol* 1999;6:111-9.
 36. Worley G, Hoffman JM, Paine SS, et al. 18-Fluorodeoxyglucose positron emission tomography in children and adolescents with traumatic brain injury. *Dev Med Child Neurol* 1995;37:213-20.
 37. Chugani HT, Phelps ME, Mazziotta JC. Positron emission tomography study of human brain functional development. *Ann Neurol* 1987;22:487-97.
 38. Lee JS, Juhasz C, Kaddurah AK, Chugani HT. Patterns of cerebral glucose metabolism in early and late stages of Rasmussen's syndrome. *J Child Neurol* 2001;16:798-805.
 39. Lee JS, Asano E, Muzik O, Chugani DC, Juhasz C, Pfund Z, Philip S, Behen M, Chugani HT. Sturge-Weber syndrome: correlation between clinical course and FDG PET findings. *Neurology* 2001;57:189-95.
 40. Villemagne P, Naidu S, Villemagne VL, Yaster M, Wagner HN Jr, Harris JC, Moser HW, Johnston MV, Dannals RF, Wong DF.

Roca I, et al. Impacto clínico de la PET en pediatría

- Brain glucose metabolism in Rett syndrome. *Pediatr Neurol* 2002;27:117-22.
41. O'Tuama LA, Dickstein DP, Neep R, Gascon GG. Functional brain imaging in neuropsychiatric disorders of childhood. *J Child Neurol* 1999;14:207-21.
 42. Delvenne V, Goldman S, Simon Y, De Maertelaer V, Lotstra F. Brain hypometabolism of glucose in bulimia nervosa. *Int J Eat Disord* 1997;21:313-20.
 43. Delvenne V, Lotstra F, Goldman S, Biver F, De Maertelaer V, Appelboom-Fondu J, Schoutens A, Bidaut LM, Luxen A, Mendelwicz J. Brain hypometabolism of glucose in anorexia nervosa: a PET scan study. *Biol Psychiatry* 1995;37:161-9.
 44. Juhasz C, Chugani HT. Imaging the epileptic brain with positron emission tomography. *Neuroimaging Clin N Am.* 2003;13(4):705-16.
 45. Snead OC 3rd, Chen LS, Mitchell WG, Kongelbeck SR, Raffel C, Gilles FH, Nelson MD Jr. Usefulness of [18F]fluorodeoxyglucose positron emission tomography in pediatric epilepsy surgery. *Pediatr Neurol* 1996;14:98-107.
 46. Fois A, Farnetani MA, Balestri P, Buoni S, Di Cosmo G, Vattimo A, Guazzelli M, Guzzardi R, Salvadori PA. EEG, PET, SPET and MRI in intractable childhood epilepsies: possible surgical correlations. *Childs Nerv Syst* 1995;11:672-8.
 47. Won HJ, Chang KH, Cheon JE, Kim HD, Lee DS, Han MH, Kim IO, Lee SK, Chung CK. Comparison of MR imaging with PET and ictal SPECT in 118 patients with intractable epilepsy. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999;20:593-9.
 48. Skehan SJ, Issenman R, Mernagh J, Nahmias C, Jacobson K. 18F-fluorodeoxyglucose positron tomography in diagnosis of paediatric inflammatory bowel disease. *Lancet* 1999;354:836-7.
 49. Gungor T, Engel-Bicik I, Eich G, Willi UV, Nadal D, Hossle JP, Seger RA, Steinert HC. Diagnostic and therapeutic impact of whole body positron emission tomography using fluorine-18-fluoro-2-deoxy-D-glucose in children with chronic granulomatous disease. *Arch Dis Child* 2001;85:341-5.
 50. Muller AE, Kluge R, Biesold M, Rieske K, Korholz D. Whole body positron emission tomography detected occult infectious foci in a child with acute myeloid leukaemia. *Med Pediatr Oncol* 2002;38:58-9.
 51. Ogawa S, Ohkubo T, Fukazawa R, Kamisago M, Kuramochi Y, Uchikoba Y, Ikegami E, Watanabe M, Katsube Y. Estimation of myocardial hemodynamics before and after intervention in children with Kawasaki disease. *J Am Coll Cardiol* 2004;43(4):653-61.
 52. Hauser M, Bengel F, Kuehn A, Nekolla S, Kaemmerer H, Schwaiger M, Hess J. Myocardial blood flow and coronary flow reserve in children with "normal" epicardial coronary arteries after the onset of Kawasaki disease assessed by positron emission tomography. *Pediatr Cardiol* 2004;25(2):108-12.
 53. Hernandez-Pampaloni M, Allada V, Fishbein MC, Schelbert HR. Myocardial perfusion and viability by positron emission tomography in infants and children with coronary abnormalities: correlation with echocardiography, coronary angiography, and histopathology. *J Am Coll Cardiol* 2003;41(4):618-26.
 54. Singh TP, Muzik O, Forbes TF, Di Carli MF. Positron emission tomography myocardial perfusion imaging in children with suspected coronary abnormalities. *Pediatr Cardiol* 2003;16:138-44.
 55. Rickers C, Sasse K, Buchert R, Stern H, van den Hoff J, Lubeck M, Weil J. Myocardial viability assessed by positron emission tomography in infants and children after the arterial switch operation and suspected infarction. *J Am Coll Cardiol* 2000;36:1676-1683.
 56. Litvinova II, Litvinov M, Leonteva II, Sebeleva II. 18. PET for diagnosis of mitochondrial cardiomyopathy in children. *Clin Positron Imaging* 2000;3:172.