

Capítulo 4

CONTROL DE CALIDAD EN CÁMARAS GAMMA PARA ESTUDIOS PLANARES Y DE CUERPO COMPLETO

El objetivo fundamental de un programa de control de calidad, es garantizar que el equipamiento opere en condiciones óptimas y así obtener las imágenes con buena calidad para los procedimientos diagnósticos. Existen diferentes etapas para comprobar el desempeño de un equipo. Inicialmente, los fabricantes comprueban que los equipos cumplen los requerimientos publicados. Existen diferentes documentos emitidos por asociaciones de productores como la *National Electrical Manufacturer's Association* (NEMA) o la *International Electrotechnical Commission* (IEC). Las pruebas en fábrica verifican el desempeño de los equipos de manera que unidades de diferentes fabricantes sean comparables. Por esto es necesario conocer qué guías (*National Electrical Manufacturer's Association* o la *International Electrotechnical Commission*) se han seguido para establecer sus especificaciones.

Las pruebas de aceptación se realizan para comprobar, después de la instalación, si el equipo cumple con las especificaciones dadas por el fabricante. Es importante que estas se realicen en forma similar a como fueron ejecutadas en la fábrica, para que los resultados sean comparables. Es importante disponer del informe de resultados de las mediciones realizadas en la fábrica. En conjunto con las pruebas de aceptación, debe ejecutarse el programa de pruebas de referencia. Las pruebas de aceptación y operacionales son ejecutadas por un físico médico con experiencia. Estos resultados constituyen las referencias que se verifican de forma rutinaria, o periódicamente en condiciones clínicas.

Las pruebas de verificación operacionales son ejecutadas por el tecnólogo y las pruebas de verificación periódicas son ejecutadas por el físico médico. Varias organizaciones internacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), o sociedades profesionales como la Asociación Europea de Medicina Nuclear (EANM) han publicado documentos que contienen recomendaciones sobre los parámetros que deben verificarse, las pruebas y geometrías de medición y la frecuencia de realización de las pruebas de manera que pueden adaptarse a los requerimientos locales.

En este capítulo se expresan recomendaciones sobre las pruebas que deben considerarse para implementar un sistema de control de desempeño de cámaras gamma, donde se adquieren imágenes planares y de los sistemas donde se realizan estudios de cuerpo completo. De forma general, se recomienda seguir las especificaciones del fabricante e incorporar las pruebas que no sean consideradas por este, pero que su realización es trascendente de acuerdo con la experiencia alcanzada en los servicios de medicina nuclear del país. Se recomiendan las frecuencias mínimas para la realización de las pruebas, pero cada servicio puede evaluar si la frecuencia para una prueba específica deba aumentarse de acuerdo con la situación particular (por ejemplo, en el caso de instrumentos con largo tiempo de explotación). También se brindan recomendaciones para la realización de las pruebas de acuerdo con diferentes escenarios de disponibilidad de maniqués y fuentes calibradas.

Cámara gamma: principio de funcionamiento y componentes

La cámara de centelleo es un instrumento que permite la obtención de una imagen bidimensional, que representa la proyección en un plano de la actividad contenida en un órgano o estructura. Este aparato fue diseñado originalmente por Hal Anger en 1956, en la Universidad de California. Aunque en la actualidad ha tenido muchas modificaciones, hay un esquema básico muy difundido (Fig. 4.1).

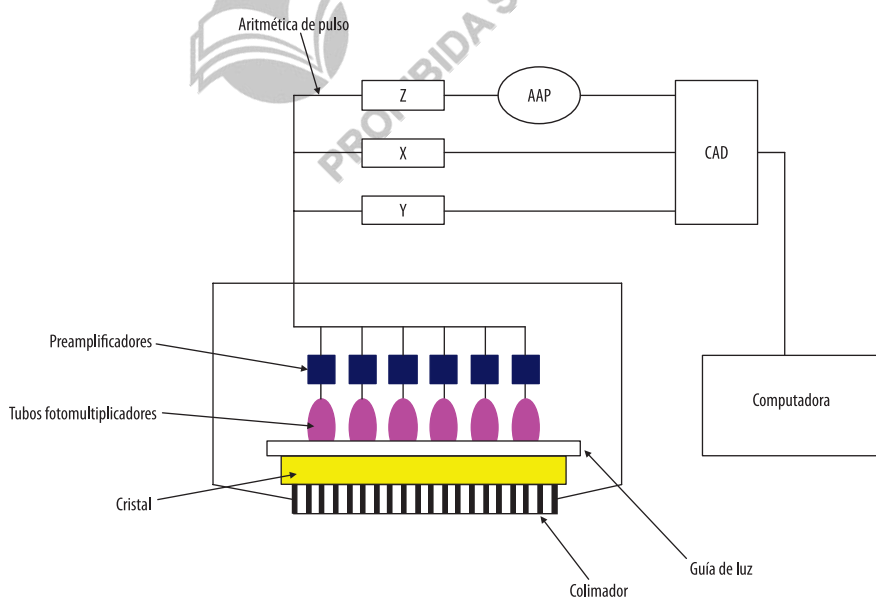


Fig. 4.1. Esquema básico de una cámara gamma.

El detector. Formación de la imagen gammagráfica

El detector está compuesto por un cristal de centelleo de ioduro de sodio activado con talio de espesor y tamaño variables, acoplado a un conjunto de tubos fotomultiplicadores o fototubos, por un gel de acople óptico, también llamado guía de luz. Frente al cristal, se coloca un colimador con múltiples agujeros o septas que protege el detector y determina la geometría de incidencia de los fotones gamma sobre el cristal.

El fotón gamma incidente, que pasa a través de los agujeros o septas del colimador, interactúa con el cristal centelleante y produce un pulso de luz proporcional a la energía depositada en el cristal. El pulso de luz atraviesa el cristal y se transmite, a través del gel de acople óptico, a los tubos fotomultiplicadores que convierten la señal luminosa en señales eléctricas de amplitud proporcional a la luz incidente.

Las señales de los tubos fotomultiplicadores pasan a los circuitos de posición que generan las señales de posición X e Y, de acuerdo con la distribución de amplitudes de las señales de los tubos fotomultiplicadores. Se genera además, una señal llamada señal de energía o señal Z, como la suma de las amplitudes de todas las señales de los tubos fotomultiplicadores, por lo que es proporcional a toda la energía depositada en el cristal. La señal Z es clasificada en el analizador de altura de pulsos, que discrimina las señales por su amplitud para un intervalo de amplitudes (ventana energética) definido por el usuario. Si la amplitud de la señal de energía o señal Z está dentro de la ventana definida en el analizador de altura de pulsos, las señales de posición se digitalizan mediante un conversor análogo-digital y se registra el evento en una matriz de posición en los dispositivos de representación de datos, por ejemplo, una computadora.

La distribución de número de eventos registrados (conteos), en cada posición de la matriz discreta de posición, representa una imagen bidimensional o imagen plana de la distribución del radiofármaco en la región anatómica situada frente al detector. Actualmente, las cámaras gamma cuentan con detectores digitales en los cuales cada tubo fotomultiplicador tiene un conversor análogo-digital y se sustituyen los circuitos de aritmética de pulso por procesadores digitales. Estos sistemas han aumentado considerablemente la capacidad de conteo de eventos en las cámaras y la velocidad del procesamiento de las señales.

El cristal de ioduro de sodio activado con talio posee distintas dimensiones, que determinan el campo de visión. Este puede tener forma rectangular o circular, con espesores que varían entre 3,2 mm y 12,7 mm, determinado por las características de los estudios a realizar. A mayor espesor del cristal, mejor será la eficiencia de absorción, pues aumenta la probabilidad de detección con una mejor sensibilidad para fotones alta energía; sin embargo, disminuye la resolución espacial, pues aumenta la distancia de migración de la señal de la luz emitida, como consecuencia de la interacción con el cristal antes de llegar al tubo fotomultiplicador.

El deterioro de la capacidad de detección del cristal de centelleo puede ocurrir como consecuencia de su envejecimiento por el tiempo de explotación, o fluctuaciones de la temperatura y la humedad ambiental fuera de los límites recomendados por el fabricante. Es recomendable evitar gradientes de temperatura mayores que $5\text{ }^{\circ}\text{C/h}$; la climatización adecuada, que incluya deshumidificadores, permite resolver este problema. Cuando el instrumento no está en uso, el colimador debe permanecer montado, ya que la mayoría de las roturas se producen cuando el cristal está descubierto.

El número de tubos fotomultiplicadores varía considerablemente de un modelo a otro. En Cuba, es posible encontrar equipos desde 37 hasta 91 fototubos, dispuestos según el tipo de cabezal, de manera que cubra la mayor parte del cristal. Todos los tubos fotomultiplicadores deben tener las mismas características de amplificación y operación, de manera que puedan responder con igual número de conteos cuando todo el cristal es sometido a un flujo uniforme de radiación (uniformidad del campo inundado). Un desajuste en la ganancia de un fototubo, trae como consecuencia una alteración en la uniformidad de la imagen por pérdida o aumento del número de conteos. Dado que la respuesta del sistema es la resultante de todas las respuestas de cada tubo fotomultiplicador, es necesario realizar ajustes para “sintonizar” su respuesta. La realización rutinaria de la prueba de verificación de la respuesta a un campo de irradiación uniforme, permite determinar el momento adecuado para realizar el ajuste de los tubos fotomultiplicadores; luego, su realización se hace imprescindible para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Existen muchos tipos de colimadores de acuerdo con la geometría de los septas (agujeros paralelos u oblicuos) y el espesor de la capa de plomo o tungsteno que los compone. El espesor y la separación de los septas permiten determinar el colimador adecuado para un radionucleido, dado por la energía de los fotones emitidos. El colimador afecta la resolución espacial y la sensibilidad, lo que debe tenerse en cuenta si es necesario seleccionarlo para una aplicación determinada. El colimador reduce considerablemente la influencia de la radiación dispersa en el paciente, que no es útil para la imagen, ya que cualquiera de estas cambia los parámetros intrínsecos. Los colimadores de agujeros paralelos son los más empleados en la práctica clínica, pero existen otras geometrías con agujeros inclinados (convergentes o divergentes) que pueden usarse para aplicaciones clínicas específicas.

La disponibilidad de un conjunto amplio de colimadores mejora la capacidad de la cámara para realizar estos estudios específicos con la calidad requerida. Los sistemas comerciales disponen de colimadores con diseños optimizados, para lograr en las aplicaciones clínicas la mejor relación entre sensibilidad y resolución para diferentes energías de fotones. Generalmente se utiliza la denominación de colimador de baja energía de propósito general, alta resolución o superalta resolución, energías medias de propósito general o altas energías. Los rangos de energías dependen del

fabricante. Otros diseños son los colimadores de abanico (*fanbeam*) con agujeros inclinados. Algunos fabricantes ofrecen la posibilidad al usuario de solicitar diseños propios.

Gantry

El *gantry* o sistema mecánico que soporta el detector, es uno de los componentes más importantes de una cámara gamma. Su fortaleza y estabilidad permiten colocar el detector en la posición óptima durante el tiempo que sea necesario; su desajuste puede ocasionar serios inconvenientes en la calidad de la imagen.

En los sistemas planares, el mecanismo más común es una pinza que ata el detector por ambos lados y está sujeta a una columna. Esta pinza es giratoria y permite inclinar el detector (*tilt*) y ejecutar movimientos radiales para alejarlo o acercarlo al paciente, empleando motores telecomandados.

Con la introducción de la tomografía en medicina nuclear, surgieron otros sistemas de *gantry* para permitir el giro del detector alrededor del paciente. Dependiendo del fabricante, pueden encontrarse distintos sistemas de sujeción de los detectores y tipos de *gantry*.

Camilla

La camilla para el paciente es otro dispositivo que se ha adaptado a las distintas características de las cámaras gamma. Inicialmente, fueron camillas comunes, pero en la actualidad se usan camillas sofisticadas “en suspensión”, comandadas electrónicamente. Algunas camillas complementan los movimientos del *gantry* en posición y velocidad de desplazamiento, para que el centro de rotación se mantenga constante o aumentar la capacidad operativa del sistema.

El tablero de la camilla debe ser de un material ligero, con poca capacidad de atenuación de la radiación gamma, de manera que exista uniformidad con las vistas adquiridas con el detector colocado en la vista contraria sobre el paciente. Este material también debe ser resistente, pues en ocasiones soporta pesos excesivos y con el tiempo pierde linealidad. Los sistemas actuales pueden soportar pesos superiores a los 180 kg.

Dispositivos de adquisición y procesamiento

Las cámaras gamma, de acuerdo con su etapa de evolución, poseen una consola o dispositivo de operación, a través del que el sistema recibe las instrucciones durante su funcionamiento. Conectado a esta unidad se encuentran los dispositivos de despliegue y procesamiento de imágenes y datos, que permiten desarrollar la actividad diagnóstica. Los dispositivos que se usan actualmente en Cuba, en todos los servicios que poseen cáma-

ras gammas, cuentan con unidades computarizadas de alto desempeño que permiten adquirir, procesar y archivar los estudios realizados.

Sistemas de cuerpo completo

En la actualidad, la mayoría de los sistemas de cámara gamma poseen la opción de adquirir estudios en la modalidad de cuerpo completo. Esta técnica es de gran utilidad en la práctica clínica, pues permite la formación de imágenes que muestran la distribución de un radiofármaco en todo el organismo. El empleo de imágenes tomográficas de cuerpo completo es muy conveniente y de amplio uso en estudios óseos, exploraciones de flúor dextroglucosa (FDG), estudios de biodistribución y farmacocinética de radiofármacos, así como en cualquier otro examen gammagráfico en el que se desee visualizar todo el cuerpo en una sola imagen. Se muestra un grupo de imágenes estáticas adquiridas durante un estudio gammagráfico de toda la estructura ósea y se aprecia cómo se puede simplificar este estudio con la colección de imágenes de cuerpo completo (Fig. 4.2).

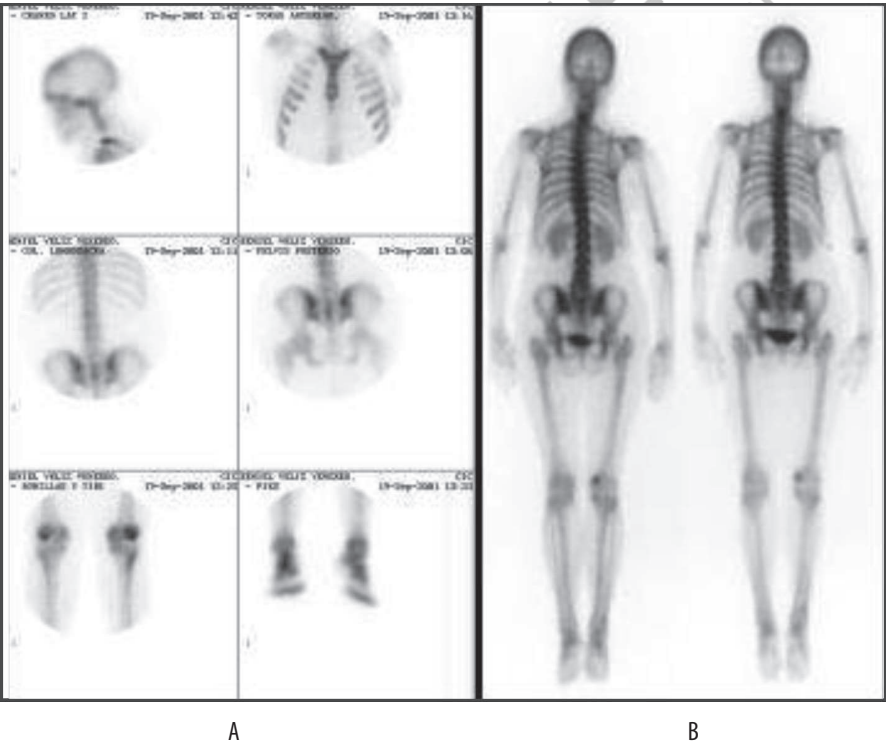


Fig. 4.2. Gammagrafía ósea de todo el esqueleto. A. Múltiples vistas en imágenes estáticas.
B. Estudio de cuerpo completo.

La complejidad y la peculiaridad del proceso de colección de imágenes de cuerpo completo, requiere de procedimientos específicos para evaluar el funcionamiento de dichos sistemas. Sin embargo, esta temática no había

sido abordada, con anterioridad, en los protocolos estandarizados de control de calidad de la instrumentación nuclear. Recientemente, organizaciones internacionales que publican con periodicidad protocolos de control de calidad, han propuesto procedimientos especiales para la evaluación de sistemas de cuerpo completo. Asimismo, varios grupos y equipos de trabajo han desarrollado y propuesto nuevos métodos y procedimientos para el control del funcionamiento de estos sistemas.

Un sistema de cuerpo completo está formado por los componentes tradicionales de una cámara gamma estacionaria, con la peculiaridad de que poseen una camilla o un detector móviles para realizar los estudios a lo largo del paciente. También, se emplean circuitos electrónicos especiales para controlar el movimiento del detector o la camilla y para hacer las correcciones de desplazamiento requeridas durante el proceso de formación de la imagen (Fig. 4.3).

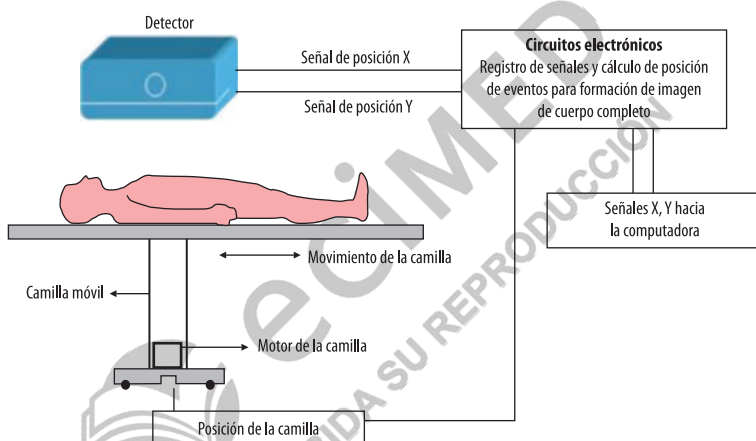


Fig. 4.3. Componentes de un sistema de cuerpo completo.

En este caso, es necesario el desplazamiento del detector o la camilla, debido a que las cámaras gammas poseen dimensiones físicas limitadas y esto permitiría un incremento en el campo de visión del sistema. El área que se logra visualizar está en el orden de las dimensiones del cuerpo humano y en algunos sistemas puede llegar a alcanzar una longitud de hasta 2,5 m. El ancho depende de las dimensiones del detector o de las características del colimador. Estos últimos pueden ser diseñados con geometría divergente, para ampliar el campo de visión de los estudios de cuerpo completo y su empleo requiere de un software específico para su adquisición.

Las señales de posicionamiento X e Y, se obtienen a partir de la posición de detección de los eventos en el detector y de la posición física del elemento móvil (camilla o detector). Estas coordenadas se calculan de modo continuo y exacto durante toda la realización del estudio. Por lo general, la coordenada Y corresponde a la posición en la dirección del eje largo del cuerpo y se obtiene restando, en modo electrónico, la posición de la camilla y las señales

de posición del cuanto gamma en el detector. La coordenada X, denota la posición en la dirección perpendicular a Y, y su valor máximo se corresponde con el ancho del campo de visión. El control del movimiento de la camilla o el detector y el cálculo de las señales X e Y, son elementos importantes en la formación de imágenes de cuerpo completo, ya que alteraciones en el desplazamiento, sincronismo o cálculo de estos parámetros, generan artefactos que degradan la calidad de la imagen de cuerpo completo.

Cuando comienza una adquisición de cuerpo completo, primeramente se abre una ventana electrónica que se va ampliando a través de todo el detector en la dirección de su posterior movimiento o el de la camilla. La velocidad de apertura de la ventana electrónica debe coincidir con la velocidad de traslación del sistema de cuerpo completo. Además, es importante que el comienzo y fin de estas ventanas estén muy bien sincronizados con el del movimiento mecánico del sistema de cuerpo completo. En las cámaras gamma con detectores circulares y en las rectangulares con vértices hexagonales, se hace necesario aplicar correcciones que compensen las diferencias de longitud del campo de visión hacia los extremos del detector. Estas correcciones consisten en multiplicar los conteos obtenidos en cada coordenada lateral por un factor de compensación.

Por otra parte, en sistemas con campos de visión ancho, en el orden o superior a las dimensiones del cuerpo humano, la adquisición de las imágenes se realiza en pasada simple del detector sobre todo el organismo. En sistemas con campo de visión estrecho, se requiere de la técnica de doble o múltiples pasadas para poder visualizar todo el cuerpo. En este caso, también es necesario desplazar el detector o camilla en la dirección X y considerar este movimiento en el proceso de formación de la imagen de cuerpo completo. Estos procedimientos requieren de un especial sincronismo y exactitud para evitar la generación de artefactos en los estudios. En Cuba, todos los sistemas que emplean la técnica de cuerpo completo en la práctica clínica diaria poseen campo de visión ancho, por lo que utilizan la técnica de pasada simple.

Sistemas multidetectores

Algunos sistemas actuales cuentan con varios detectores (dos o tres). En esos casos la movilidad de los detectores dificulta lograr determinadas geometrías de medición, por ejemplo colocar la fuente a una distancia cinco veces las dimensiones del campo de visión. En los sistemas de varios detectores las pruebas deben realizarse para cada detector, sea o no usada para realizar estudios de tomografía de emisión de fotón único (SPECT), lo que incrementa el tiempo y esfuerzo requerido para ejecutar el programa de pruebas. Las pruebas de control para adquisiciones dinámicas o gatilladas se realizan para ambos detectores expuestos a la misma fuente, luego, son el resultado del desempeño de ambos detectores. Deben seguirse las reco-

mendaciones de los fabricantes para la realización de las pruebas y contar con los resultados de las pruebas realizadas en la fábrica.

Calidad de imagen y características de desempeño

La sensibilidad y la especificidad de un método imagenológico, se relacionan con la detectabilidad, que es la probabilidad de encontrar o no una anomalía morfológica o funcional. En medicina nuclear, la detectabilidad de un equipo se expresa a partir de la capacidad que tiene de visualizar una distribución real de un radiofármaco. Esta capacidad depende, básicamente, de tres factores: la resolución espacial de la imagen, el contraste y la densidad de información. Estos parámetros no son independientes entre sí, sino que se relacionan de una manera más o menos directa.

El término contraste se puede desdoblar en el contraste objeto real y el contraste de la imagen. En medicina nuclear, el contraste del objeto depende de la selección del radiofármaco y de la actividad administrada; en general, se obtienen contrastes altos que permiten compensar la baja resolución espacial. El contraste de la imagen depende de las características de transferencia (función de transferencia modulada) con que el sistema imagenológico responde al contraste objeto real o señal de entrada. El contraste de la imagen se valora en función de la relación entre el número de conteos en la estructura a evaluar y en su entorno. Una imagen gammagráfica, es intrínsecamente ruidosa, pues los mecanismos de emisión e interacción radiactivos son aleatorios y los mecanismos de transformación de la señal detectada también lo son.

La densidad de información depende del número de fotones detectados. La naturaleza estadística de la desintegración radiactiva, que sigue una estadística de Poisson, obliga a registrar el mayor número posible de eventos de desintegración, para garantizar el menor error posible (que es proporcional al inverso de la raíz cuadrada del número de conteos acumulados). La estadística de la imagen se puede mejorar, aumentando la actividad administrada o alargando el tiempo de adquisición (hasta donde sea posible). Sin embargo, tiempos superiores a 15 min/vista o 20 min/vista, o más de 45 min, para un estudio, no son alcanzables en la práctica, pues los movimientos del paciente degradan la calidad de la imagen. Por otro lado, someter al paciente a un estudio con radiofármacos, depende de una relación beneficio/riesgo que el médico debe valorar concienzudamente; además, las actividades administradas no deben aumentarse sin una justificación importante, no se deben producir dosis absorbidas mayores que 50 mGy en el órgano blanco. Una imagen estática de calidad aceptable usualmente contiene de 300 000 conteos a 1 000 000 conteos.

En general, es necesario trabajar con la mayor resolución alcanzable por el equipo, aumentar el contraste y el número de conteos dentro de las posibilidades prácticas. Para esto, se deben seleccionar adecuadamente la dosis

de trazador, el colimador, la ventana energética, el método de adquisición de imagen y el tiempo en que se realiza. Además, el sistema debe estar suficientemente ajustado, para garantizar que los cambios de contraste observados en una imagen reflejen los cambios reales en el contraste-objeto y no un producto de la degradación de los parámetros funcionales del equipo. El programa de pruebas de un sistema de control de calidad, permite evaluar el desempeño de una cámara gamma, para garantizar que la imagen tenga valor diagnóstico. El programa de pruebas evalúa si tiene una respuesta uniforme en todo el campo de visión frente al radionucleido a utilizar, que sea capaz de localizar las coordenadas reales de un evento, si tiene una resolución espacial adecuada para la detección de defectos y una respuesta lineal al número de conteos obtenidos. Sin embargo, el alcance del programa, es decir, los parámetros que se valoran y las frecuencias de realización de las pruebas, dependen del alcance de las aplicaciones que realiza el servicio.

La resolución espacial de las cámaras de centelleo oscila entre 5 mm y 10 mm, aunque se pueden visualizar lesiones más pequeñas, si tienen alto contraste y están aisladas de otras estructuras. Es un parámetro de desempeño que se evalúa a partir del ancho a la semialtura de la función de dispersión de una fuente lineal o puntual. Las funciones de dispersión se construyen a partir de un perfil de conteos vs. posición (pixel) sobre la imagen de una fuente lineal o puntual (Fig. 4.4).

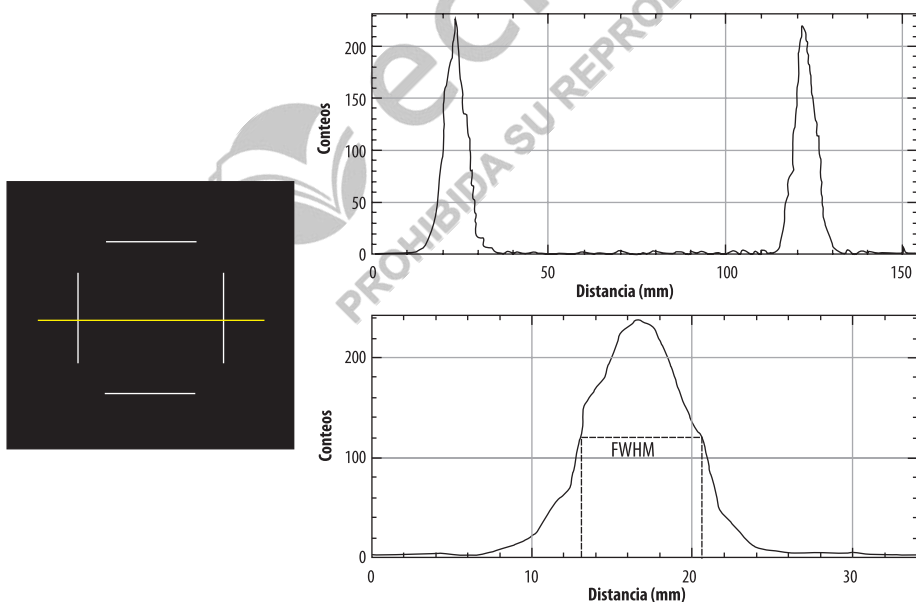


Fig. 4.4. Perfil de conteos vs. posición, que representa la función de dispersión de una fuente lineal.

La resolución energética describe la capacidad que tiene una cámara gamma para distinguir dos fotones de energías distintas, pero cercanas entre sí, particularmente entre la radiación primaria y la dispersa. Se reporta la resolución energética como la razón entre el ancho a la semial-

tura en el fotopico y la energía del máximo en fotopico, expresado en porcentaje (Fig. 4.5).

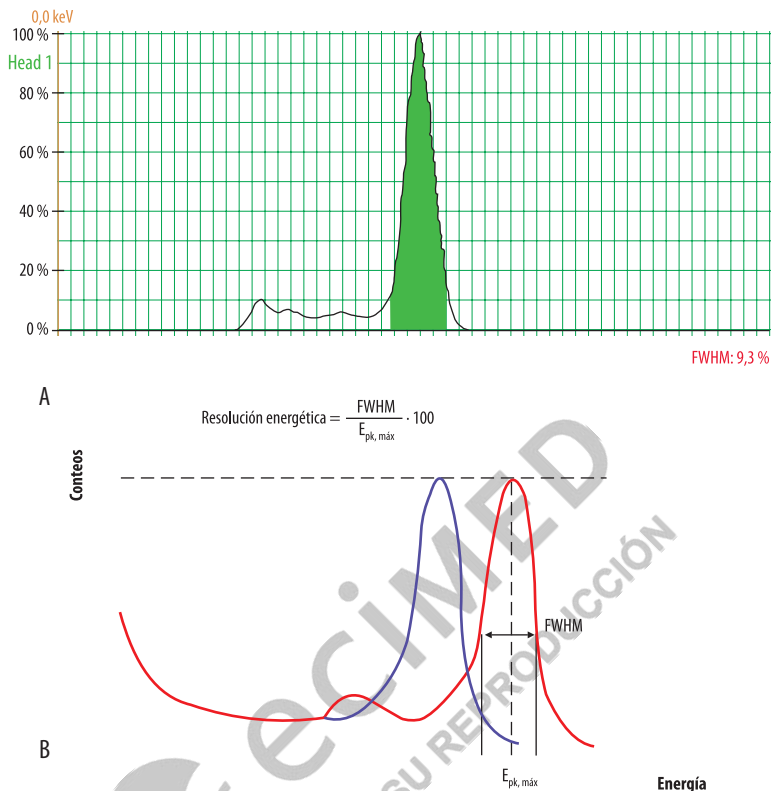


Fig. 4.5. Determinación de la resolución energética. A. Espectro energético de tecnecio-99m medido sin colimador. B. Cálculo de la resolución energética.

Los factores principales que degradan la resolución energética son la asintonía de la ganancia de los fototubos; la falla de uno o varios fototubos, deterioro del cristal, desacople entre el cristal/guía de luz/fotomultiplicadores, la presencia de fondo elevado en el local y las altas tasas de conteo.

Algunos equipos no permiten cuantificar matemáticamente la resolución energética, pero sí visualizar el espectro energético completo del radionucleido. En estos casos, la observación detallada del espectro es de vital importancia en los controles diarios, para detectar cualquier anomalía como la componente Compton muy levantada, el fotopico muy ancho o la indefinición entre el borde Compton y el fotopico.

La linealidad espacial expresa la capacidad de la cámara gamma para localizar las coordenadas reales de un evento, es decir, constituye un indicador de la distorsión espacial de la imagen respecto al objeto. En los casos en que es posible evaluar matemáticamente la linealidad espacial, esta prueba debe efectuarse siguiendo las instrucciones del fabricante.

Estos procedimientos y maniqués son específicos en cada fabricante que evalúan parámetros variados como la linealidad diferencial, la linealidad absoluta, y algunos índices de distorsión. Este protocolo no incluye ningún procedimiento estandarizado para evaluar cuantitativamente la linealidad espacial, aunque esta puede comprobarse cualitativamente con la conservación visual de las líneas al comprobar la resolución espacial, ya sea con fuentes lineales o con un maniquí de cuatro cuadrantes o barras.

La uniformidad intrínseca caracteriza la respuesta del sistema de detección ante un flujo uniforme de radiación, procedente de una fuente puntual, o sea, representa las no uniformidades del sistema. La uniformidad frente al campo inundado y la linealidad espacial, se relacionan proporcionalmente entre sí, pues una imagen que muestre distorsión espacial visible mostrará pérdida de uniformidad también visible. Es un parámetro de desempeño y se determinan dos magnitudes:

- Uniformidad integral:

$$UI = \frac{C_{\text{máx}} - C_{\text{mín}}}{C_{\text{máx}} + C_{\text{mín}}} \cdot 100 \% \quad (4.1)$$

Donde:

UI: uniformidad integral.

$C_{\text{máx}}$ y $C_{\text{mín}}$: valores de conteos máximo y mínimo en el campo de visión útil o en el campo de visión central.

- Uniformidad diferencial:

$$UD = \frac{V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}}{V_{\text{máx}} + V_{\text{mín}}} \cdot 100 \% \quad (4.2)$$

Donde:

UD: uniformidad diferencial.

$V_{\text{máx}}$ y $V_{\text{mín}}$: valores de conteos máximo y mínimo entre cinco píxeles contiguos en el campo de visión útil o campo de visión central.

El campo de visión útil es el área del detector utilizada para la formación de las imágenes y su forma es definida por el fabricante. El campo de visión central se define como el 75 % del campo de visión útil. La uniformidad integral es una medida de la variación entre los valores máximo y mínimo de todos los píxeles en el campo de visión útil y en el campo de visión central. La unidad diferencial se define de manera similar, pero limitada al área aproximada de un tubo fotomultiplicador y se reporta la mayor diferencia entre dos píxeles cualesquiera, en un conjunto de cinco píxeles contiguos, en una fila o columna (ver Fig. 4.5).

Los sistemas comerciales modernos, fundamentalmente los sistemas multidetectores tienen protocolos propios para evaluar este parámetro y procesar las imágenes. El parámetro que habitualmente se mantiene bajo vigilancia es la uniformidad integral, por su impacto en la calidad de las

imágenes planares, considerándose como límite de aceptación uniformidad integral menor o igual que 3 % para sistemas de tomografía de emisión de fotón único. Puede mantenerse el sistema bajo operación para valores superiores de no uniformidades y uniformidad integral menor o igual que 5 %, pero solo para realizar adquisiciones de imágenes planares. La uniformidad diferencial tiene mayor trascendencia en la realización de estudios de tomografía de emisión de fotón único.

Algunos documentos muestran compilaciones de artefactos o defectos en las imágenes, debido a problemas con la respuesta uniforme y otros parámetros de desempeño. El factor principal que degrada el rendimiento de la tasa de conteo es una disminución en la relación no lineal entre los eventos observados (fotones que llegan al cristal) y los detectados. Esto puede ser causado por una ventana energética estrecha, colección en un modo de *zoom* o por un aumento en el componente de fotones dispersos. Si la tasa de conteos es alta, además de las pérdidas de eventos registrados debido al tiempo muerto del sistema de procesamiento de las señales, pueden ocurrir desplazamientos espaciales en la imagen que degradan la resolución espacial.

En sistemas que realizan simultáneamente la adquisición y análisis con dos o más detectores, se puede degradar el desempeño de la tasa de conteo debido al software. La medición del desempeño, para alta tasa de conteos, es dependiente de la presencia de objetos y medios dispersantes.

La sensibilidad plana es una característica de operación de una cámara gamma, que se define como la tasa de conteo (cps) por unidad de actividad (MBq) para una fuente plana de diámetro definido, colocada a una distancia definida de la superficie expuesta de la cubierta del cristal (sensibilidad intrínseca) o a una distancia definida de la superficie expuesta del colimador (sensibilidad del sistema). En general, la sensibilidad intrínseca es directamente proporcional al espesor del cristal y a la amplitud de la ventana energética, pero inversamente proporcional con la energía de los fotones incidentes.

El uso de los colimadores disminuye la sensibilidad del sistema respecto a cuándo no se usa colimador, pues la sensibilidad del sistema se relaciona directamente con la proporción que existe entre el área del cristal no cubierta por los tabiques del colimador y la superficie total del cristal; también, disminuye con el aumento del espesor de los tabiques del colimador. Los factores principales que degradan la sensibilidad plana intrínseca, son: pérdida de conteos debido a tasas elevadas de conteo, sintonización incorrecta de la ganancia de los tubos fotomultiplicadores, fallas en uno o varios tubos fotomultiplicadores, faltas de linealidad espacial, defectos o deterioro del cristal, separación física del cristal y del ensamble de los tubos fotomultiplicadores y la guía de luz, y el ajuste incorrecto de la posición y de la amplitud de la ventana energética. Los factores adicionales

que degradan la sensibilidad del sistema, son los defectos y los daños del colimador.

Pruebas para el control de calidad en cámaras gamma planares

En general, cada fabricante recomienda sus propios procedimientos de control para comprobar que los parámetros de funcionamiento más importantes se mantienen dentro de los límites establecidos para su equipo. Este protocolo recomienda que las pruebas de aceptación se realicen siguiendo las recomendaciones del fabricante, o se sigan las que aparecen para sistemas planares y de cuerpo completo en el documento emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica, si el parámetro no está incluido en el programa de pruebas del fabricante.

La estandarización de las pruebas de control de calidad, en cada una de las instituciones de salud, se hace posible con la existencia de un protocolo nacional que puede ser aplicable a la realidad de cada servicio, de conjunto con la habilidad de crear maniqués propios que favorezcan su cumplimiento ante la carencia, en ocasiones, de los maniqués estandarizados más conocidos, que tienen un alto precio. Se muestran algunos de los materiales más empleados para estos fines (Fig. 4.6). Existen algunos sistemas que poseen aditamentos y algoritmos especiales para la realización de algunas pruebas que pueden sustituirse o modificarse parcialmente. En estos casos, se deja a elección del personal calificado los cambios al protocolo a seguir. Sin embargo, debe recalcar que es importante la realización del mismo procedimiento y comparar las diferencias en los resultados cuando se realizan modificaciones al procedimiento recomendado por el fabricante.

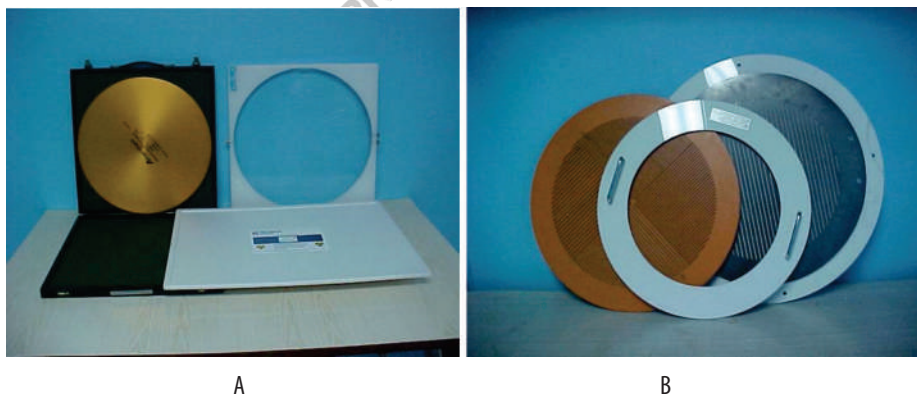


Fig. 4.6. Materiales empleados para el control de calidad de cámaras gamma planares.

A. Fuentes planas de cobalto-57 (circulares o rectangulares) y maniquí rellenable con soluciones radiactivas para simular una fuente plana. B. Maniquí de cuatro cuadrantes, máscara de plomo y maniquí de linealidad.

Pruebas de aceptación y referencia

Se expone la relación de pruebas recomendadas para el protocolo de aceptación de cámaras gamma, donde se realizan estudios planares estáticos, dinámicos, gatillados y rastreos de cuerpo completo (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Relación de pruebas de aceptación, de referencia y operacionales

Prueba	Aceptación	Referencia	Operacionales
Inspección física	X	-	Diaria
Comprobación de la posición de la ventana en el analizador de altura de pulsos	X	X	Diaria*
Uniformidad intrínseca	X	X	Semanal
Uniformidad intrínseca para distintas amplitudes de ventana	X	-	-
Uniformidad del sistema	X	X	Semestral
Resolución espacial y linealidad	X	X	Semestral
Resolución espacial del sistema	X	X	Semestral
Prueba de la tasa de conteos máxima	X	-	-
Sensibilidad planar del sistema	X	X	Semestral
Resolución energética	X	X	Semestral
Comprobación de las adquisiciones dinámicas	X	X	Semestral
Comprobación de las adquisiciones gatilladas	X	X	Semestral
Filtración de radiación por el blindaje del cabezal	X	-	-
Registro en múltiples ventanas	X	X	Semestral
Tamaño del pixel	-	X	Semestral

*La frecuencia se establece como diaria, pero en caso de radionucleidos diferentes al tecnecio-99m debe realizarse la comprobación cada vez que sea utilizado el radionucleido, como por ejemplo el yodo-131.

Pruebas operacionales

Según la relación de las pruebas de referencia y las frecuencias recomendadas para las pruebas operacionales se puede realizar la verificación periódica de los parámetros medidos (Tabla 4.1).

Comprobación de la posición de la ventana en el analizador de altura de pulsos

Objetivo

Verificar el corrimiento del centro de la ventana en el analizador de altura de pulsos (analizador de altura de pulsos) con respecto a la posición del fotopico en el espectro energético medido para los radionucleidos utilizados en la práctica clínica. Los resultados serán usados como referencia durante los controles periódicos u operacionales.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia. Se debe comprobar periódicamente con una frecuencia diaria para el tecnecio-99m y en caso de otro radionucleido debe realizarse la comprobación cada vez que sea utilizado.

Materiales

- Fuente puntual preparada según las recomendaciones del fabricante.
- En caso que no existan, preparar fuentes, por ejemplo, viales de plástico o cristal, con actividad igual 10 MBq (0,27 mCi) de los radionucleidos que se usan en la práctica clínica, utilizando un contenedor de plomo con espesor de pared de 5 mm y un agujero de 3 mm de diámetro para simular una fuente puntual.

Procedimiento

Se recomienda seguir el procedimiento descrito por el fabricante para esta prueba. Se aconseja verificar visualmente el espectro adquirido, para comprobar la posición de la ventana energética. Garantizar que la tasa de conteos no supere el valor de tasa de conteos máximo para las condiciones referidas.

Si no hay recomendaciones del fabricante, se deben cumplir estas instrucciones:

1. Retirar el colimador.
2. Colocar la máscara de plomo, si es necesario.
3. Alinear el detector con el soporte de la fuente puntual.
4. Colocar la fuente en el soporte.
5. Seleccionar las opciones de umbral y ancho de ventana, centrada en el fotopico del radionucleido.
6. Adquirir un espectro. Comprobar que la ventana esté correctamente posicionada en la región del espectro correspondiente.
7. Retirar la fuente.
8. Repetir los pasos anteriores con los restantes radionucleidos.

Interpretación de los resultados

Si en el momento de la aceptación no están ajustadas todas o alguna de las ventanas energéticas, debe sospecharse problemas con la calibración energética, por lo que debe exigirse al fabricante que realice las acciones correctivas. Así mismo debe procederse en caso de que el fotopico no está centrado. Registrar el valor del corrimiento relativo entre posición del fotopico en el espectro medido respecto al centro de la ventana, si el sistema reporta dicho valor.

Uniformidad intrínseca

Objetivo

Comprobar la respuesta del detector a un flujo uniforme de fotones sobre el campo de visión, usando una ventana simétrica centrada en el

fotopico del radionucleido, mediante la determinación de los valores de uniformidad integral y diferencial en el campo de visión central y el campo de visión útil. Los resultados serán usados como referencia durante los controles periódicos u operacionales.

Frecuencia

Después de establecida la referencia, durante las pruebas de aceptación, se debe comprobar con una frecuencia semanal, para el tecnecio-99m. En caso que el sistema requiera la verificación de la corrección de uniformidad con otro radionucleido, la comprobación debe realizarse también con la misma frecuencia.

Materiales

- Fuente puntual preparada según las recomendaciones del fabricante, o seguir las recomendaciones dadas en el epígrafe 2.3.3 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica de 2009 sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único (*Quality Assurance for SPECT Systems*).
- Usar una fuente puntual con actividad entre 10 MBq y 20 MBq (0,27 mCi y 0,54 mCi) de tecnecio-99m, de manera que la tasa de conteos registradas no sea mayor a 30 000 conteos/s.

Procedimiento

Se recomienda seguir el procedimiento descrito por el fabricante para esta prueba. Si no existen recomendaciones del fabricante, se recomienda usar como referencia las recomendaciones dadas en el epígrafe 2.3.3 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica de 2009 sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único (*Quality Assurance for SPECT Systems*).

Observaciones

Durante los controles de aceptación y referencia, debe realizarse la prueba de uniformidad intrínseca, con y sin la corrección de uniformidad. La mayoría de los sistemas modernos poseen sistemas para el procesamiento de las imágenes, recomendándose su uso. En caso del desarrollo de herramientas computacionales propias, debe realizarse la validación de estas.

Interpretación de los resultados

Se deben seguir las instrucciones del fabricante para hacer el procesamiento y análisis de los resultados. Se recomienda que durante las pruebas de aceptación o después de reparaciones importantes, se adquieran y conserven imágenes sin corrección de uniformidad, que permitan conocer el comportamiento del sistema ante fallas de los circuitos de corrección. Los valores de uniformidad en las imágenes, con la opción de corrección desactivada, se aprecian con una menor calidad de imagen que los determinados

para las imágenes con la corrección activa, lo cual no indica mal funcionamiento del sistema.

Generalmente, los fabricantes establecen límites de aceptación para estas diferencias. Cuando los valores de uniformidad, para las imágenes no corregidas, están fuera de estos límites, debe evaluarse la linealidad espacial. En caso que el sistema permita almacenar los mapas de corrección de diferentes radionucleidos, debe planificarse el cronograma de pruebas, para realizar las verificaciones correspondientes de cada radionucleido. Se recomienda realizar las mediciones con la corrección de uniformidad activada y desactivada. En caso de sistemas que usan un solo mapa de corrección de uniformidad para derivar el resto, esta prueba toma vital importancia.

No deben existir diferencias en los resultados para los diferentes radionucleidos. Durante la aceptación del equipo, la uniformidad integral y la diferencial no deben resultar en una diferencia mayor que el 10 % respecto al valor reportado por el fabricante; aunque se recomienda exigir que la cámara gamma se ajuste a los valores de las especificaciones técnicas con las que se adquirió. Si durante los controles periódicos u operacionales, se obtiene el 20 % de diferencia con el valor establecido como nivel de referencia, se recomienda iniciar acciones correctivas. Es importante tener definidos los límites de aceptación recomendados para las aplicaciones de cada servicio.

Uniformidad intrínseca para distintas amplitudes de ventanas simétricas en el analizador de altura de pulsos

Objetivo

Comprobar la respuesta del detector a un flujo uniforme de fotones sobre el campo de visión usando diferentes anchos de ventana (20 %, 15 % y 10 %) simétrica centrada en el fotopico del radionucleido mediante la determinación de los valores de uniformidad integral y diferencial en el campo de visión central y el campo de visión útil.

Los resultados deben ser usados como referencia durante las comprobaciones periódicas.

Frecuencia

Después de establecida la referencia durante las pruebas de aceptación se debe comprobar, con una frecuencia semestral, para el tecnecio-99m. En caso que el sistema requiera la verificación de la corrección de uniformidad con otro radionucleido la comprobación debe realizarse también con la misma frecuencia.

Materiales

- Fuente puntual preparada según las recomendaciones del fabricante, o seguir las recomendaciones dadas en el epígrafe 2.3.4 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica de 2009 sobre control

de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único (*Quality Assurance for SPECT Systems*).

- Usar una fuente puntual con 10 MBq a 20 MBq (0,27 mCi a 0,54 mCi) de tecnecio-99m, de manera que la tasa de conteos registradas no sea mayor que 30 000 conteos/s.

Procedimiento

Se recomienda seguir el procedimiento descrito por el fabricante para esta prueba. Si no existen recomendaciones del fabricante, se debe usar como referencia las recomendaciones dadas en el documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único (solo ventanas simétricas).

Observaciones

La mayoría de los equipos poseen sistemas para el procesamiento de las imágenes. En caso del desarrollo de herramientas computacionales propias, debe realizarse la validación de estas. Se recomienda seguir las instrucciones del fabricante para hacer el procesamiento y análisis de los resultados. Estas pruebas deben repetirse después de reparaciones importantes o modificaciones significativas del sistema.

Interpretación de los resultados

Se deben observar las imágenes para identificar sitios de no uniformidad. Comparar las imágenes en las pruebas periódicas con las imágenes referencia. Los valores de uniformidad intrínseca no deben ser diferentes para los anchos de ventana de 20 % y 15 %. Sin embargo, puede degradarse un poco para la ventana de 10 %, pero los defectos serán observables en las imágenes. Puede observarse el patrón de los tubos fotomultiplicadores.

Uniformidad del sistema

Objetivo

Comprobar la respuesta del detector a un flujo uniforme de fotones sobre el campo de visión usando para todos los colimadores disponibles.

Frecuencia

Después de establecida la referencia durante las pruebas de aceptación, se debe comprobar con una frecuencia semestral para el tecnecio-99m.

Materiales

- Fuente plana de cobalto-57 de 200 MBq (5,4 mCi) para cámaras gamma de campo de visión pequeño o 400 MBq (10,8 mCi) para cámaras gamma de campo de visión grande.
- En caso alternativo, si se dispone de un maniquí rellenable para simular una fuente plana, debe prepararse una solución radiactiva de tecnecio-99m con las mismas condiciones anteriores, de acuerdo con las

dimensiones del campo de visión de la cámara. Es importante homogeneizar bien la solución de relleno. Se agita vigorosamente el maniquí, luego debe permanecer un tiempo prudencial en reposo y no deben existir burbujas de aire. Por lo tanto, debe calcularse la actividad inicial de tecnecio-99m a incorporar para lograr al final del procedimiento la actividad necesaria para la prueba.

Procedimiento

Se recomienda seguir el procedimiento descrito por el fabricante para esta prueba. Si no existen recomendaciones del fabricante, se debe usar como referencia las recomendaciones dadas en el documento del Organismo Internacional de Energía Atómica de 2009 sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único (*Quality Assurance for SPECT Systems*).

Observaciones

La mayoría de los equipos poseen sistemas para el procesamiento de las imágenes. Se recomienda seguir las instrucciones del fabricante para hacer el procesamiento y análisis de los resultados. Estas pruebas deben repetirse después de reparaciones importantes o modificaciones significativas del sistema.

Interpretación de los resultados

Observar las imágenes para identificar sitios de no uniformidad. Compare las imágenes en las pruebas periódicas con las imágenes referencia. Los límites de aceptación son los mismos considerados para la prueba de uniformidad intrínseca.

Resolución espacial intrínseca

Objetivo

Comprobar la resolución espacial de la cámara gamma en términos del ancho a la semialtura de la función de dispersión lineal determinada con una fuente lineal.

Frecuencia

Después de establecida la referencia durante las pruebas de aceptación, se debe comprobar con una frecuencia semestral.

Materiales

Fuentes y maniquíes recomendados por el fabricante, o las recomendaciones para el método visual dadas en el epígrafe 2.3.6 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica de 2009 sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único (*Quality Assurance for SPECT Systems*).

Fuente de 20 MBq a 40 MBq (0,54 mCi a 1,08 mCi) de tecnecio-99m en un vial dentro de un contenedor de plomo de 5 mm de espesor de pared, un agujero de 3 mm de diámetro y maniquí de barras por cuadrantes.

Procedimiento

Se aconseja seguir el procedimiento descrito por el fabricante para esta prueba. Si no existen recomendaciones del fabricante se deben usar como referencia las recomendaciones dadas en el documento del Organismo Internacional de Energía Atómica de 2009 sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único (*Quality Assurance for SPECT Systems*).

Interpretación de los resultados

Durante las pruebas de aceptación, el ancho a la semialtura no debe ser mayor al 10 % del valor reportado por el fabricante.

Si durante los controles operacionales, se supera el 20 % del valor establecido como nivel de referencia, es decir se pierde uno de los cuadrantes visualizados anteriormente, se recomienda interrumpir los estudios, y contactar el servicio de reparación y mantenimiento.

Resolución espacial del sistema

Objetivo

Verificar la resolución espacial del sistema para cada uno de los colimadores de agujeros paralelos a partir de los valores de ancho a la semialtura (FWHM) y el ancho de la altura al décimo del pico (FWTM). En general, constituye una prueba de aceptación, que muestra la disminución de la resolución espacial del sistema para cada colimador en la medida que se aleja la fuente radiactiva. Cuando sea posible, se recomienda utilizar el mismo método para la medición de la resolución espacial intrínseca, para determinar de cuánto es la pérdida de resolución que ocasiona cada colimador específico.

Frecuencia

Después de establecida la referencia durante las pruebas de aceptación, se debe controlar con una frecuencia semestral.

Materiales

Fuentes y maniqués sugeridos por el fabricante. Si no hay recomendaciones del fabricante y se dispone de una fuente plana de cobalto-57, se debe seguir las indicaciones dadas en el epígrafe 2.3.8 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único, para el método visual utilizando un maniquí de barras por cuadrantes. Si no se dispone de fuente plana de cobalto-57, se puede usar un maniquí compuesto de cuatro fuentes lineales de 1 mm de diámetro; luego, ejecutar las instrucciones dadas en el documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistema de tomografía de emisión de fotón único para el método cuantitativo.

Procedimiento

Se recomienda seguir el procedimiento descrito por el fabricante para esta prueba. Si no existen recomendaciones del fabricante, deben usarse como referencia las sugerencias dadas en el epígrafe 2.3.8 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único para el método cuantitativo.

Interpretación de los resultados

Durante las pruebas de aceptación y referencia, esta prueba debe realizarse para todos los colimadores. En caso de usar el protocolo del fabricante, hay que considerar los límites de aceptación propuestos. En el caso del método cualitativo, observar las imágenes para detectar si las líneas no tienen aspecto ondulatorio, lo que indicaría problemas con la corrección de linealidad. Si se supera el 20 % del valor establecido como nivel de referencia, es decir se pierde uno de los cuadrantes visualizados anteriormente, se recomienda interrumpir los estudios y contactar el servicio de reparación y mantenimiento. Utilizar el mismo criterio comparando los resultados con los datos de referencia durante los controles periódicos.

En el caso del método cuantitativo, los valores de ancho a la semialtura en las direcciones X e Y no deben diferir en más del 5 % para un colimador dado. Durante las pruebas de aceptación y referencia, los valores de ancho a la semialtura y el ancho de la altura al décimo del pico no deben ser mayores que el 10 % del valor reportado por el fabricante. El mismo criterio se utiliza para los controles periódicos.

Prueba de la tasa de conteos máxima

Objetivo

Determinar la respuesta de la cámara a un flujo creciente de radiación incidente.

Frecuencia

Después de establecida la referencia durante las pruebas de aceptación, se debe comprobar con una frecuencia semestral.

Materiales

- Fuente radiactiva puntual de tecnecio-99m con una actividad aproximada de 4 MBq a 7 MBq (0,11 mCi a 0,19 mCi), en un contenedor adecuado.
- Soporte móvil para la fuente radiactiva que permita colocar la fuente en una posición cercana al centro del detector (Fig. 4.7).

Procedimiento

Si el fabricante realizó esta medición, repetir el procedimiento. En caso que no existan recomendaciones del fabricante, ejecutar estos pasos:

1. Retirar el colimador del detector.
2. Colocar la máscara de plomo (en el caso de las cámaras que lo requieran).
3. Colocar el detector en posición vertical (Fig. 4.7).
4. Preparar una adquisición dinámica con ventana energética centrada en el fotopico (140 keV) del espectro, con un ancho de ventana igual a 20 %.
5. Colocar la fuente en el soporte móvil.
6. Mover el soporte hasta que la fuente quede en el eje central de detector (Fig. 4.7). Evitar la existencia de objetos cercanos a la fuente, que puedan provocar dispersión.
7. Iniciar la adquisición dinámica y acercar lentamente, la fuente al detector. La tasa de conteos aumenta de manera progresiva hasta un máximo, para comenzar a decrecer.
8. Detener la adquisición dinámica cuando la tasa de conteos comience a disminuir.
9. Guardar la curva de tasa de conteos, para comparaciones futuras durante los controles periódicos.
10. Registrar el valor máximo de tasa de conteos que aparece en la curva.



Fig. 4.7. Soporte para colocación de la fuente para la determinación de la tasa máxima de conteos.
El soporte se desplaza acercándose al detector.

Observaciones

Esta prueba es muy susceptible a la dispersión provocada por los objetos cercanos a la fuente. Si la cámara tiene circuitos de corrección, o un procesador digital para tasas bajas y altas de conteo, los valores de tasa deben ser adquiridos con todas estas variantes.

Límites de aceptación

Durante la aceptación, la tasa máxima de conteo no debe ser 10 % menor que el valor reportado por el fabricante. Si durante las comprobaciones operacionales, se obtiene el 20 % de diferencia con el valor establecido como nivel de referencia, se recomienda iniciar acciones correctivas.

Sensibilidad planar del sistema

Objetivo

Evaluar la sensibilidad del sistema a través de la eficiencia de conteos de la cámara, como resultado de la exposición a una fuente de actividad conocida. Es muy importante para sistemas multidetectores.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia. Durante las pruebas de aceptación deben usarse las mismas condiciones de ventana energética y radionucleidos (si están disponibles). Después de definidos los valores de referencia para los colimadores y radionucleidos, se verifican con una periodicidad semestral, para los más usados en la práctica clínica.

Materiales

Fuente radiactiva consistente en 40 MBq (1,08 mCi) de tecnecio-99m diluido en un volumen de 25 mL y contenido en placa de Petri de 10 cm de diámetro (maniquí de medición de sensibilidad planar). La actividad en la jeringuilla debe medirse en un activímetro antes de verter el contenido en la placa de Petri. Medir la actividad residual en la jeringuilla después de verter la solución y registrar el valor de actividad real en el maniquí como la diferencia entre las lecturas antes y después de preparar el maniquí. Registrar la hora exacta de preparación del maniquí. Preparar otro maniquí, si se realiza la prueba adicionalmente con otro radionucleido.

Procedimiento

Se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante para esta prueba. Debe tenerse en cuenta que en algunos sistemas comerciales, se realiza una medición de sensibilidad en otra geometría (fuentes puntuales suspendidas en aire) que no debe considerarse como sustitución de esta prueba. Si no hay sugerencias del fabricante para esta determinación, se recomienda seguir las instrucciones del epígrafe 2.3.9 del documento Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad en sistemas de tomografía de emisión de fotón único.

Realizar las mediciones utilizando la geometría (Fig. 4.8). Recubrir el detector con un material impermeable, para evitar que se contamine el colimador o el detector durante el posicionamiento de la fuente. Utilizar la fuente de tecnecio-99m para las mediciones de los colimadores de baja energía, yodo-131 para el colimador de alta energía, lutecio-177 o indio-111 para el colimador de media energía.

Interpretación de los resultados

Tener en cuenta que algunos fabricantes reportan la sensibilidad relativa con respecto a un colimador de referencia, para el que reportan la sensibilidad absoluta en unidades de conteos por segundo por becquerelio (cps/Bq) u otra equivalente.



Fig. 4.8. Geometría para la medición de la sensibilidad plana del sistema.

Deben corregirse los valores de conteos registrados en las imágenes de cada colimador con las mediciones de fondo. Expresar los datos como tasas de conteos netas (T_{nc}) para cada colimador, en conteos por segundo (cps) o las unidades equivalentes utilizadas por el fabricante. Realizar la corrección del valor de la actividad en el maniquí (A_{oc}) por la desintegración radiactiva en el momento de la medición, en los colimadores de baja energía. Expresar la actividad en becquerelio (Bq) o en las unidades equivalentes utilizadas por el fabricante para facilitar la comparación. Calcular la sensibilidad plana absoluta de cada colimador (S_{pc}) como:

$$S_{pc} \text{ (cps/Bq)} = \frac{T_{nc}}{A_{oc}} \quad (4.3)$$

Comparar los valores obtenidos con los reportes del fabricante. Tener en cuenta que la exactitud de la prueba depende de la exactitud en la determinación de la actividad.

Si la exactitud en la determinación de la actividad es menor que 5 % es suficiente para comparar con los valores de sensibilidad absoluta reportados por el fabricante. Si la determinación de la actividad no cumple con el criterio de exactitud, utilizar la sensibilidad relativa respecto a un colimador usado como referencia.

En caso de sospecha de daño de algún colimador, se recomienda realizar la prueba de uniformidad del sistema descrita anteriormente.

Límites de aceptación

Durante la prueba de aceptación, la sensibilidad de cada colimador no debe ser menor que el 10 % del valor reportado por el fabricante. Diferencias mayores indican que el colimador puede estar dañado. Un colimador de baja energía y propósito general debe poseer una eficiencia absoluta mayor a 100 cps/MBq. En caso de sistemas multidetectores, la diferencia entre los detectores no debe ser mayor que el 3 %.

Resolución energética

Objetivo

Evaluar la resolución energética en función del ancho a la mitad de la altura del fotopico (ancho a la semialtura).

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia. En los controles periódicos debe realizarse con una frecuencia semestral.

Materiales

- Los equipos con protocolos para determinar la resolución energética brindan las orientaciones para la preparación de la fuente puntual y la geometría de medición. En caso que no exista recomendaciones del fabricante, preparar una fuente radiactiva que no produzca una tasa de conteos fuera del intervalo de 20 000 cps a 30 000 cps con el detector sin colimador.
- Garantizar que la solución radiactiva esté contenida en el menor volumen posible, por ejemplo: 7 MBq a 4 MBq (0,19 mCi a 0,11 mCi) de tecnecio-99m contenidos en 0,5 mL en una jeringuilla de 2,5 mL.

Procedimiento

Se recomienda ejecutar el procedimiento recomendado por el fabricante.

Si el equipo no tiene protocolos específicos para determinar la resolución energética, ejecutar este procedimiento:

1. Retirar el colimador del detector.
2. Colocar la máscara de plomo, si el equipo lo requiere.
3. Colocar la fuente de tecnecio-99m a una distancia de detector aproximadamente cuatro a cinco veces las dimensiones del campo de visión.
4. Realizar una adquisición del espectro energético con al menos 30 000 conteos en el fotopico, con la ventana energética centrada en el fotopico (14 keV) y ancho de ventana del 20 %.
5. Determinar la posición del fotopico.
6. Determinar el ancho a la semialtura en el fotopico.
7. Determinar la resolución energética.

Algunos fabricantes reportan el valor de resolución energética, pero refieren esta magnitud como porcentaje de ancho a la semialtura. Si el sistema no reporta el valor de resolución energética, se debe verificar si existe la posibilidad de exportar el perfil del espectro (conteos vs. energía o canal) y realizar el cálculo de la resolución energética mediante el ajuste de una gaussiana al perfil del fotopico.

Límites de aceptación

En general, se establece que la resolución energética no debe superar el 10 % de los valores establecidos por el fabricante. Sin embargo, si durante el

control periódico se supera en un 10 % el valor establecido como referencia, se recomienda iniciar alguna acción correctiva.

Filtración de radiación por el blindaje del cabezal

Objetivo

Verificar que el detector solo responde a la radiación incidente en el cristal y proveniente del colimador.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación. Debe realizarse para tecnecio-99m y el radionucleido de mayor energía que se usa en la práctica clínica.

Material

Fuente radiactiva aproximadamente puntual de tecnecio-99m y del radionucleido de mayor energía que se usa en la práctica clínica, con actividad 4 MBq (0,11 mCi), en un contenedor adecuado.

Procedimiento

1. Asegurar que no hay fuentes de radiación alrededor del detector.
2. Verificar que no hay contaminación radiactiva en los colimadores o el cristal. Garantiza el éxito de la prueba.
3. Colocar el colimador adecuado para la energía del radionucleido seleccionado.
4. Centrar la ventana energética en el fotopico del espectro del radionucleido, con un ancho de ventana de 20 %.
5. Colocar la fuente radiactiva en 12 lugares alrededor del blindaje del cabezal, registrando los conteos en cada sitio durante 100 s.
6. Retirar la fuente y registrar el fondo durante igual tiempo.

Límites de aceptación

Los conteos medidos no deben ser mayores que tres veces el valor del fondo; si esto sucede, hay que investigar el grado de filtración y comunicarlo al fabricante.

Registro espacial en múltiples ventanas

Objetivo

El propósito de esta prueba es comprobar que las imágenes adquiridas, para fotones de energías diferentes, se superponen cuando se usan varias ventanas de adquisición.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia. Se recomienda repetirla periódicamente con una frecuencia semestral. Debe realizarse si se observa una degradación en las imágenes adquiridas con múltiples ventanas.

Materiales

- Fuente de bario-133 (30,98 keV, 81 keV y 356,01 keV).
- Contenedor de plomo con agujero de 3 mm en el fondo para crear una fuente puntual. Utilizar un contenedor, cuyo espesor sea tal que la tasa de conteos no sea mayor que 10 000 cps, en cualquiera de las ventanas, cuando la fuente se acerca al detector.

Procedimiento

1. Retirar el colimador y colocar el detector con la cara hacia el techo de la habitación.
2. Colocar la fuente sobre el cristal en dirección X+, a una distancia aproximadamente el 75 % de distancia del centro al borde del detector.
3. Realizar una adquisición estática en una matriz de 256 x 256 x 16, con parada de 10 000 conteos y tres ventanas centradas en 30,98 keV, 81 keV y 356,01 keV, con ancho 20 %. Si el sistema permite solo dos ventanas, realizar las adquisiciones para los picos 30,98 keV y 356,01 keV. Asegurar que las imágenes de cada ventana se registran por separado.
4. Adquirir otra imagen colocando la fuente en una posición simétrica en la dirección X-.
5. Repetir las adquisiciones con la fuentes colocadas en Y+ e Y-, colocadas en posiciones similares, o sea, 75 % de la distancia del centro al borde del detector.
6. Medir exactamente las distancias entre las posiciones de las fuentes en las direcciones X e Y. Registrar los valores medidos.

Análisis de los resultados

Registrar las coordenadas de la posición de los píxeles de mayor número de conteos en cada imagen.

Determinar los desplazamientos, en milímetros, en las direcciones X e Y de los píxeles de mayor actividad en cada imagen respecto a las posiciones reales de las fuentes.

Límites de aceptación

La diferencia en la posición absoluta de las fuentes en dos imágenes de ventanas diferentes no debe ser mayor que 2 mm. Aunque debe realizarse una acción correctiva, las adquisiciones con una ventana pueden continuar.

Durante la aceptación un desplazamiento mayor que 10 % respecto al valor reportado por el fabricante, es indicativo de una acción correctiva.

Durante las comprobaciones periódicas, una variación de 20 % respecto a la referencia, requiere una acción correctiva.

Linealidad espacial

Objetivo

Verificar la capacidad de la cámara gamma para localizar las coordenadas reales de un evento en el detector. Evalúa la distorsión espacial de la imagen respecto al objeto.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia. Los controles periódicos se realizan con una frecuencia semestral como mínimo.

Materiales

Maniqués de agujeros ortogonales o maniquí de barras. Se puede usar un maniquí de barras por cuadrantes.

Fuente plana de cobalto-57 o maniquí rellenable que simula una fuente plana con 200 MBq a 400 MBq (5,4 mCi a 10,8 mCi). En caso que no se disponga de una fuente plana, se puede usar una fuente puntual de 37 MBq a 111 MBq (1 mCi a 3 mCi).

Procedimiento

Seguir el protocolo del fabricante. En caso que no exista un protocolo definido por el fabricante se recomienda desarrollar la prueba según las instrucciones dadas en el epígrafe 2.7 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica para sistemas de tomografía de emisión de fotón único, según el maniquí disponible. Si se utiliza el maniquí de barras por cuadrantes, se deben adquirir imágenes de la zona de líneas cercanas a la resolución espacial en todas las direcciones (X e Y) y zonas del campo de visión girando el maniquí.

Análisis de los resultados

La mayoría de los fabricantes poseen sus maniqués de barras o agujeros ortogonales para corregir la linealidad, así como sus programas de análisis de este parámetro. Sin embargo, no todos ofrecen de manera gratuita el acceso a evaluarla matemáticamente, por ser un servicio técnico adicional que ofrecen. En caso de no contar con el acceso, solo es posible realizar un control visual de la linealidad mientras se verifica la resolución espacial. Los problemas de linealidad influyen en los parámetros de uniformidad, por lo cual la prueba de uniformidad con las correcciones desactivadas resulta útil para evaluar la linealidad espacial.

Límites de aceptación

En general, se establece que los parámetros calculados como indicadores de linealidad espacial (o distorsión), no deben superar el 10 % de los valores establecidos por el fabricante durante la aceptación del equipo. Si durante las comprobaciones operacionales, se obtiene el 20 % de diferencia con el valor establecido como nivel de referencia, se recomienda iniciar acciones correctivas. En caso de necesidad de realizar calibraciones para corregir los defectos de linealidad, se debe seguir el protocolo del fabricante.

Tamaño del pixel

Objetivo

Determinar el tamaño del pixel en la matriz utilizada para cada colimador de agujeros paralelos.

Frecuencia

Es una prueba de referencia. Se realiza con una frecuencia semestral. Se realiza para cada matriz que se usa en la práctica clínica. Es importante señalar que esta verificación debe realizarse únicamente si en el servicio se pretende realizar aplicaciones clínicas que requieren la cuantificación de imágenes, sistemas multimodales y para la corrección de atenuación. En caso contrario no es necesario realizarla.

Materiales

Pueden usarse tres tipos de fuentes:

- Dos fuentes lineales separadas a una distancia conocida, con actividad 37 MBq/mL (1 mCi/mL) de tecnecio-99m.
- Cuatro fuentes puntuales colocadas en las puntas de un cuadrado de lado conocido con actividad 37 MBq/mL (1 mCi/mL) colocadas en un soporte rígido.
- Cuatro fuentes lineales colocadas en un cuadrado de lado conocido con actividad 37 MBq/mL (1 mCi/mL) colocadas en un soporte rígido.
- Papel milimetrado para determinar la distancia lineal entre las fuentes (lineales o puntuales).

Procedimiento

1. Ubicar el cabezal hacia arriba. Colocar las fuentes encima del colimador orientado en dirección paralela a uno de los ejes del mismo.
2. Centrar la ventana energética en el fotopico del espectro energético, con un ancho de ventana de 20 %.
3. Adquirir y almacenar una imagen en una matriz con el mayor formato que brinda el sistema, acumular al menos 2 000 000 conteos.
4. Si se utiliza el maniquí de dos fuentes lineales, rotar el maniquí 90° y repetir las adquisiciones. Si el maniquí es de cuatro fuentes puntuales o cuatro fuentes lineales, no es necesario rotar el maniquí.
5. Retirar las fuentes.

Análisis de los resultados

Trazar un perfil en dirección X (perpendicular a las fuentes lineales colocadas paralelas a la dirección Y, o que pase por el centro de las fuentes puntuales), que incluya las imágenes de las fuentes. Graficar los datos en una escala lineal, se observan dos gaussianas.

Identificar la posición de cada máximo en el perfil y determinar la distancia entre estos, expresada en pixel (Npm). Calcular el tamaño del pixel en la dirección X, para la matriz seleccionada como:

$$Tpm \text{ (mm/pixel)} = \frac{S}{Npm} \quad (4.4)$$

Donde:

S: distancia entre las fuentes (mm).

Repetir el procedimiento de confección del perfil y determinación del tamaño de pixel en la dirección Y.

En caso de las fuentes lineales, es recomendable construir varios perfiles para cada dirección (X o Y), en distintas posiciones de las imágenes de las fuentes y calcular el valor promedio del tamaño de pixel determinado en cada perfil.

Límites de aceptación

La diferencia entre los tamaños del pixel en ambos ejes no debe ser mayor que 5 %, entre valores nominales y medidos.

Pruebas operacionales

Las pruebas operacionales se realizan con una frecuencia diaria. La ejecución de estas, es responsabilidad del tecnólogo a cargo de la adquisición de las imágenes. Las pruebas operacionales recomendadas para cámaras gamma planares son:

- Inspección física.
- Comprobación de la posición de la ventana en el analizador de altura de pulsos.
- Medición de fondo.
- Uniformidad del sistema.

En el caso de la prueba de verificación de la respuesta uniforme del sistema y sensibilidad, se considera que se dispone de una fuente plana de cobalto-57 o de un maniquí rellenable con soluciones radiactivas para simular una fuente radiactiva. En caso de que no se disponga de los dispositivos anteriores, se recomienda hacer una verificación de uniformidad intrínseca con una frecuencia semanal.

Inspección física

Objetivo

Verificar que el sistema está operativo y listo para usar.

Procedimiento

1. Verificar que los sistemas de alimentación y protección están operativos.
2. Verificar que los controles de movimientos del sistema (detectores, camilla y *gantry*) funcionan adecuadamente (movimientos fluidos).
3. Verificar que el montaje del colimador es adecuado, no tiene daños físicos apreciables y que funcionan los sistemas de aviso de contacto (*touchpad*).
4. Verificar que los botones de seguridad funcionan.
5. Si el sistema lo permite, realizar un reinicio (*homing*) de las posiciones del sistema.

Interpretación de los resultados

Notificar cualquier situación que implique mal funcionamiento del sistema. El uso del equipo queda invalidado hasta que se lleve a cabo la acción correctiva requerida.

Comprobación de la posición del centro de la ventana en el analizador de altura de pulsos

Objetivo

Comprobar el corrimiento del centro de la ventana en el analizador de altura de pulsos, con respecto a la posición del fotopico en el espectro energético medido para el radionucleido utilizado.

Materiales

Fuente puntual preparada según las recomendaciones del fabricante, o seguir las recomendaciones dadas en el epígrafe 2.4.2 en el documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único.

Procedimiento

Seguir el procedimiento descrito por el fabricante para esta prueba. Se recomienda comprobar visualmente el espectro adquirido para verificar la posición de la ventana energética.

Observaciones

Asegurar que la tasa de conteos no supere el valor de tasa de conteos máximo para las condiciones referidas. La prueba debe realizarse para los radionucleidos que se usarán en la sesión de trabajo.

Interpretación de los resultados

La cifra de ajustes del analizador de altura de pulso debe compararse con los valores de referencia, para identificar los cambios o tendencias. Si el pico no está centrado, ejecutar el procedimiento de centrado y notificar la incidencia. Un cambio abrupto mayor que 10 % de los parámetros habituales del analizador de altura de pulsos para el radionucleido o cualquier alteración visible del espectro, requiere una investigación exhaustiva de las causas que lo provocan, para desarrollar medidas correctivas. Registrar el valor del corrimiento relativo entre posición del fotopico en el espectro medido respecto al centro de la ventana, si el sistema reporta este valor.

Medición de fondo

Objetivo

Verificar la tasa de conteo de fondo en condiciones clínicas para con un radionucleido particular. Identificar la presencia de contaminación radiactiva o exceso de ruido electrónico.

Procedimiento

Se recomienda ejecutar el procedimiento indicado por el fabricante.

En caso que no exista una recomendación explícita del fabricante, ejecutar las instrucciones que aparecen en el epígrafe 2.4.4 de las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica, que se describen brevemente:

1. Colocar el colimador correspondiente.
2. Colocar el cabezal detector con el colimador hacia abajo, similar a como se usa en las aplicaciones clínicas.
3. Mover la camilla del paciente hasta que su centro esté alineado con el centro del detector.
4. Obtener una imagen estática durante 100 s en las condiciones de adquisición habituales para el radionucleido.
5. Determinar la tasa de conteos de fondo, dividiendo el total de conteos adquiridos por el tiempo de adquisición (100 s).
6. Registrar el valor de la tasa de conteos de fondo para el detector.
7. En caso de un sistema multidetector, realizar el procedimiento con el segundo detector colocado en la misma posición que se utiliza en las aplicaciones clínicas.

Interpretación de los resultados

Un aumento importante de la tasa del fondo habitual, puede indicar la presencia de fuentes de radiación alrededor, la existencia de focos de contaminación radiactiva en el suelo en la zona cerca al detector, un aumento de radiación ambiental, un incremento del ruido electrónico, y otros. Un aumento mantenido de la tasa de conteo de fondo apunta a fallas electrónicas.

Límites de aceptación

Un aumento de 20 % en la tasa de conteos de fondo, respecto al nivel de referencia, requiere investigación cuidadosa.

Uniformidad del sistema y sensibilidad

Objetivo

Evaluar la uniformidad integral y diferencial en el campo de visión útil y en el campo de visión central para el colimador de agujeros paralelos que se usará en la sesión de trabajo y la sensibilidad (cps/MBq).

Materiales

Fuente plana de cobalto-57 de 200 MBq (5,4 mCi) para cámaras gamma de campo de visión pequeño o 400 MBq (10,8 mCi) para cámaras gamma de campo de visión grande.

En caso alternativo, si se dispone de un maniquí rellenable para simular una fuente plana, debe prepararse una solución radiactiva de tecnecio-99m

con las mismas condiciones anteriores de acuerdo con las dimensiones del campo de visión de la cámara. La actividad de la jeringuilla debe ser medida en un activímetro, antes y después de transferir la actividad al maniquí. La actividad en el maniquí se determina de la diferencia entre la actividad antes de transferirla al maniquí y la actividad residual. Debe registrarse el tiempo de preparación de la fuente.

Procedimiento

Si el servicio posee fuente plana de cobalto-57 o un maniquí rellenable, debe seguir el procedimiento recomendado por el fabricante. Si el servicio no posee fuente plana de cobalto-57 o un maniquí rellenable, entonces se procede a realizar la comprobación de uniformidad intrínseca descrita anteriormente.

Cálculo de la sensibilidad

- Registrar la hora de inicio y final de la adquisición.
- Determinar la actividad de la fuente en el punto medio entre el instante de inicio y el final de la adquisición, mediante la corrección de actividad por decaimiento radiactivo.
- Determinar la sensibilidad mediante el cociente en unidades de conteos por segundo por becquerel (cps/Bq).

Observaciones: los programas de controles operacionales de algunos sistemas comerciales (MiE/SIEMENS) contienen pruebas para determinar la sensibilidad, usando fuentes puntuales con colimadores de agujeros paralelos. En ese caso, se recomienda seguir las recomendaciones dadas por el fabricante para esa prueba y limitar el alcance a lo descrito en este capítulo en cuanto a la verificación de los cambios en la uniformidad del sistema.

Límites de aceptación

En caso de la determinación usando fuentes planas (calibradas o rellenables) no deben notarse cambios cualitativos significativos en la uniformidad del sistema. Si esto sucede se necesita un estudio minucioso antes de continuar con la operación del sistema. En caso de utilizar la prueba intrínseca se utilizan los límites definidos en este protocolo.

Un cambio en el valor de la sensibilidad mayor a $\pm 10\%$ respecto al valor de referencia, requiere de un análisis más profundo para definir las causas del cambio.

Pruebas para el control de calidad de cámaras gamma en sistemas de cuerpo completo

Varios son los parámetros de funcionamiento de los sistemas de cuerpo completo que requieren atención y seguimiento, con el propósito de garantizar la colección de imágenes útiles para uso clínico. Entre estos se encuen-

tran la uniformidad de la imagen de cuerpo completo, resolución espacial, velocidad de desplazamiento, correcciones de tiempo de exposición (en detectores no rectangulares), separación y alineación de la trayectoria, linealidad, entre otros. Es importante que todas las pruebas sean repetidas y validadas después de reparaciones o modificaciones significativas del sistema.

Pruebas de aceptación y referencia

Se ofrece la relación de pruebas recomendadas para el protocolo de aceptación de cámaras gamma, donde se realizan rastreos de cuerpo completo (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Relación de pruebas de aceptación y referencia para sistemas que realizan rastreos de cuerpo completo

Pruebas	Aceptación	Referencia	Frecuencia
Inspección física	X	-	-
Uniformidad del sistema	X	X	Semestral
Pruebas que se derivan del análisis de la prueba de uniformidad	X	X	Semestral
Resolución espacial del sistema	X	X	Anual
Tamaño del pixel	-	X	Anual

Pruebas operacionales

Uniformidad

Objetivos

Evaluar la uniformidad de detección del sistema de cuerpo completo, en todo el campo de visión del estudio.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia que debe ser realizada semestralmente.

Materiales

- Fuente radiactiva uniforme de cobalto-57 o un maniquí rellenable para simular una fuente plana uniforme, con una actividad entre 74 MBq a 370 MBq (2 mCi a 10 mCi). Puede usar una fuente lineal con dimensiones que cubra toda a la longitud lateral del detector en la dirección perpendicular al movimiento de la camilla.
- Colimadores de cuerpo completo usados en la práctica clínica diaria.

Procedimiento

1. Colocar los colimadores empleados para estudios de cuerpo completo.
2. Fijar al detector una fuente de actividad uniforme, de dimensiones iguales o superiores a su campo de visión o la fuente lineal, cuya actividad produzca una velocidad de conteos entre 10 kcps y 20 kcps.
3. Si el sistema lo permite, emplear una resolución digital de 64 x 256. En caso contrario, fijar la resolución más cercana a este valor.
4. Seleccionar la velocidad de conteos similar a la empleada en la práctica clínica.
5. Seleccionar el máximo recorrido de traslación que permite el sistema.
6. Adquirir una imagen de cuerpo completo en las condiciones descritas anteriormente. En caso de un sistema de doble cabezal, adquirir una imagen por cada detector (Fig. 4.9).
7. Repetir las adquisiciones para diferentes velocidades de traslación (utilice el rango más usado en las aplicaciones clínicas).

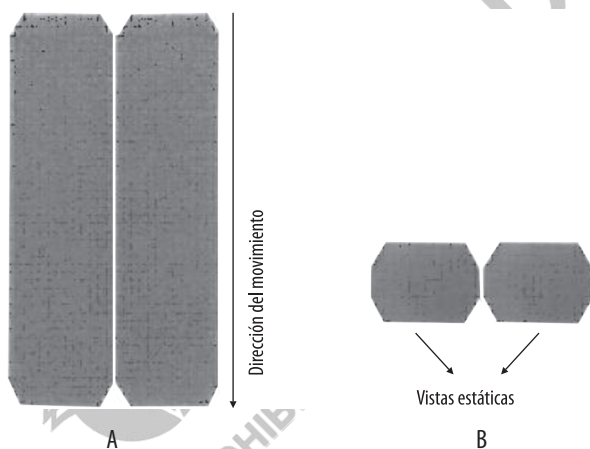


Fig. 4.9. A. Imagen de uniformidad de cuerpo completo con sistema de doble cabeza.
B. Imagen de uniformidad en vistas estáticas.

Análisis de resultados

- En caso de no haber adquirido la imagen en el formato 64 x 256, comprimirla al formato más cercano a este valor.
- Asignar valores de cero a todos los píxeles ubicados en el borde del campo de visión con valor inferior a 75 % del valor medio obtenido en el campo de visión central (este último, estimado en primera aproximación de la imagen inicial).
- El área resultante, con píxeles diferentes de cero, será el campo de visión útil; determinar, a partir de esta imagen, el campo de visión central.
- Aplicar un filtro de nueve puntos a la imagen.
- Realizar un análisis visual de la imagen adquirida, buscando indicios de no uniformidades dentro del campo de visión.

Límites de aceptación

La imagen de uniformidad no debe presentar zonas frías o calientes dentro del campo útil de visión.

Pruebas que se derivan de la imagen de uniformidad

Objetivos

- Evaluar si existen variaciones en la velocidad de movimiento del sistema de cuerpo completo durante la adquisición de las imágenes.
- Evaluar los valores máximos de las dimensiones del campo de visión del sistema de cuerpo completo.
- Evaluar el funcionamiento de las correcciones de los tiempos de exposición en sistemas no rectangulares.

Son pruebas de aceptación y deben repetirse anualmente, cuando se realicen reparaciones o modificaciones significativas en el sistema.

Materiales

Similares a los empleados en la prueba de uniformidad que se describe en este capítulo.

Procedimientos

Similares a los empleados en la prueba de uniformidad que se describe en este capítulo.

Análisis de resultados

- Realizar las tres primeras operaciones descritas en el análisis de resultados de la prueba de uniformidad.
- Construir perfiles de actividad de ancho 2,5 cm a 3 cm, en la dirección X (eje corto de la imagen) de ancho similar a la de la imagen y barriendo toda su longitud (Fig. 4.10 A).
- Construir perfiles de actividad de ancho 2,5 cm a 3 cm, en la dirección Y (eje largo de la imagen) de longitud similar al de la imagen y barriendo todo su espesor (Fig. 4.10 B).
- Determinar la posición del primer y el último pixel con valor diferente de cero en la dirección longitudinal.
- Calcular el número de píxeles que incluye el campo de visión en la dirección longitudinal. A partir de las dimensiones del pixel, determinar la longitud máxima del campo de visión.
- Evaluar visualmente las posibles variaciones de la velocidad de movimiento, y analizar la horizontalidad y homogeneidad de perfiles paralelos a la dirección de traslación del sistema.
- Evaluar visualmente las posibles alteraciones en la corrección de los tiempos de exposición (para detectores no rectangulares), y analizar la horizontalidad y homogeneidad de perfiles perpendiculares a la dirección de traslación del sistema.

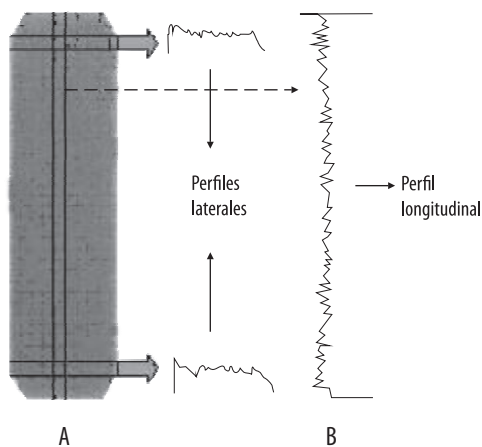


Fig. 4.10. Perfiles de actividad obtenidos de la imagen de uniformidad de cuerpo completo. A. En la dirección lateral. B. En la dirección longitudinal.

Límites de aceptación

- En caso de que la longitud de la imagen de cuerpo completo no coincida con las reportadas por el fabricante, se deben realizar medidas correctivas del defecto o reportar el equipo al servicio de electromedicina.
- Los perfiles construidos en la dirección longitudinal y transversal deben ser horizontales. Las fluctuaciones en sus valores a lo largo de todo el campo de visión, deben ser inferiores a 5 %.
- Si se obtienen valores por encima de este parámetro en la dirección longitudinal, estos pueden estar asociados con variaciones en la velocidad de traslación (Fig. 4.11) y deben ser realizadas medidas correctivas para solucionar el problema.

Se debe tener en cuenta que, en caso de aparecer no uniformidades en la región del cambio de la ventana electrónica al desplazamiento mecánico del sistema, las causas pueden estar asociadas con una mala sincronización de la velocidad de ambas fases y se deben corregir las causas del problema.

Resolución espacial

Objetivos

El objetivo de esta prueba es evaluar la resolución espacial del sistema de cuerpo completo en las direcciones X y Y, en términos de la amplitud total a la mitad de la altura de la función de dispersión lineal. Es una prueba de aceptación y referencia, debe repetirse anualmente, y cuando se realicen reparaciones o ajustes importantes en el sistema.

Materiales

- Dos fuentes lineales (capilares con diámetro interno menor que 1 mm), de longitud igual o mayor al ancho del campo de visión del sistema de

cuerpo completo y orientadas de forma paralela, separadas a una distancia de 10 cm entre sí. Se puede usar varios capilares de hematocrito (2 mm de diámetro y aproximadamente 10 cm de largo).

- Actividad de las fuentes que produzca una velocidad de conteos entre 10 kcps a 20 kcps durante la adquisición en modo de cuerpo completo; alrededor de 185 MBq (5 mCi) en cada fuente.

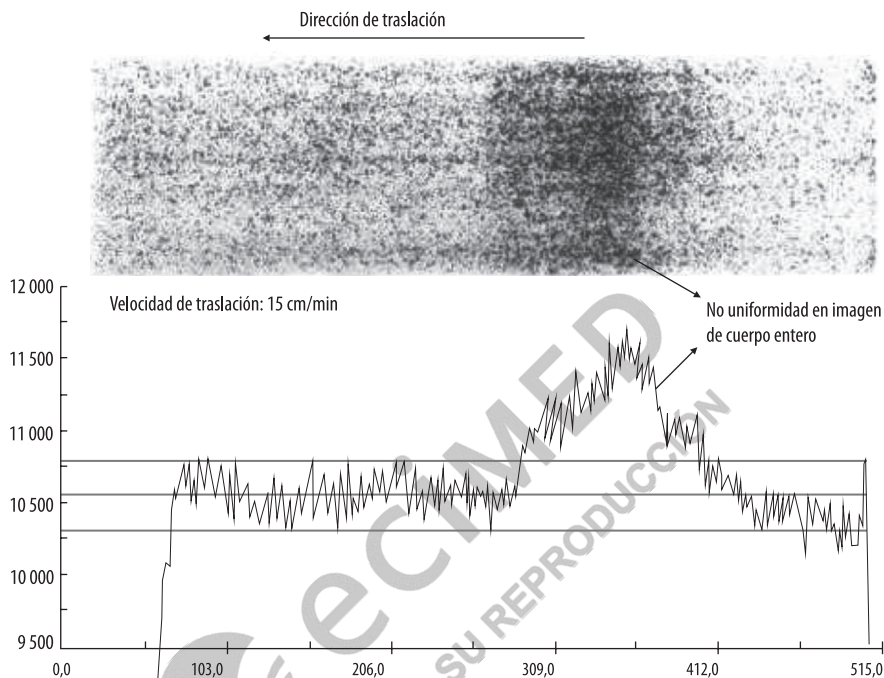


Fig. 4.11. No uniformidad en la imagen de cuerpo completo debido a variaciones en la velocidad de movimiento del sistema.

Procedimiento

1. Colocar los colimadores empleados para estudios de cuerpo completo.
2. Seleccionar la velocidad del movimiento del *gantry* o la camilla similar a la empleada en la práctica clínica (20 cm/min).
3. Centrar la ventana energética en el fotopico, con un ancho de 20 %.
4. Emplear una resolución digital tal que el tamaño del pixel sea menor que 0,25 del ancho a la semialtura del sistema (en estudios estáticos).
5. Colocar las fuentes suspendidas en aire a 10 cm de los colimadores.
6. Realizar dos adquisiciones, la primera con las fuentes orientadas en posición paralela a la dirección de movimiento del detector o la camilla, y la segunda en posición perpendicular. En el primer caso, una de las fuentes debe coincidir con el centro del campo de visión y en el segundo caso, se deben centrar las fuentes dentro del campo total (Fig. 4.12).
7. Repetir las etapas de la 2 a la 6 interponiendo la camilla entre el colimador y las fuentes.

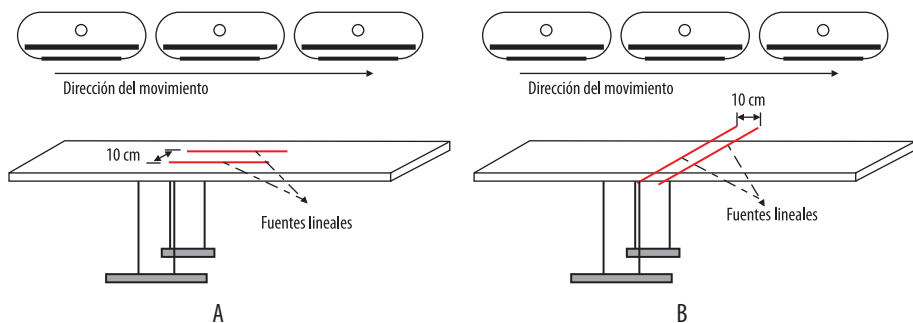


Fig. 4.12. Geometría de adquisición de fuentes lineales para evaluación de la resolución espacial. A. Longitudinal. B. Transversal.

Análisis de los resultados

- Generar perfiles de actividad, de ancho 2,5 cm a 3 cm, en la dirección perpendicular a las fuentes lineales.
- Calcular el ancho a la semialtura y el ancho de la altura al décimo del pico en varios segmentos de cada capilar y promediar los valores obtenidos (Fig. 4.13).
- Promediar los valores de ancho a la semialtura y el ancho de la altura al décimo del pico obtenidos encima y debajo de la camilla para cada fuente linear en el campo de visión central y el campo de visión útil.

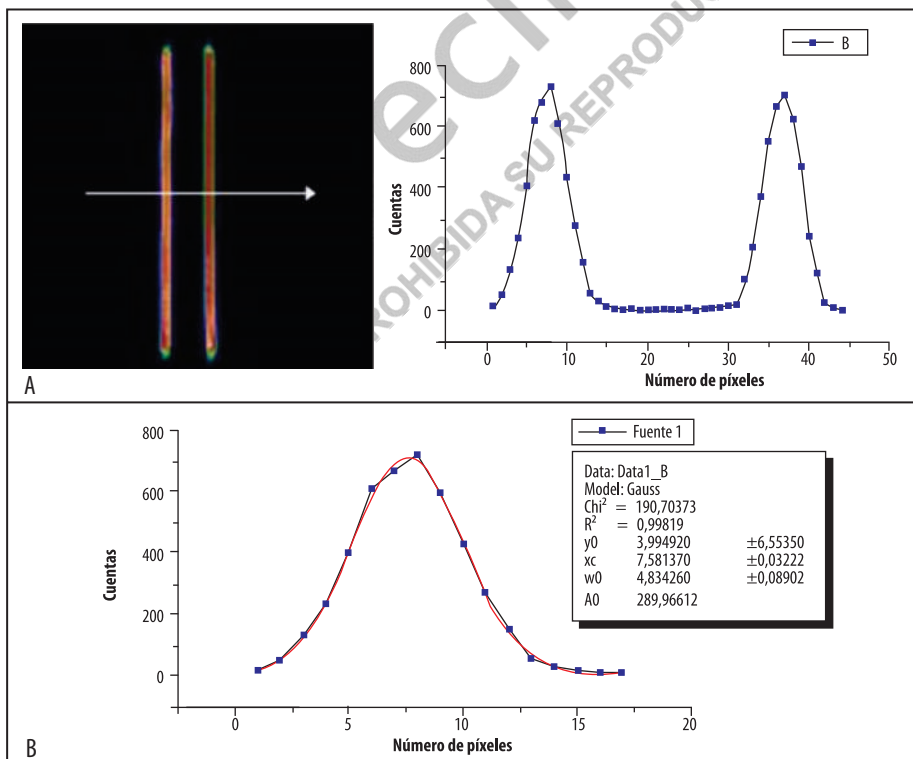


Fig. 4.13. Procesamiento de datos para evaluar resolución. A. Definición de perfiles. B. Ajuste de datos para cálculo de ancho a la semialtura.

Límites de aceptación

- No debe existir una pérdida de resolución mayor que 10 % del valor obtenido para el sistema estacionario, a la misma distancia y bajo las mismas condiciones (interacción con la camilla).
- Se deben comparar los resultados con las especificaciones del fabricante.

Tamaño del pixel

Objetivo

Calcular el tamaño del pixel del sistema de cuerpo completo en las direcciones X y Y. Es una prueba de aceptación que debe repetirse anualmente y cuando se realicen reparaciones o modificaciones significativas al sistema.

Materiales

Similares a los empleados en la prueba de resolución espacial en las adquisiciones planares.

Procedimiento

Similar al empleado en la prueba de resolución espacial en las adquisiciones planares.

Análisis de resultados

- Generar perfiles de actividad en la dirección perpendicular a las fuentes lineales, de ancho 2,5 cm a 3 cm.
- Determinar con exactitud el número de píxeles entre cada fuente (se sugiere emplear análisis de regresión para identificar la posición exacta de la fuente).
- Calcular el tamaño del pixel en las direcciones X y Y, a través de la relación: número de píxeles/distancia entre las fuentes (mm).

Límites de aceptación

La diferencia entre los valores de X y Y no deben sobrepasar el 5 %.

Pruebas operacionales

Se realizan las mismas pruebas definidas para adquisiciones planares.