



Utilidad de la tomografía por emisión de positrones combinada con tomografía computarizada en oncología pediátrica

José Manuel Ruano Aguilar,* Ruth Palafox Sánchez,** Noé García Buenrostro**

Resumen

En la actualidad existen muchas herramientas de imagen para diagnóstico en cirugía oncológica, la más reciente es la tomografía por emisión de positrones fusionada con tomografía computarizada multicorte (PET CT). Hoy por hoy no existe evidencia sobre las ventajas de esta prueba diagnóstica en oncología pediátrica a pesar de que hoy en día sus aplicaciones van en aumento. De todos los tipos de cáncer, en los cuales el PET CT ha sido usado, sólo dos son vistos en la edad pediátrica, el resto de la patología oncológica de los adultos es inusual en esta población. De tal manera que las revisiones hechas con fines estadísticos del PET CT en pacientes oncológicos adultos, no son válidas en pediatría. Se realizó un estudio retrospectivo, descriptivo de pacientes oncológicos pediátricos a quienes se les practicó PET CT. El propósito del estudio fue: 1) Estadificación del tumor previo al inicio de quimioterapia y/o cirugía, 2) Búsqueda de tumor residual, al terminar quimioterapia adyuvante, neoadyuvante, o para etapas metastásicas, 3) Para seguimiento: con la intención de documentar datos de reactivación tumoral, durante la fase de vigilancia de los pacientes ya tratados, y 4) Diagnóstico diferencial de patología tumoral benigna y maligna.

Palabras clave: PET-CT, oncología pediátrica.

Summary

There are many imaging methods used for diagnosis in oncologic surgery. The most recent technique adopted is the Positron Emission Tomography combined with Computed Tomography (PET CT). There is no evidence of the advantage of this method in pediatric oncology, despite the applications are growing progressively. Of all the adult cancers to which PET CT has been applied only two are present in the pediatric population. The rest of the oncologic pathology of adults is unusual in pediatrics. This is why the statistic data of PET CT in adults is not valid in pediatric patients. We performed a retrospective, descriptive study of pediatric oncologic patients that underwent a PET CT study. The purpose of this study was 1) Staging of malignancies before medical or surgical treatment, 2) Searching for residual tumors after adjuvant or neoadjuvant chemotherapy and for metastases, 3) For follow up and early detection of recurrence of cancer following therapeutic interventions, 4) Differential diagnosis between benign and malignant tumors.

Key words: PET-CT, pediatric oncology.

* Jefe de la División de Cirugía.

** Cirujano Pediatra.

Hospital Ángeles Lomas

Correspondencia:

Dr. José Manuel Ruano Aguilar

División de Cirugía

Hospital Ángeles Lomas

Vialidad de la Barranca S/N

Huixquilucan, Edo. de México

Aceptado: 8-09-2006.

ANTECEDENTES

El descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 brindó un método para visualizar las estructuras de los seres vivos. Este evento fue uno de los más importantes en la historia de la medicina moderna. Este método no fue superado en forma ostensible sino hasta prácticamente un siglo después en donde gracias al advenimiento de la tomografía axial computarizada (TAC) que fue introducida en 1973, permitió la generación de imágenes en cortes o rebanadas, mejorando la sensibilidad y la especificidad de las técnicas de imagen,^{1,2} posteriormente el advenimiento

de la resonancia magnética, brindó aún más precisión en el diagnóstico por imagen, principalmente en anomalías de tejidos blandos, agregándose una mayor habilidad diagnóstica, en el ámbito de la radiología.^{3,4} Sin embargo, a pesar de estos métodos que brindan una visualización extraordinaria del tejido normal y enfermo, algunos trastornos pueden pasar inadvertidos; esta falta de sensibilidad en enfermedades tempranas ocurre porque muchas enfermedades inician a nivel celular o molecular y pueden no producir problema en los tejidos por un largo periodo de tiempo y por lo tanto, pasar inadvertidas gran cantidad de enfermedades en estadios iniciales, de tal suerte que para el tiempo en que son visualizadas las alteraciones anatómicas o estructurales puede haberse perdido tiempo valioso para la intervención terapéutica,⁵ esto tiene particular importancia cuando los tratamientos que se llevan a cabo principalmente en pacientes oncológicos tienen una gran cantidad de efectos colaterales, en los casos en donde existe poca o nula respuesta al tratamiento y no existe beneficio alguno en la continuación de este tratamiento.⁶ Las imágenes logradas en medicina nuclear complementan las modalidades estructurales y puede adicionar información antes que los otros métodos de imagen sean sensibles.⁷

En general las técnicas funcionales están basadas en alguno de estos tres abordajes:

- Imagenología de un proceso fisiológico a través del flujo sanguíneo hacia un órgano o un tejido enfermo,
- Visualización de un proceso metabólico entre un tejido normal y uno anormal,
- El uso de metodología farmacológica para marcar tejidos enfermos.

Las enfermedades generalmente se inician a nivel molecular,⁸ y pueden persistir localizadas como anomalías bioquímicas por un extenso periodo de tiempo antes de producir alteraciones del flujo sanguíneo, esta es la relevancia que implica la detección oportuna a través de nuevos marcadores bioquímicos para detectar células enfermas.^{9,10}

Desde principios de 1930 se reconoció el incremento del metabolismo de los carbohidratos por las células malignas.¹¹ Este conocimiento es la base científica de la tomografía por emisión de positrones (PET), la cual fue introducida en 1975. En los años 70 y 80, el PET fue principalmente usado para investigación, su utilización en hospitales para diagnóstico clínico fue a principios de los 90 utilizando como principal radiotrazador el 2-(18F)-fluoro-2-desoxi-D-glucosa (FDG). El FDG es un análogo de la glucosa que se acumula en las células en proporción a su grado de metabolismo.¹² Cuando esta glucosa es fosfori-

lada por la hexoquinasa es metabólicamente atrapada preferentemente en las células tumorales.¹³ El ciclotrón es el aparato donde se produce el radioisótopo, siendo el más utilizado el flúor 18 (18 F). Éste se utiliza para marcar a la molécula 18 fluorodesoxiglucosa (18 FDG). El 18 FDG se administra por vía intravenosa y pasa al espacio intracelular por difusión pasiva, facilitada por las proteínas transportadoras cuya acción se potencializa por el efecto de la insulina y la hipoxia, donde es fosforilada por las enzimas hexoquinasa y glucoquinasa, pasando a 18 FDG-6-fosfato, molécula que no sigue la vía metabólica de la glucosa normal, ya que carece de un ion hidroxilo en el segundo carbono, quedando atrapada de forma intracelular.^{14,15} El análisis del metabolismo de la 18 FDG se realiza en forma cualitativa (examen visual) y cuantitativa, con la determinación del valor estandarizado de captación (SUV), que refleja la radiactividad detectada en una lesión, expresada en función de la dosis inyectada y el peso del paciente. El significado de la medida semicuantitativa de la captación del FDG permanece controversial. Algunos investigadores, han demostrado que el valor de captación estándar (SUV) puede ayudar en la diferenciación de lesiones malignas de las benignas,¹⁶⁻¹⁸ valores por arriba de 4 son generalmente indicadoras de neoplasias malignas, aumentando el grado del tumor al incrementarse el SUV. Sin embargo, las medidas de captación del FDG por técnicas semicuantitativas, como el SUV, es afectado por muchos factores como: la distribución de la 18-FDG, el tiempo transcurrido posterior a la administración intravenosa del radiofármaco, los niveles de glucosa en sangre, tamaño y extensión de la región de interés, talla del paciente y efectos parciales de volumen.¹⁹

La concentración de la 18-FDG no es específica en los tumores malignos, ya que procesos infecciosos e inflamatorios pueden captar 18-FDG, dando como resultado falsos positivos.²⁰

El PET originalmente fue utilizado para el diagnóstico de alteraciones cerebrales. Posteriormente emergieron aparatos de cuerpo entero a finales de la década de los 80.²¹ Este método ofrecía correlación anatómica limitada.²² Afortunadamente ha existido una mejora progresiva en estos equipos y a partir del año 2000 el PET se combinó con la tomografía computarizada (PET CT) el cual es más práctico y brinda beneficios adicionales al sobreponer las imágenes obtenidas por ambos métodos.²³ La fusión de las dos tecnologías nos permite obtener imágenes PET/CT que proporcionan imágenes anatomometabólicas mejorando de esta forma la sensibilidad y especificidad de diferentes enfermedades oncológicas, cardíacas y cerebrales. La adición del TAC al PET ofrece muchas ventajas, incluyendo la obtención de escaneo de transmisión rápida y relativamente con bajo ruido, acortando la duración del estudio y suman-

do información anatómica precisa a las imágenes funcionales.

Existen en la literatura numerosos artículos relacionados con PET, sin embargo son pocos los que se refieren al PET CT, y en pacientes pediátricos oncológicos. En el *cuadro I*, se enumeran algunos de los artículos de PET, en los cuales se analiza este estudio, que incluye pacientes pediátricos, sin embargo no se especifica el porcentaje de los mismos, siendo la mayoría adultos.

La aplicación del PET CT en pediatría es una importante herramienta de imagen, para evaluar enfermedades pediátricas, tiene aplicaciones para el metabolismo cerebral y en la cirugía de epilepsia, ha sido utilizado también para el estudio de desórdenes cerebrales como el síndrome de Rasmussen, encefalopatía hipóxica isquémica, lesiones traumáticas cerebrales, autismo, encefalitis, trastorno por déficit de atención por hiperactividad, esquizofrenia, anorexia y bulimia nervosa; también son conocidas las indicaciones en cardiología como: valoración de la perfusión miocárdica posterior a cirugía cardíaca.^{24,25} Las aplicaciones en oncología son muy destacadas; el cáncer es la segunda causa de mortalidad en la niñez, siendo solamente superada por el trauma infantil.²⁶ De todos los tipos de cáncer, en los cuales el PET CT ha sido usado, solamente en los linfomas y en los tumores cerebrales, son vistos en la edad pediátrica,²⁷ el resto de la patología oncológica de los adultos es inusual en pediatría, de tal manera que las revisiones hechas con fines estadísticos del PET CT en pacientes oncológicos adultos, no son válidas en pediatría. La agudeza para documentar la extensión anatómica de la enfermedad y la respuesta a la terapia son parámetros importantes en el manejo de pacientes con enfermedades como el linfoma.²⁸ Aunque la tomografía es el estudio más empleado para estatificar el linfoma,

tiene limitación al no identificar en nódulos linfáticos de tamaño normal con involucro linfomatoso o diferenciar nódulos linfáticos que están incrementados de tamaño por otras patologías; posterior a la quimioterapia, es difícil distinguir la presencia de fibrosis de enfermedad viable.²⁹

Antes de revisar la aplicación del PET CT en oncología pediátrica, es importante considerar algunas causas potenciales de falla en el diagnóstico, relacionado a procesos fisiológicos de los niños, como son:

- 1) Alta captación del FDG en el timo.^{30,31}
- 2) Alta captación en los centros de crecimiento, particularmente en las fisis de los huesos largos.

Otros potenciales errores pueden ocurrir en la captación de FDG, en músculo estriado, grasa parda, miocardio, tiroides, y tracto gastrointestinal, así como la excreción de FDG, en la pelvis renal, uretero y vejiga, así mismo se puede apreciar una captación difusa de FDG en la médula ósea, y en el bazo, después de la administración de estimulantes de células hematopoyéticas, y observándose, hasta por 4 semanas después de la administración de estimulantes de colonias.³²

Las posibles indicaciones del estudio del PET CT incluyen: detección de metástasis regionales o a distancia al momento del diagnóstico inicial en pacientes de alto riesgo o con lesiones sospechosas; monitoreo de pacientes de alto riesgo para la presencia de recurrencias después de la terapia inicial; detección de metástasis ocultas en sujetos con recurrencia que se piensa sea limitada y quirúrgicamente tratable; seguimiento: con la intención de documentar la presencia o ausencia de reactivación tumoral durante la fase de vigilancia de los pacientes tratados y diagnóstico diferencial: cuando se trata de distinguir entre

Cuadro I. Literatura de PET.

Autor	Edad	Características de la población	Tamaño de la muestra	Sensibilidad %	Especificidad %	VPP %	VPN %
Maisey et al 2000 ²⁶	17-67	Linfoma	58	50	69	44	73
Grab et al 2000 ²⁵	18-82	Masas en anexos	101	58	80	28	93
Wong et al 2002 ²⁴	13-91	Tumores en cuello	143	96	72	69	96
Sperti et al 2005 ²³	14-87	Tumor de páncreas	50	94	94	89	97
Bangerter et al 1999 ²⁰	14 a 74	Linfoma	89	96	94	90	98
Franzius et al 2000 ⁴⁵	2- 42	Sarcoma	70	90	96	83	98
Hafner et al 2004 ²²	18-79	Melanoma	100	8	98	0	100
Antoch et al 2004 ³⁵	16-94	Tumor sólido	260	92	93	88	94
Filmont et al 2003 ⁴⁶	17-68	Linfoma	43	92	88	92	88
Kostakoglu et al 2002 ⁴⁴	15-83	Linfoma	51	100	100	95	98

Abreviaturas: PET = Tomografía por emisión de positrones, VPP = Valor predictivo positivo, VPN = Valor predictivo negativo

enfermedades no neoplásicas.³³ Ni el tumor primario ni sus posibles metástasis son biológicamente homogéneos, con frecuencia presentan zonas con mayor o menor densidad y vitalidad celular. Junto con áreas de tejido viable y en crecimiento, pueden coexistir otras de células hipóxicas, con crecimiento limitado, y otras con necrosis o quísticas. La captación del FDG indica viabilidad celular, pudiendo ser útil para localizar el lugar óptimo para la toma de biopsia.^{34,35}

El diagnóstico definitivo se basa en la demostración histológica del tumor, por lo que la biopsia, es considerada el estándar de oro en el diagnóstico de los pacientes con cáncer.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó estudio retrospectivo, en un año, de pacientes oncológicos en la consulta privada, con diagnóstico confirmado o de sospecha de neoplasia maligna, y se colectaron los datos de aquéllos a quienes se les practicó estudio de PET-CT en el Hospital Ángeles Lomas y Pedregal en el periodo comprendido del 15 diciembre del 2004 a 31 de diciembre de 2005.

En cada caso de PET CT, se registra: edad, sexo, tipo de neoplasia, etapa clínica, indicación del estudio, nivel sérico de glucosa, dosis utilizada del radiofármaco, sitio de tumor primario, estudios de gabinete como: radiografías,

ultrasonido, tomografía computarizada y/o resonancia magnética; así como estudio histopatológico, y diagnóstico.

El estudio PET CT se realiza en los hospitales del grupo Ángeles utilizando un aparato Philips Gemini 2.0j, el cual está compuesto por un tomógrafo y una cámara de positrones llamado también gantry PET. La tomografía computarizada es helicoidal, multicorte, de baja dosis para fusión; de 120 KV, a una velocidad 100 mAs, con cortes de 5 x 5 mm, realizando un promedio de 170 cortes; el PET consta de varios anillos adyacentes con numerosos detectores de centelleo. Estos detectores son cristales de bigermanato de bismuto (BGO) entre otros. Los cristales llevan acoplados tubos fotomultiplicadores para la conversión de la luz originada en el centelleo en un impulso eléctrico y su amplificación. El radiotrazador más utilizado es el 18-FDG tiene una vida media de 110 minutos, es fabricado en el ciclotrón del Hospital Ángeles, con un equipo Siemens RDS, el cual es un aparato que permite la aceleración circular de partículas cargadas, que pueden ser positivas o negativas, y que son aceleradas en un campo magnético oscilatorio, hasta que alcanzan una energía cinética suficiente para producir reacciones nucleares al chocar con un material llamado "blanco" o "diana". Formando así, los radioisótopos emisores de positrones. Los positrones al chocar con los electrones de las moléculas del medio que los contiene producen simultáneamente dos fotones de energía de 0.511 mEv que viajan en sentidos opuestos en un ángulo de 180 grados.

La preparación previa de los paciente pediátricos incluyen canalización de una vena periférica con solución fisiológica, sin glucosa, 12 horas previas al estudio se evitan alimentos ricos en carbohidratos como son dulces, pastas, con el propósito de reducir los niveles de insulina circulantes que dirigen tanto a la glucosa como al FDG hacia los músculos, la hiperglicemia puede resultar en una pobre captación del FDG hacia los tejidos neoplásicos.³⁶ En los pacientes menores de 5 años el estudio se realizó bajo sedación endovenosa. La vejiga debe ser vaciada antes del estudio, ya que una pequeña cantidad urinaria de 18 F-FDG puede contaminar una larga región.

Se administra el 18-FDG a una dosis de 150 microcuries por kilogramo de peso, previa toma de niveles de glucosa sanguínea, (debe ser menor de 150 mg/dL); 45 minutos después de su administración, el paciente es colocado en una camilla situada en la línea que pasa por el centro de los anillos, del tomógrafo y el PET; explorando por territorios al paciente y se obtienen las imágenes de emisión y transmisión en cuerpo completo, desde la base del cráneo y hasta por debajo de la pelvis; se realiza el topograma, se programan los cortes tomográficos y las imágenes que describen la distribución tisular de la molécula marcada, previamente administrada. Las imágenes

Cuadro II. Características generales de la población.

Variable	Pacientes	Estudios	
	N	n	%
Total	12	18	100.0
Sexo			
Masculino	8	12	66.6
Femenino	4	6	33.3
Edad			
Rango	8 m-16 años		
Enfermedad			
Sarcomas	4	6	33.3
Neuroblastoma	2	4	22.2
Hepatoblastoma	1	2	11.1
Linfoma de Hodgkin	1	2	11.1
Linfoma no Hodgkin	1	1	5.5
Teratocarcinoma	1	1	5.5
TNP	1	1	5.5
Glioma de tallo	1	1	5.5
Abreviaturas: TNP: Tumor neuroectodérmico primitivo			

de mayor concentración radiactiva se miden cuantitativamente con el valor estandarizado de captación (SUV). Los datos obtenidos son reconstruidos y corregidos en forma computarizada. Las áreas metabólicamente más activas son colocadas sobre las regiones anatómicas de interés y por medio de un programa de cómputo llamado Syntegra, se realiza la fusión de los archivos de la tomografía computarizada y el PET; posteriormente son analizados por médicos radiólogos expertos en medicina nuclear. La duración del estudio en promedio es de 60 minutos.

RESULTADOS

Se estudiaron 12 casos de pacientes pediátricos con diagnóstico de neoplasia sólida maligna, a partir de enero de

2005, en nuestro grupo oncológico. Se realizaron 18 estudios en 12 pacientes, de los cuales 8 fueron varones (66.6%) y 4 mujeres (33.3%). En el *cuadro II* se muestran las características de la población y diagnósticos histopatológicos de cada uno de los pacientes. Se realizó un solo estudio a 8 pacientes, 2 estudios a dos pacientes y 3 estudios a tres pacientes, con objeto de valorar la respuesta tumoral a la quimioterapia.

En todos los pacientes se realizó exploración física, estudios de laboratorio, de gabinete e histopatológico.

La PET CT fue positiva, es decir con aumento anormal de la concentración de la FDG en 13 de los 18 estudios realizados, correlacionando con la actividad tumoral.

La correlación clínico-radiológica, fue positiva en todos los casos. En nuestro estudio no se detectaron falsos positivos (*Cuadro III*).

Cuadro III. Correlación entre la neoplasia y resultado del PET CT.

Paciente No./iniciales	Diagnóstico	Estudios No.	Sin AT	Con AT	PET CT (+)	PET CT (-)
1 (PFJ)	Sarcoma osteogénico	1	0	1	1	0
2 (EPC)	Sarcoma fusocelular	1	0	1	1	0
3 (GGM)	Fibrosarcoma	1	0	1	1	0
4 (FGM)	Rabdomiosarcoma	3	2	1	1	2
5 (IYU)	Neuroblastoma	3	1	2	2	1
6 (DB)	Neuroblastoma	1	0	1	1	0
7 (JGM)	Hepatoblastoma	2	0	2	2	0
8 (SRA)	Linfoma Hodgkin	2	1	1	1	1
9 (SAC)	Linfoma no Hodgkin	1	0	1	1	0
10 (DTB)	Teratocarcinoma	1	0	1	1	0
11 (JHE)	Glioma de tallo/neurofibromatosis	1	1	0	0	1
12 (MRS)	Tumor neuroectodérmico primitivo	1	0	1	1	0

Abreviaturas: AT = Actividad tumoral. PET CT = Tomografía por emisión de positrones con tomografía computarizada.

Cuadro IV. Correlación de resultados de la PET CT por indicación y evidencia de actividad tumoral.

Indicación	Estudios No.	Sin AT	Con AT	PET CT +	PET CT -
Diagnóstico diferencial	3	1	2	2	1
Estadificación	4	0	4	4	0
Neoplasia residual	7	2	5	5	2
Seguimiento	4	2	2	2	2
Total	18	5	13	13	5

Abreviaturas: AT Actividad tumoral detectada por métodos clínicos, tomográficos o serológicos. PET = Tomografía por emisión de positrones.

La PET CT fue positiva, es decir con aumento anormal de la concentración de la FDG en 13 de los 18 estudios realizados, correlacionando con la actividad tumoral.

INDICACIONES PARA PET CT

La PET-CT se utilizó como instrumento de evaluación durante el seguimiento oncológico en 4 casos (22.2%), en la búsqueda intencionada de residual tumoral al final de la terapia oncológica en 7 casos (38.8%), para estadificar la neoplasia en 4 casos (22.2%) y como diagnóstico diferencial en 3 casos (16.6%) (*Cuadro IV*).

Se realizaron un total de 18 estudios de PET CT. Un solo estudio a 8 pacientes, 2 estudios a 2 pacientes y 3 estudios a 2 pacientes (en estos últimos con el fin de darle seguimiento y valorar la respuesta tumoral al tratamiento con quimioterapia y/o cirugía).

De los 12 pacientes pediátricos, 11 resultaron positivos en la PET CT y 1 negativo: todos corroboraron dichos hallazgos con el cuadro clínico y con el estudio histopatológico.

El primer estudio de PET CT que se realizó a 11 de los pacientes, fue reportado como positivo (aumento anormal de la concentración del 18- FDG, en el sitio del tumor) correlacionando con la actividad tumoral de acuerdo

a los estudios realizados, al igual que el estudio histopatológico. En un solo caso el PET CT se reportó negativo (*Figura 1*) (sin captación del 18-FDG), lo cual fue clínicamente correlacionado (*Cuadro III*).

En dos pacientes se efectuaron dos PET CT: Un niño con linfoma de Hodgkin, se reportó el inicial con actividad tumoral mediastinal, posterior a la quimioterapia, el segundo estudio fue reportado negativo (*Figura 2*) correlacionando con el estado del paciente (sin actividad tumoral).

En el paciente con hepatoblastoma, a su diagnóstico presentó elevación de alfafetoproteína, con estudio histopatológico positivo, recibió quimioterapia neoadyuvante y resección del tumor, al encontrarse en vigilancia, presenta nuevamente incremento del marcador tumoral, con ultrasonido y TAC negativos, el estudio de PET CT detecta una lesión hepática, realizándose resección de la misma y nueva administración de quimioterapia, se toma el segundo estudio de PET CT de control, encontrándose diseminación a mediastino y nuevas metástasis hepáticas (*Figura 3*).

En los 2 pacientes que se realizaron 3 estudios, en uno de ellos con diagnóstico de rabdomiosarcoma los siguientes 2 estudios de control se reportan negativos, coincidiendo con la actividad tumoral del paciente. En el otro

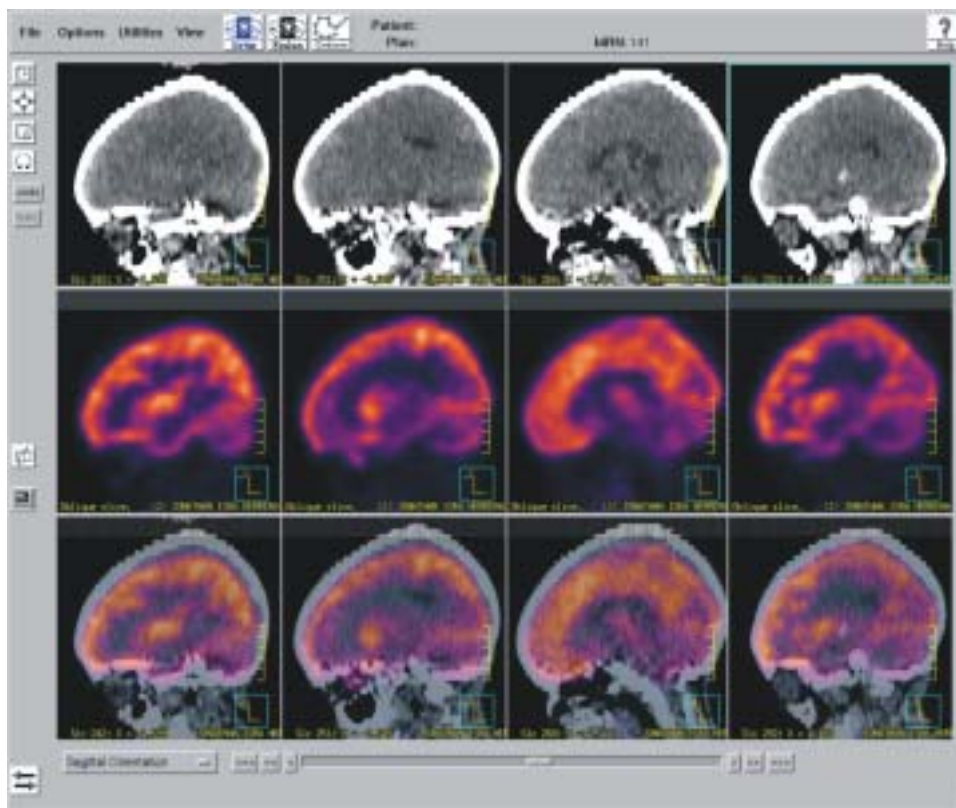


Figura 1. PET CT paciente con neurofibromatosis y glioma de tallo.

paciente, con diagnóstico de neuroblastoma irresecable (Figura 4), fue sometido a biopsias, corroborando el diagnóstico, recibió quimioterapia neoadyuvante, solicitándose nuevo PET CT al término de la misma, encontrando reducción del 50% del tamaño de la lesión (Figura 5), realizándose resección del mismo. Último estudio de PET CT de control resultó negativo para actividad tumoral.

En 2 pacientes la tomografía computarizada, no detectó actividad tumoral en forma aislada, mientras la PET sí lo hizo.

En nuestra casuística en 6 pacientes con actividad tumoral corroborada por PET CT también se les realizó simultáneamente, resonancia magnética nuclear, la cual sólo fue positiva en 5 de los 6 casos.

DISCUSIÓN

El objetivo principal de esta revisión es proporcionar una información preliminar sobre los primeros estudios realizados en nuestro país en niños mexicanos, en quienes existía la sospecha fundada de patología maligna y en quienes posteriormente fueron corroboradas con estudios histopatológicos y de inmunohistoquímica en todos ellos.

El PET CT tiene un crecimiento impresionante dentro de la oncología, permite detectar áreas hipermetabólicas en entidades principalmente malignas aunque no exclusivamen-

te, lo que permite mayor sensibilidad y precisión diagnóstica sobre las imágenes convencionales de TC o IRM.³⁷

La imagen proporcionada por el PET CT es una combinación de la fusión de las técnicas más avanzadas de tomografía, fusionadas con imágenes de medicina nuclear que brindan una doble ventaja, sobre cualquier otro método diagnóstico, al permitir un marcaje molecular sobre un área anatómica que pudiera estar afectada proporcionando *in vivo* mapas numéricos de la actividad metabólica de la glucosa y compararlos entre tejidos sanos y enfermos.³⁸

La concentración del 18 FDG en células neoplásicas viables, metabólicamente activas permite en muchas ocasiones realizar esta diferenciación, que es de gran valor e impacto clínico.³⁹ La sospecha de recurrencia inicia por un deterioro clínico del paciente o por elevación de marcadores tumorales. El diagnóstico de esta recurrencia y su ubicación no es fácil, lo que obliga a realizar una serie de exploraciones repetitivas, hasta llegar a un diagnóstico definitivo.⁴⁰ La PET 18 FDG, permite realizar fácil y rápidamente esta confirmación además de la diferenciación de recurrencia y radionecrosis.⁴¹

En algunos casos, es difícil evaluar los márgenes quirúrgicos o las captaciones discretas de 18 FDG en la zona del tumor y aunque las imágenes funcionales no van a reemplazar a las imágenes anatómicas de TAC o RMN, las limi-

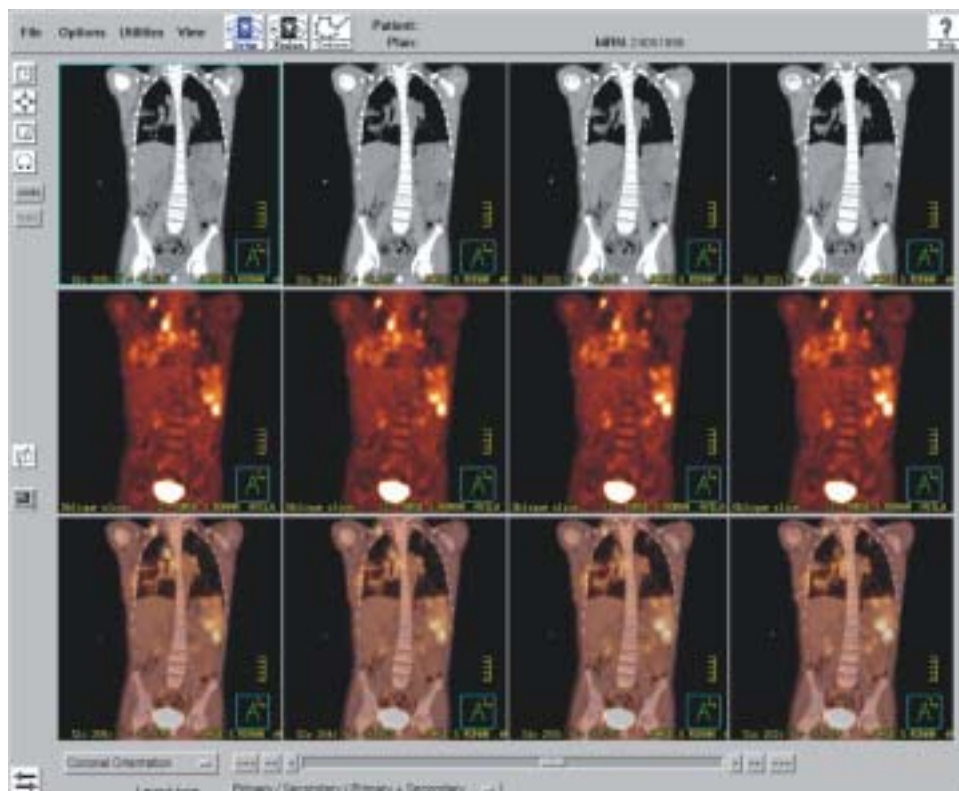


Figura 2. PET CT linfoma de Hodgkin metastático cuello, mediastino y bazo.

taciones en cuanto a localización de la PET se complementan con esos estudios de imagen. El advenimiento de estos equipos en donde ya está incorporado al PET un equipo de TAC, permite que al fusionar las imágenes, se logre demostrar en un solo estudio los cambios morfológicos y metabólicos de la enfermedad, lo que mejora la sensibilidad y especificidad en sus aplicaciones.⁴²

En la literatura se reporta una sensibilidad del 100%, para el FDG PET comparado con 71.5% para el gammagrama con galio en pacientes con linfoma y enfermedad de Hodgkin.⁴³ Franzius et al,⁴⁴ en un estudio realizado en 70 pacientes con diagnóstico de tumor óseo primario, demuestra una sensibilidad del 90%, y especificidad del 98%. En otro estudio, Filmont et al, determinó el valor del PET CT, en la respuesta clínica de pacientes con linfoma agresivo, posterior a tratamiento con quimioterapia y trasplante autólogo de células madre, con resultados de sensibilidad 92% y especificidad 88%.⁴⁵

Es importante mencionar que los estudios anteriores son en pacientes adultos, siendo muy pocos los estudios realizados en niños exclusivamente, uno de ellos realizado por Kenneth, en el cual incluyó 16 pacientes pediátricos con diagnóstico de hepatoblastoma, y en el cual obtuvo 33% de falsos positivos, postulando como una de las

razones, un alto grado de sensibilidad en la detección del uso de la actividad metabólica incrementada a causa de la alta capacidad regenerativa del hígado.⁴⁶

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son similares a lo informado en la escasa literatura pediátrica internacional. Estas observaciones proporcionan fuertes evidencias para la incorporación del PET CT, dentro de los estudios rutinarios en pacientes con neoplasias; así como conducir a cambios en el manejo del paciente y facilitar una apropiada terapia.

La PET CT ha demostrado ser un procedimiento de extraordinaria utilidad, su uso y aplicaciones van en aumento. En nuestro análisis la PET CT se utilizó para la evaluación de la recurrencia del proceso maligno, su respuesta terapéutica, la estadificación y el diagnóstico diferencial de enfermedades malignas, con resultados similares a los encontrados en la literatura; sin embargo nuestra muestra es pequeña, por lo que será necesario realizar en un futuro, más estudios en pacientes pediátricos oncológicos.

El estudio de PET CT siempre debe ser una ayuda y no un sustituto de la clínica y de otros estudios de imagen, dado que aunque tiene un alto índice diagnóstico puede tener

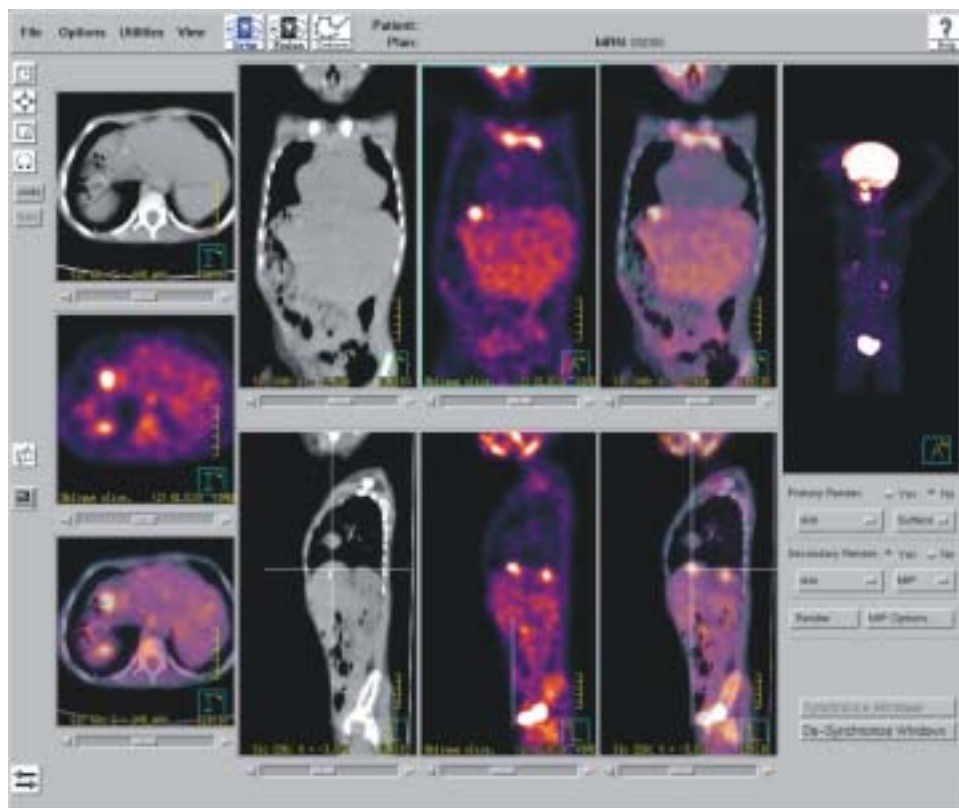


Figura 3. Hepatoblastoma, lesión hepática y mediastino.

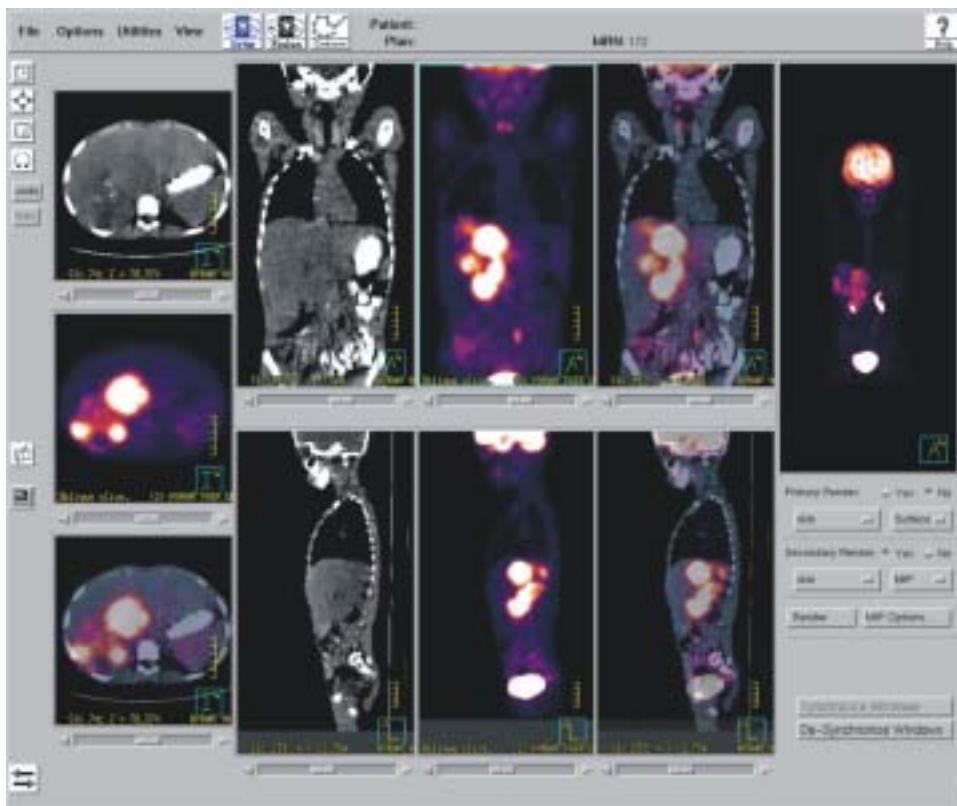


Figura 4. Neuroblastoma suprarrenal derecho (prequimioterapia).

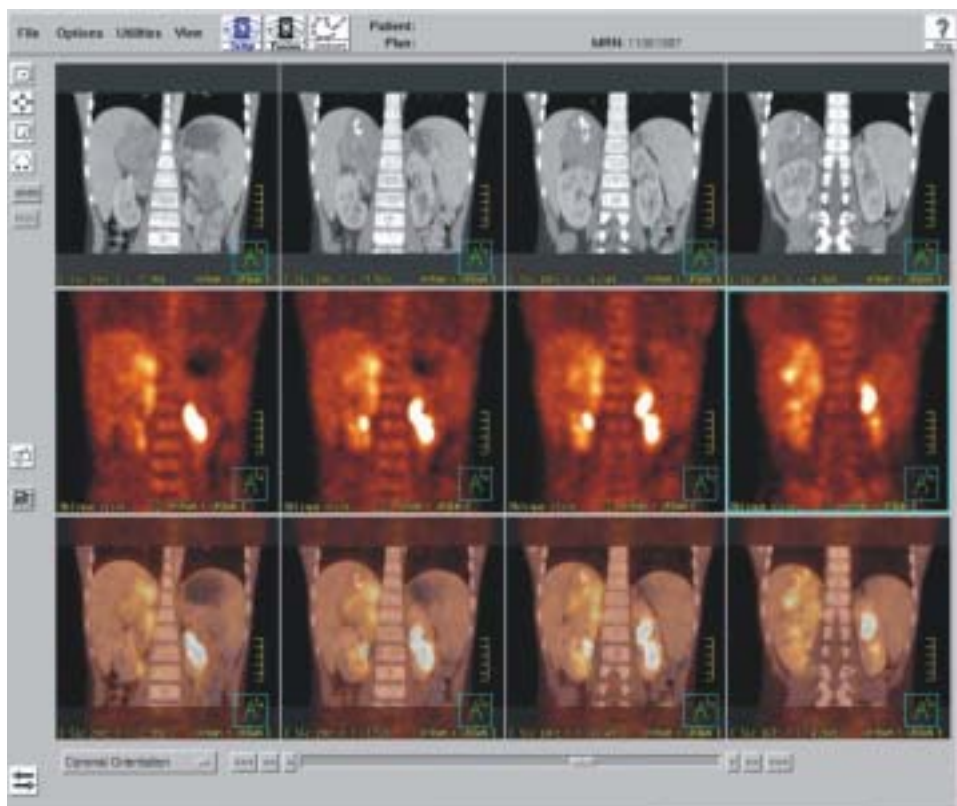


Figura 5. Neuroblastoma suprarrenal derecha (postquimioterapia).

falsas positivas y negativas dadas por imágenes neoplásicas muy pequeñas o por procesos infecciosos o inflamatorios.

REFERENCIAS

- Scanner EG, Chang AE, Doppman JL, Conkle DM, Foie MW, Rosenberg SA. Comparison of computed and conventional whole lung tomography in detecting pulmonary nodules: a prospective radiologic-pathologic study. *AJR Am J Roentgenol* 1978; 131: 51-4.
- Muhm JR, Brown LR, Crowe JK, Sheedy II PF, Hattery RR, Stephens DH. Comparison of whole lung tomography and computed tomography for detecting pulmonary nodules. *AJR Am J Roentgenol* 1978; 131: 981-4.
- Crim JR, Cracchiolo A, Bassett LW, Seeger LL, Soma CA, Chetlain A. Magnetic resonance imaging of the hindfoot. *Foot Ankle* 1989; 10: 1-7.
- Stark DD, Wittenberg J, Butch RJ, Ferruci Jr JT. Hepatic metastases: randomized, controlled comparison of detection with MR imaging and CT. *Radiology* 1987; 165: 399-406.
- Alavi A, Lakhani P, Mavi A, Kung JW, Zhuang H. PET: a revolution in medical imaging. *Radiol Clin N Am* 2004; 42: 983-1001.
- Warburg O. *The Metabolism of Tumors*. New York: Smith; 1931.
- Hawking RA, Hoh CK, Dahlbom M et al. PET cancer evaluations with FDG. *J Nucl Med* 1991; 32: 1555-1558.
- Shulkin BL, Mitchell DS, Ungar DR et al. Neoplasm's in a pediatric population: 2-(F-18)-fluoro-2-deoxy-D-glucose PET studies. *Radiology* 1995; 194: 495-500.
- Dahlbom M, Hoffman EJ, Hoh CK et al. Whole-body positron emission tomography: Part I. methods and performance characteristics. *J Nucl Med* 1992; 33: 1191-1199.
- Tarantola G, Zito F, Gerundini P. PET instrumentation and reconstruction algorithms in whole-body applications. *J Nucl Med* 2003; 44: 756-769.
- Jadvar H, Alavi A, Mavi A, Shulkin BL. PET in pediatric diseases. *Radiol Clin N Am* 2005; 43: 135-152.
- Litvinov LI, Leoentva I et al. PET for diagnosis of mitochondrial cardiomyopathy in children. *Clin Positron Imaging* 2000; 3(4): 172.
- Truong MT, Erasmus JJ, Munden RF, Marom EM. Focal FDG Uptake in Mediastinal Brown Fat Mimicking Malignancy: A Potential Pitfall Resolved on PET/CT. *AJR* 2004; 183: 1127-1132.
- Lucas JD, O'Doherty JJ, Cronin BE, Marsden PK et al. Prospective evaluation of soft tissue masses and sarcomas using fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *British Journal of Surgery* 1999; 86: 550-556.
- Schwarzbach MHM, Dimitrakopoulou-Strauss A et al. Clinical Value of (18-F) Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography Imaging in Soft Tissue Sarcomas. *Annals of Surgery* 2000; 231(3): 380-386.
- Roberts EG, Shulkin BL. Technical Issues in Performing PET Studies in Pediatric Patients. *J Nucl Med Technol* 2004; 32: 5-9.
- Havrilesky LJ, Wong TZ, Secord AA, Berchuck A, Clarke-Pearson DL, Jones EL. The role of PET scanning in the detection of recurrent cervical cancer. *Gynecol Oncol* 2003; 90(7): 186-90.
- Bastiaannet E, Groen H, Jager PL et al. The value of FDG-PET in the detection, grading and response to therapy of soft tissue and bone sarcomas; a systematic review and meta-analysis. *Cancer Treatment Reviews* 2004; 30: 83-101.
- Altamirano LA, Estrada SGR, Ramírez AJL. Tomografía por emisión de positrones (PET). Fundamentos e indicaciones. *Acta Médica Grupo Ángeles* 2005; 3(3): 179-89.
- Bangerter M, Kotzerke J, Griesshammer M, Elsner K et al. Positron Emission Tomography with 18-Fluorodeoxyglucose in the Staging and Follow-up of Lymphoma in the Chest. *Acta Oncologica* 1999; 38(6): 799-804.
- Yat-Yin Y, Wing-Sze Ch et al. Application of Intravenous Contrast in PET-CT: Does it Really Introduce Significant Attenuation Correction Error? *J Nucl Med* 2005; 46: 283-291.
- Hafner J, Schmd MH, Kempf W, Burg G. Baseline Staging in cutaneous malignant melanoma. *British Journal of Dermatology* 2004; 150: 677-686.
- Sperti C, Pasquali C et al. F-18-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography in Differentiating Malignant From Benign Pancreatic Cysts: A Prospective Study. *J Gastrointest Surg* 2005; 9: 22-29.
- Wong RJ, Lin DT, Schöder H, Patel SG, Gonen M, Wolden S. Diagnostic and Prognostic Value of 18-F-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography for Recurrent Head and Neck Squamous Cell Carcinoma. *J Clin Oncol* 2002; 20: 4199-4208.
- Grab D, Flock F, Stöhr I, Nüssle K, Rieber A. Classification of Asymptomatic Adnexal Masses by Ultrasound, Magnetic Resonance Imaging, and Positron Emission Tomography. *Gynecologic Oncology* 2000; 77: 454-459.
- Maisey NR, Hill ME, Webb A et al. Are 18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography and magnetic resonance imaging useful in the prediction of relapse in lymphoma residual masses? *European Journal of Cancer* 2000; 36: 200-206.
- Rostom, Powe J, Kandil A, Ezzat A, Bakheet S et al. Positron emission tomography in breast cancer: a clinicopathological correlation of results. *The British Journal of Radiology* 1999; 79: 1064-1068.
- Watanabe H, Inoue T, Schinozaki T, Yanagawa T. PET imaging of musculoskeletal tumours with fluorine-18 alfa-methyltyrosine: comparison with fluorine-18 fluorodeoxyglucose PET. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 1509-1517.
- Gotthardt M, Battmann A, Höffken H, Schurrat T, Pollum H. 18-F-FDG PET, somatostatin receptor scintigraphy and CT in metastatic medullary thyroid carcinoma: a clinical study and an analysis of the literature. *Nucl Med Commun* 2004; 25: 439-443.
- Zhang H, Tian M, Oriuchi N, Higuchi T et al. 11 C-choline PET for the detection of bone and soft tissue tumours in comparison with FDG PET. *Nuclear Medicine Communications* 2003; 24: 273-279.
- Yanagawa T, Watanabe H, Inoue T, Ahmed AR, Tomiyoshi K. Carbon-11 Choline Positron Emission Tomography in Musculoskeletal Tumors: Comparison With Fluorine-18-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography. *Journal of Computer Assisted Tomography* 2003; 27(2): 175-182.
- Hoegerle S, Nitzsche E, Altehoefer C. Pheochromocytomas: Detection with 18 F DOPA Whole-Body PET – Initial Results. *Radiology* 2002; 222: 507-512.
- Johnson GR, Zhuang H et al. Roles of Positron Emission Tomography With Fluorine-18-Deoxyglucose in the Detection of Local Recurrent and Distant Metastatic Sarcoma. *Clin Nucl Med* 2003; 28: 815-820.
- Schaefer NG, Hany TE, Taverna Ch. Non-Hodgkin Lymphoma and Hodgkin Disease: Coregistered FDG PET and CT at Staging and Restaging- Do We Need Contrast-enhanced CT? *Radiology* 2004; 232: 823-829.
- Antoch G, Saoudi N, Kuehl H, Dahmen G, Mueller SP. Accuracy of Whole-Body Dual-Modality fluorine-18-2-fluoro-2-Deoxy-D-glucose Positron Emission Tomography and Computed Tomography (FDG-PET/CT) for Tumor staging in Solid Tumors: Comparison With CT and PET. *Journal of Clinical Oncology* 2004; 22: 4357-4368.
- Ruano AJ, Calderón EC. *Oncología médico-quirúrgica pediátrica*. 1ra edición. México: McGraw-Hill Interamericana, 2001: 14-21.
- Dodd LG, Scully SP, Cothran RL, Harrelson JM. Utility of fine needle aspiration in the diagnosis of primary osteosarcoma. *Diagn Cytopathol* 2002; 27(6): 350-3.

38. Davoudi MM, Yeh KA, Wei JP. Utility of fine-needle aspiration cytology and frozen-section examination in the operative management of thyroid nodules. *Am Surg* 1997; 63(12): 1084-9.
39. Tsukushi S, Katagiri H, Nakashima H, Shido Y. Application and utility of computed tomography-guided needle biopsy with musculoskeletal lesions. *J Orthop Sci* 2004; 9(2): 122-5.
40. Pacella SJ, Lowe L, Bradford C, Marcus BC. The utility of sentinel lymph node biopsy in head and neck melanoma in the pediatric population. *Plast Reconstr Surg* 2003; 112(5): 1257-65.
41. Ray CI, Ranchere VD, Thiesse P. Evaluation of core needle biopsy as a substitute to open biopsy in the diagnosis of soft tissue masses. *Eur J Cancer* 2003; 39(14): 2021-5.
42. Kostakoglu L, Leonard JP, Kuji I, Coleman M, Vallabhajosula S. Comparison of fluorine 18-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography and Ga 67 Scintigraphy in Evaluation of Lymphoma. *Cancer* 2002; 94: 879-88.
43. Haioun C, Itti E et al. 18-F Fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography (FDG-PET) in aggressive lymphoma: an early prognostic tool for predicting patient outcome. *Blood* 2005; 106(4): 1376-1381.
44. Franzius Ch, Sciuk J, Daldrup-Link HE, Jürgens H. FDG-PET for detection of osseous metastases from malignant primary bone tumours: comparison with bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med* 2000; 27: 1305-1311.
45. Filmont JE, Czernin J, Silverman DHS et al. Value of F-18 Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography for Predicting the clinical Outcome of Patients With Aggressive Lymphoma Prior to and After Autologous Stem-Cell Transplantation. *Chest* 2003; 124: 608-613.
46. Wong KKY, Lan LCL, Lin SCL, Tam PKH. The Use of Positron Emission Tomography in Detecting Hepatoblastoma Recurrence A cautionary Tale. *Journal of Pediatric Surgery* 2004; 39(12): 1779-1781.

