

REVISIÓN

Gac Med Bilbao. 2024;121(2):86-93



Impacto de los parámetros de adquisición en la Tomografía de Emisión de Positrones en resultados clínicos

Bejarano-Buele Ana-Isabel ^a; Aldoulah Zaid-Ali^b, Noboa-Jaramillo Adriana^c

a) Universidad Técnica Particular de Loja. MSc. Física Médica. Experta en radioterapia con aceleradores lineales, unidades de protones, unidades de braquiterapia y otros dispositivos de detección y medición de la radiación. Loja, Ecuador

b) Universidad de Toledo. MSc. Ingeniería Electrónica y candidato a PhD en Ingeniería electrónica. Experto en sistemas de comunicación, control, electrónica e inteligencia artificial. Toledo, Ecuador.

c) Nuclear Medicine World. CEO de Nuclear Medicine World Ecuador. Ecuador

Recibido el 11 de junio de 2023; aceptado el 19 de mayo de 2024

PALABRAS CLAVE

Medicina nuclear.
PET/TC.
Factores.
Adquisición.

Resumen:

Objetivo:

Los resultados de la Tomografía de Emisión de Positrones (PET) son cualitativos y cuantitativos. La observación de imágenes de captación trae consigo también la cuantificación de actividad en los tejidos. Los profesionales de la salud deben entender los factores que pueden alterar estos resultados.

Materiales y Métodos:

Esta revisión es descriptiva con una discusión analítica de las prácticas actuales en el campo de la Medicina Nuclear.

Resultados:

Se presenta una revisión de la literatura acerca de los factores que pueden alterar los resultados de esta tecnología y se analiza críticamente su significado y relevancia en la práctica clínica.

Conclusión:

Siendo el PET/TC una tecnología híbrida, es necesario tener un entendimiento básico de cómo las desviaciones en los procesos de adquisición pueden afectar las imágenes resultantes.

© 2024 Academia de Ciencias Médicas de Bilbao. Todos los derechos reservados.

Impact of acquisition parameters on clinical outcomes in Positron Emission Tomography

Abstract:

Objectives:

The results of Positron Emission Tomography (PET) are qualitative and quantitative. The observation of uptake images brings along the quantification of metabolism. Healthcare professionals should understand the factors that can alter this outcome.

Materials and Methods:

This review is descriptive with an analytical discussion of the current practices in Nuclear Medicine.

Results:

We present a literature review of the factors that can alter the results from this imaging technique and a critical analysis of its clinical significance and relevance.

Conclusion:

PET-CT is a hybrid technology and it is important to have a basic understanding of how deviations in acquisition processes can affect the resulting images.

© 2024 Academia de Ciencias Médicas de Bilbao. All rights reserved.

KEYWORDS

Nuclear medicine.
PET-CT.
Factor.
Acquisition.

Eskuratzeko-parametroek positroien emisio-tomografian duten inpaktua emaitza klinikoetan

Laburpena:

Helburua:

Positroien Emisio Tomografiaren emaitzak kualitatiboak eta kuantitatiboak dira. Kaptazio-irudiak behatzeak ehunetako jardueraren kuantifikazioa ere badakar. Osasuneko profesionalak ulertu behar dute zer faktorek alda ditzaketen emaitza horiek.

Materialak eta Metodoak:

Berrikuspen hau deskriptiboa da, Medikuntza Nuklearraren arloko egungo jardunbideen eztabaida analitiko batekin.

Emaitzak:

Teknologia honen emaitzak alda ditzaketen faktoreei buruzko literaturaren berrikuspen bat aurkezten da eta kritikoki aztertzen da bere esanahia eta garrantzia praktika klinikoan.

Ondorioak:

PET/TC teknologia hibridoa izanik, eskuratzeko-prozesuetako desbideratzeek emaitzazko irudiei nola eragin diezaieketen oinarritzko ulermena izan behar da.

© 2024 Academia de Ciencias Médicas de Bilbao. Eskubide guztiak gordeta.

Giltza-hitzak

Medikuntza nuklear.
PET-CT.
Faktore.
Eskuratzeko.

Introducción

La Tomografía de Emisión de Positrones (PET) es parte del campo de la Imagenología Molecular y permite visualizar de manera no invasiva los procesos moleculares en organismos vivos. Este avance tecnológico es el producto de varias disciplinas incluyendo la física, la ingeniería, la farmacia y la medicina. Desde su invención hasta la presente fecha, PET/TC ha experimentado varios cambios en instrumentación así como también en radiofarmacia y aplicaciones clínicas.

Es muy importante tratar a la tecnología PET/TC como una herramienta clínica más para llegar a diagnósticos y seguimientos más rápidos y certeros. Al mismo tiempo, se debe tomar en consideración que los resultados de esta modalidad son semicuantitativos y que dependen del cuidado, análisis y mantenimiento del equipo de medición. Entender los factores limitantes de la tecnología y del equipo es una tarea que se expande al equipo de profesionales incluyendo médicos, físicos y tecnólogos.

En este artículo se revisan temas que cubren los principios y factores del Standardized Uptake Value (SUV), con énfasis en la importancia de los controles de calidad del equipo. Esta revisión va dirigida a profesionales de la salud incluyendo, pero no limitándose, a médicos, físicos y tecnólogos, como material de educación y referencia. Este artículo es un complemento de "Principios básicos de la Tomografía de Emisión de Positrones PET/CT para profesionales de la salud" publicado por los mismos autores.

Materiales y Métodos

El presente trabajo es una revisión descriptiva con una discusión analítica de los factores que alteran las imágenes resultantes del PET/TC así como también el tipo de radioprotección que se maneja en esta área de imagen. Este estudio corresponde a la consulta y discusión crítica de fuentes primarias y secundarias obtenidas de documentos técnicos, libros de investigación y revistas científicas indexadas, con relación a la temática de investigación. La clasificación documental del proceso de análisis fue identificada y ordenada por clases, definidas éstas según el contenido del propio documento y la experiencia de los autores.

Discusión

Concepto del SUV

En tomografía computarizada, los píxeles son asignados con valores de Hounsfield Units (HU) que es un índice semicuantitativo de atenuación. En PET, éstos pueden ser asignados valores de acumulación de captación, llamados SUV (Standardized Uptake Value) o Valor de Captación Estandarizado. El SUV es una medida del grado de captación del radiofármaco en los diferentes tejidos del paciente. El uso de este valor intenta eliminar la variabilidad introducida por las diferencias en el tamaño del paciente y la dosis de radiotrazador (comúnmente F-18 FDG) inyectado¹⁻⁴.

(Actividad de la Región de Interés (mCi/mL) x Peso del paciente (g))/(Dosis inyectada (mCi))

Si la dosis estuviese distribuida homogéneamente en el cuerpo, el valor SUV sería de 1.0. El SUV no tiene unidades, ya que se trabaja asumiendo que 1 ml de tejido pesa 1 gramo. Los datos para el cálculo del SUV son manualmente insertados en el computador del PET/TC antes de empezar el examen^{2,3,5,6}. Si se delimita digitalmente un volumen en el estudio, se puede cuantificar varios valores dentro de dicha área para poderla describir. Se pueden obtener valores máximos (SUVmax), promedios (SUVmean) y valores mínimos (SUVmin) de SUV de dicho volumen.

Es importante recalcar que el SUV no es un valor altamente preciso o exacto. Existen varios puntos de sesgo y varianza que se introducen al medir este valor. En la práctica clínica, el valor SUV permite hacer una evaluación de captación relativa a la actividad del material que se ha administrado. El uso único y cuantitativo de valores umbrales de SUV para determinar un diagnóstico no es una práctica ampliamente aceptada⁷ por dos razones principales: 1. El estadiaje y diagnóstico no deben de depender de

cuantificaciones precisas, ya que la apariencia de la imagen es suficiente para tales fines. 2. El valor SUV tiene un alto grado de variabilidad por factores físicos, de administración del radiofármaco, metabolismo, y hasta variaciones de flujo de trabajo de cada institución. Es una práctica muy común el reportar valores SUV altos como parte de informes de lectura de imágenes⁸⁻¹² porque son un índice de alta captación, así que es recomendable que los profesionales utilizando este valor como parte de informes y de decisiones clínicas sean conscientes del aporte y las limitaciones de este valor el cual es de utilidad sobre todo para comparar cuando se dispone de estudios previos o basales y mediante el cual se puede valorar la mejoría o avance de enfermedades tumorales.

Otro concepto importante en relación al SUV, es el concepto del SUL, que se refiere al valor SUV normalizado a la masa magra del paciente. El SUV tradicional está normalizado al peso del paciente, lo cual podría alterar los resultados en pacientes obesos ya que una parte significativa del peso es grasa que tiene muy poca captación en estados de ayuno. Esta consideración es importante cuando se comparan estudios PET nuevos y antiguos, en los cuales el paciente ha cambiado significativamente de peso o composición corporal. El SUL es considerado como un valor más confiable y constante para comparaciones de la evolución del paciente. Es preciso decir la estimación realizada por software acerca de la masa magra tiene sus propias limitaciones e incertidumbres, ya que se basa en una fórmula matemática y no en valores extraídos del estudio de tomografía.

Factores que alteran el SUV

Entre los factores que pueden afectar el cálculo de SUV, se incluyen factores fisiológicos y técnicos. Factores fisiológicos son explicados por variaciones individuales de los organismos en el metabolismo del radiofármaco. Factores técnicos son todos aquellos que dependen del estado del equipo, naturaleza de las mediciones, y flujo de trabajo institucional.

Factores fisiológicos

Los factores fisiológicos que afectan el cálculo del SUV incluyen el tiempo de inyección-medición, niveles de trazador en la sangre, extravasación de dosis durante la inyección, peso, talla y IMC adquiridos entre otros. En cuanto al tiempo de medición, la captación de FDG en las lesiones se incrementa rápidamente durante las primeras dos horas. Hay que tomar en cuenta que mientras más se incremente el tiempo desde la inyección hasta la adquisición de imágenes, mayores serán los valores SUV en las células malignas. En algunos casos, esta característica ayuda a diferenciar en imágenes tardías a lesiones con captaciones sospechosas en la primera imagen. La principal razón para el ayuno en pacientes es reducir la glucosa en la sangre para que no compita con la captación de FDG¹³.

Es importante analizar la relevancia del uso y la precisión de valores SUV en las imágenes PET. La precisión se presenta con valores constantes en varias ocasiones en las que se mide algo. Es posible obtener valores SUV precisos

en el caso de conocer o mantener constantes las fuentes de error y varianza introducidos en el procedimiento. La primera categoría que se beneficia de este tipo de mediciones abarca las investigaciones clínicas, ensayos clínicos y creación de nuevos medicamentos. La segunda categoría de prioridad es la evaluación de la respuesta al tratamiento de enfermedades oncológicas. En este caso, el PET/TC ofrece el valor agregado de la tasa de captación. Ante medir solamente las dimensiones del tumor. La tercera categoría es la práctica clínica del día a día. El SUV es un valor que se agrega a la interpretación de imágenes sin ser un determinante absoluto y exclusivo de decisiones clínicas^{8,13}.

En el caso del F-18 FDG, un trazador común, el metabolismo de los tejidos es el factor fisiológico más importante que afecta el SUV. Usualmente, se puede cuantificar el SUV de fondo y compararlo con una región de captación para su posible interpretación. Los tejidos con un metabolismo más alto, como lo son el cerebro, el corazón y el hígado, tienden a mostrar valores de SUV más altos en comparación con otros tejidos. El miocardio particularmente se puede mostrar captante si el tiempo de ayuno no ha sido suficiente para cambiar su metabolismo a ácidos grasos en vez de glucosa. El hígado es un órgano clave en el metabolismo de los azúcares y la FDG no es una excepción. Un tejido con un metabolismo incrementado implica una mayor captación y retención del trazador radiactivo.

La perfusión sanguínea de un tejido también puede influir en la captación del radiofármaco y su SUV. Un aumento en el flujo sanguíneo hacia un área particular puede resultar en una mayor captación del trazador radiactivo y, por lo tanto, en un SUV más alto. La perfusión sanguínea puede variar según el tejido y procesos fisiológicos específicos. Por ejemplo, al conducir un estudio de perfusión, se podría apreciar un flujo incrementado en tejidos con procesos inflamatorios y al mismo tiempo en tejido tumoral. Conjunto con la perfusión sanguínea, el tiempo que tarda el trazador radiactivo en circular por el organismo también puede afectar la captación en el tejido de interés y, por lo tanto, influir en el SUV. Si el tiempo de circulación es corto, es posible que no se alcance una captación óptima del trazador en el tejido, lo que resultaría en un SUV más bajo en la etapa de perfusión. El momento de adquisición de la imagen en relación con la administración del trazador es crucial y depende de la naturaleza del radiofármaco.

La densidad del tejido y la corrección de atenuación también desempeñan un papel en la medición del SUV. Los tejidos con una estructura de mayor densidad, como el tejido óseo, pueden aparecer con valores de SUV más bajos en comparación a otros tejidos de menor densidad. Esto se debe al efecto de atenuación de los fotones gamma por parte del tejido denso, lo que subestima la captación aparente en la imagen. Este efecto se puede remediar al aplicar la corrección de atenuación¹⁴⁻¹⁶. En conclusión, se puede decir que cada individuo puede tener una respuesta única a la captación del trazador radiactivo debido a factores fisiológicos. Es importante tener en cuenta la variabilidad individual al interpretar los resultados clínicos y establecer comparaciones adecuadas.

Factores Técnicos

Toda medición tiene una varianza. El margen de error de un instrumento ayuda a determinar con cuánta exactitud se puede medir un valor. Se utilizan varios cuantificadores de radiactividad en medicina nuclear. Desde que llega el paciente a la institución, se calcula y mide la dosis de radiofármaco, se administra y se vuelve a medir durante la adquisición de imágenes. Al medir la actividad del radiofármaco en cada uno de estos pasos, se incrementa el margen de error.

Un claro ejemplo de variación es la diferencia de la geometría de medición en un activímetro (detector en forma de pozo) y la geometría de medición en el equipo de imagen. En el dosificador, se presenta una geometría muy cercana a 4pi, es decir, el detector se encuentra rodeando a la fuente casi en su totalidad, a excepción de la apertura del detector. Durante la imagen, solamente se pueden contar aquellos eventos que provienen de la sección del cuerpo atravesando el equipo y se pierden todos aquellos eventos de las partes del cuerpo que están fuera del detector. Esto sin contar los eventos perdidos por absorción o scatter en el paciente.

Otros factores importantes toman en cuenta el estado del equipo como detector y los parámetros de adquisición de imagen. Imágenes obtenidas con tiempos cortos de imagen o con dosis muy bajas de radiofármaco no tienen la cantidad de información necesaria para determinar el SUV con bajo margen de error. La manera en que el sistema cuantifica la información de la imagen dentro de un área de interés delineada puede variar^{17,18} entre fabricantes y entre paquetes de software. El protocolo de adquisición utilizado en la PET/TC tiene un impacto significativo en los valores de SUV. Esto incluye factores como la dosis de radiofármaco, el tiempo de inyección del trazador radiactivo, el tiempo de retención y el tiempo de adquisición de imágenes. Por ejemplo, en el caso hipotético de que actividad inyectada es menor a la actividad de la dosis promedio, y el tiempo de adquisición es rápido, la calidad de la imagen sufrirá y tendrá mucho ruido.

Importancia de los controles de calidad

Las imágenes de PET / CT son únicas en su capacidad para cuantificar la distribución del radiotrazador. Por esta razón, cabe resaltar que el rendimiento de un sistema PET / CT influye directamente en el resultado clínico. Es recomendable seguir un programa completo y continuo de control de calidad para sistemas PET / CT para establecer una línea de base de rendimiento para luego poder realizar evaluaciones periódicas anuales, semestrales y diarias. Los usuarios pueden acogerse a las recomendaciones del fabricante así como también revisar otras recomendaciones ejecutadas por organismos internacionales. Todas las pruebas sugeridas pueden efectuarse con las numerosas plataformas de PET disponibles comercialmente¹⁷⁻²². A continuación se presenta una breve explicación de las pruebas más conocidas y su impacto clínico.

Alineación de las imágenes de PET y CT

Una de las características más importantes de estos estu-

dios es la fusión de las imágenes metabólicas y las imágenes morfológicas. En la práctica clínica se observan ciertas fallas en la fusión de imágenes, sobre todo cuando los pacientes han cambiado su posición entre partes del estudio. En estos casos, el usuario puede identificar el fallo en la fusión de imágenes muy fácilmente. Es también necesario hacer un control de calidad para la alineación de las imágenes PET y CT, sin tener la variante del paciente. Estas mediciones se pueden efectuar con la utilización de un fantoma con fuentes radiactivas y marcadores de alta densidad en diversos lugares. Luego de la exploración del fantoma con ambas modalidades, se puede cuantificar el registro de ambas imágenes de forma anual y en su instalación.

Resolución espacial de PET

La resolución espacial de un sistema se refiere a la capacidad de distinguir estructuras de pequeño tamaño en una imagen reconstruida. Por lo general, se define como el ancho completo a la mitad del máximo (FWHM) de una función de dispersión puntual (PSF) y se calcula a partir del perfil de una imagen reconstruida de una fuente radiactiva. Los valores de seguimiento deben estar dentro de $\pm 5\%$ de los valores de referencia. La evaluación de la resolución espacial es muy importante porque permite al usuario reconocer cuál es el tamaño de la lesión más pequeña que el PET puede detectar^{1, 17-20}.

Sensibilidad del equipo

La sensibilidad es una medida del número de eventos detectados por segundo por unidad de actividad en el campo de visión del escáner PET. En el aspecto clínico, mientras más sensibilidad tiene el equipo, la imagen tendrá más eventos de aniquilación registrados y más información, lo que equivale a una buena calidad de imagen.

La prueba se realiza con niveles de actividades muy bajas para disminuir las pérdidas de tiempo muerto y las coincidencias aleatorias. La sensibilidad de un escáner PET no debería variar sustancialmente durante la vida útil del escáner al menos de que exista una falla o actualización de un componente que afecte la sensibilidad. Sin embargo, se espera una disminución gradual de la sensibilidad debido al deterioro de los cristales con la edad. Los valores de sensibilidad de seguimiento deben estar dentro de $\pm 5\%$ de los valores iniciales^{1, 17-20}.

Medición del SUV en fantoma

La medición del rendimiento de la tasa de recuento se usa para evaluar las pérdidas de eventos del sistema con cantidades variables de radiactividad. La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos publica consensos de recomendaciones técnicas para diversos equipos PET. La metodología NEMA NU 2 requiere un fantoma especial de 70 cm con una fuente lineal de radiactividad, acceso al análisis de los sinogramas de PET para calcular las tasas de los diferentes tipos de eventos y el ruido como una función de concentración de actividad. La importancia clínica de esta prueba es que puede afectar las mediciones de valores SUV^{1, 17-20}.

Esta prueba mide la precisión del SUV en un fantoma a base de las imágenes PET reconstruidas. El fantoma apropiado se llena de agua y de F-18. Cuando la actividad se encuentra distribuida de manera uniforme, el SUV es de 1.0. Se pueden también medir los fantomas con otras concentraciones de radiactividad y comparar con el valor calculado.

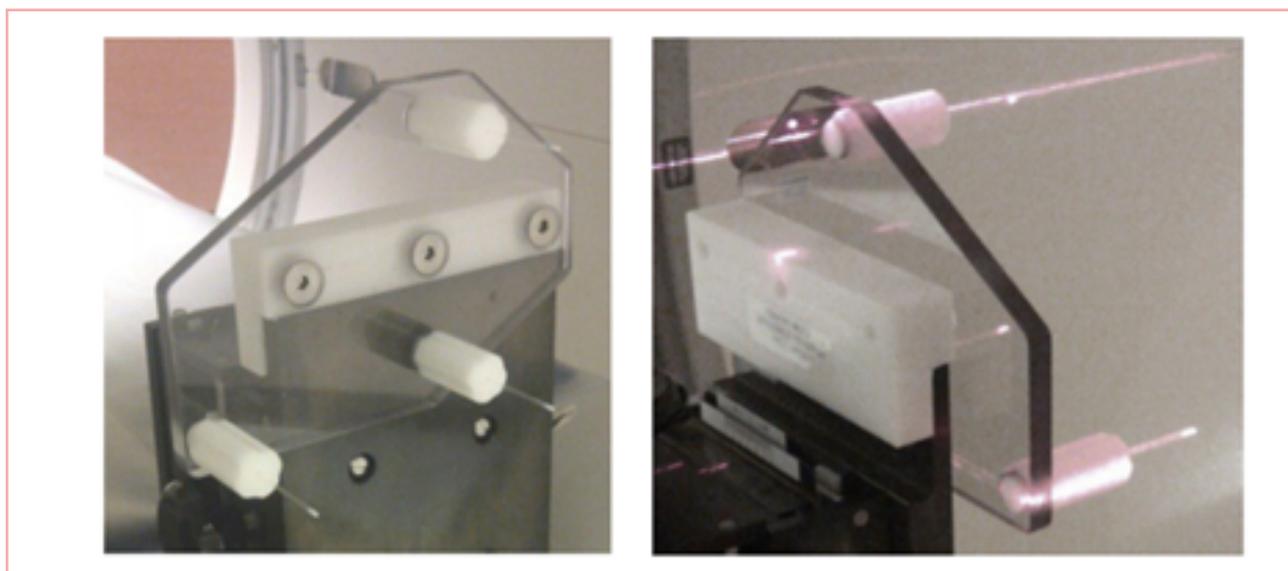


Figura 1. Utilización de tubos capilares con radiotrazador en un fantoma GE para la verificación de alineación de imágenes PET y CT.

Fuente: PET/CT Acceptance Testing and Quality Assurance. American Association of Physicists in Medicine. 2019.



Figura 2. Ejemplo de un fantoma de sensibilidad para PET con varios tamaños de tubos con diferentes actividades.
Fuente: PET/CT Acceptance Testing and Quality Assurance. American Association of Physicists in Medicine. 2019.

Evaluación de la corrección de la atenuación y el contraste de la imagen PET

El propósito de esta prueba es evaluar la calidad de la imagen de PET en condiciones clínicas. Se la puede realizar con un fantoma especial, usualmente el fantoma ACR que contiene cuatro cilindros de diferentes diámetros

y con diferentes niveles de actividad y tres cilindros de materiales de diferente densidad. El usuario puede medir los valores de SUV y la atenuación que representan las diferentes regiones de teflón, aire y agua. Esta prueba verifica que la fusión de imagen entre el PET y el CT y la corrección de atenuación sean correctas^{17,19}.

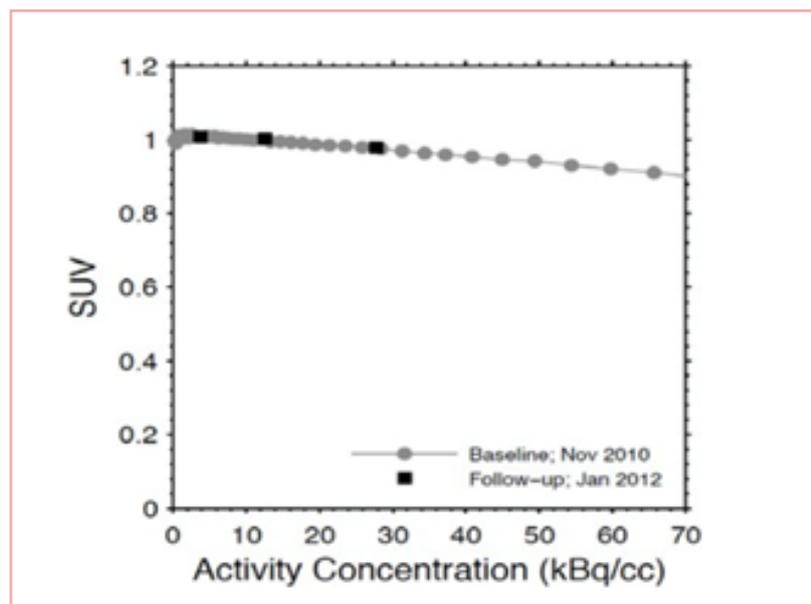


Figura 3. Mediciones de base y monitoreo de valores SUV en función de la concentración de actividad en el mismo equipo. Tiempo entre mediciones: 14 meses.

Fuente: PET/CT Acceptance Testing and Quality Assurance. American Association of Physicists in Medicine. 2019.

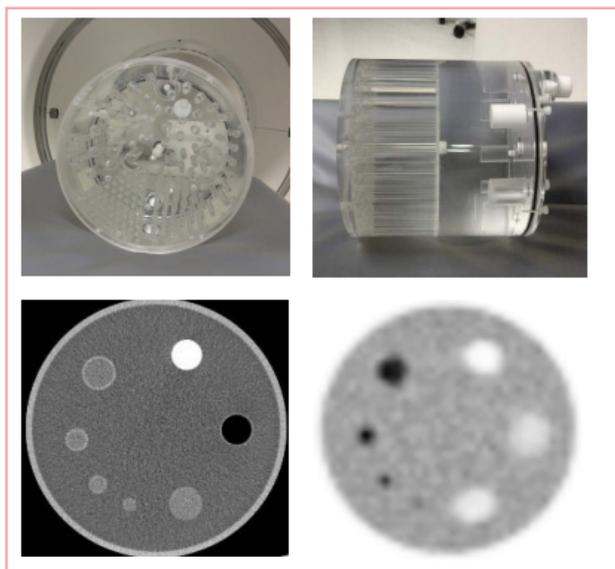


Figura 4. Fantoma de PET del Colegio Americano de Radiología. Arriba se aprecia el fantoma en su forma física. Abajo están las imágenes de CT (izquierda) y PET (derecha). Las imágenes de CT muestran varios cilindros de materiales como aire, agua y teflón. La imagen de PET muestra la atenuación dada por dichos cilindros.

Fuente: PET/CT Acceptance Testing and Quality Assurance. American Association of Physicists in Medicine. 2019.

Evaluación de la uniformidad de la imagen de PET

El propósito de la evaluación de la uniformidad de la imagen es proporcionar una medida de la desviación en la concentración de actividad dentro de un corte^{17,19}. La uniformidad es una medida de homogeneidad de contenido radiactivo en un corte del estudio o en un volumen. Esto previene la mala interpretación de imágenes debido a artefactos ocasionados por el tomógrafo o por fallos en el detector PET. Usualmente esta prueba se puede tomar al cabo en fantomas acrílicos, los cuales tienen que ser llenados con una pequeña actividad de radiotrazador diluido en el volumen de agua.

Conclusiones

Con una modalidad que ofrece un valor cuantificable para su evaluación, es importante entender el origen de la incertidumbre de tales mediciones para poder ajustar su valor clínico. El valor SUV es comúnmente reportado al momento de interpretar un estudio, sin embargo, no es recomendable basar el juicio clínico solamente en este número. Los resultados de esta modalidad son semicuantitativos. Es importante tener conocimiento acerca de los factores que pueden introducir errores en el cálculo del valor SUV, como lo son las características del paciente así como también el equipo. Entre los factores que se refieren al paciente, se debe explorar el uso del valor SUL conjunto con el valor SUV para reducir la varianza, en especial en pacientes obesos o con cambios bruscos de composición corporal. Es importante adquirir datos como, la actividad de trazador inyectado, tiempo de inyección, talla y peso del paciente, de la manera

más exacta para poderlos ingresar en el software para el cálculo de SUV. Para conservar la integridad del rango de SUV así como también la calidad de detección de los detectores, es importante cumplir con un monitoreo del desempeño del sistema con la frecuencia recomendada por el fabricante del equipo así como también por agencias reguladoras nacionales e internacionales. Al prestar atención a estos factores y garantizar un excelente control de calidad, se puede mejorar la precisión y la reproducibilidad de de la interpretación clínica de los estudios de PET/TC.

Declaraciones de autoría

Ana Bejarano contribuye con la estructura del artículo, introducción, trabajo en el apartado de factores técnicos. Zaid Aldoulah contribuye con el apartado de factores técnicos, y control de calidad de equipos. Adriana Noboa contribuye con los factores fisiológicos, y lectura final. Todos los autores aportaron ideas, y revisaron los borradores del manuscrito. Todos los autores aprobaron la versión final. Ana Bejarano es la responsable del artículo.

Declaraciones de financiación

Ninguna.

Conflictos de interés

Ninguno.

Referencias Bibliográficas

1. Lin E. PET and PET/CT. A Clinical Guide. 2nd ed. Thieme; 2008.

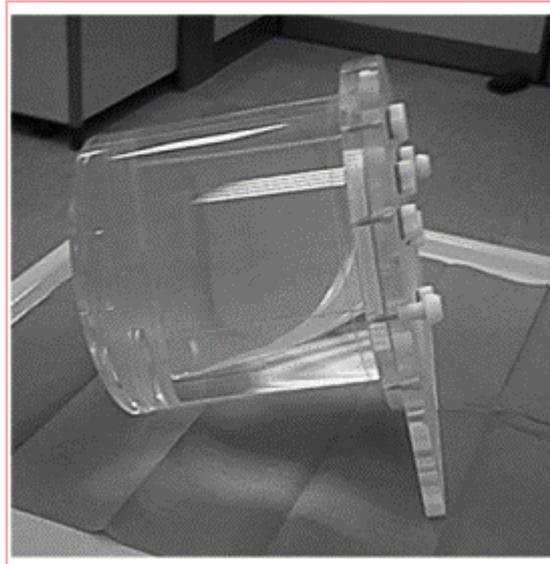


Figura 5. Un fantoma cilíndrico de uniformidad para ser llenado con una solución de F18.

Fuente: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for PET and PET/CT Systems.

2. Fanti S. Atlas of PET-CT. A Quick Guide to Image Interpretation. Springer; 2009.
3. Mettler F, Guiberteau M. Essentials of Nuclear Medicine Imaging, 5th ed. Saunders; 2006.
4. Jaroff L. A Winning Combination. Time Magazine. 2000 Dec 4.
5. Páez D, De los Reyes A, Llamas A. La tomografía por emisión de positrones: nuevo paradigma para la evaluación y el manejo del cáncer. Revista Colombiana de Cancerología. 2007; 11(1): 5-12.
6. Cherry S, Sorenson S, Phelps M. Physics in Nuclear Medicine. 3rd ed. Saunders; 2003.
7. Keyes JWJ. SUV: standard uptake or silly useless value? J Nucl Med. 1995; 36:1836-1839.
8. Kinahan P, Fletcher J. PET/CT SUV in clinical practice and assessing response to therapy. Seminars in Ultrasound CT MRI. 2010; 31(6): 496-505
9. Boellaard R, O'Doherty MJ, Weber WA, et al. FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 1.0. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2010;37:181-200.
10. Delbeke D, Coleman RE, Guiberteau MJ, et al. Procedure guideline for tumor imaging with 18F-FDG PET/CT 1.0. J Nucl Med. 2006;47:885-895.
11. Fukukita H, Senda M, Terauchi T, et al. Japanese guideline for the oncology FDG-PET/CT data acquisition protocol: synopsis of Version 1.0. Ann Nucl Med. 2010;24:325-334.
12. Rohren EM. PET/CT Reporting in Radiation Therapy Planning and Response Assessment. Seminars in Ultrasound, CT and MRI; 2010.
13. Weiss G, Korn R. Interpretation of PET scans: do not take SUVs at face value. Journal of Thoracic Oncology. 2012; 7(12): 1744-1746.
14. Kinahan P, Hasegawa B, Beyer, T. X-ray Based Attenuation Correction for PET/CT Scanners. Seminars in Nuclear Medicine. 2003. 33 (3): 166-79.
15. Buchbender C., Hartung-Knemeyer V., Forsting M. Positron emission tomography (PET) attenuation correction artefacts in PET/CT and PET/MRI. The British Journal of Radiology. 2013.
16. Prathamesh J., Vikram L. Non-corrected images guide correct interpretation of FDG PET/CT: Artfactual FDG uptake in vertebra due to bone cement. Indian Journal of Nuclear Medicine. 2014. 29(1): 58-59.
17. Lu, S., Zhang, P., Li, C., Sun, J., Liu, W., Zhang, P. A PET/CT Phantom for Evaluating The PET Image Quality of Micro-Lesion and CT Performance Parameters. 2020.
18. Dorbala, S., Di Carli, M. F. PET and Integrated PET/CT Myocardial Imaging Protocols and Quality Assurance. Cardiac PET and PET/CT Imaging, 135-150. 2007.
19. IAEA. Radiation protection in newer medical imaging techniques: PET/CT. Safety Reports Series No.58. 2008.
20. Morgan, T. L. Quality Assurance for PET and PET/CT Systems. Health Physics, 103(6), 810-811. 2012.
21. Mawlawi, O., Jordan, D., Halama, J., Schmidtlein, C., & Wooten, W. PET/CT Acceptance Testing and Quality Assurance. American Association of Physicists in Medicine. 2019.
22. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for PET and PET/CT Systems, Human Health Series No. 1, IAEA, Vienna. 2009.