

Capítulo 5

CONTROL DE CALIDAD EN SISTEMAS DE TOMOGRAFÍA DE EMISIÓN DE FOTÓN ÚNICO

La tomografía de emisión de fotón único es la tecnología imagenológica que permite la detección de fotones emitidos por un órgano, como eventos aislados durante la adquisición y reconstruirlos posteriormente como cortes tomográficos. A través de esta, es posible conocer la distribución tridimensional de un radionúclido en el interior del organismo, solucionar parcialmente los problemas que ocasiona la superposición de estructuras en las gammagrafías planares, aumentar el contraste y mejorar la sensibilidad para detectar lesiones. Sin embargo, bajo determinadas condiciones, estas mejoras pueden desaparecer debido a problemas del instrumento, que en situaciones prácticas, son más críticas que en estudios planares, pues se amplifican con la rotación y el proceso de reconstrucción.

La calidad de la imagen tomográfica depende de múltiples factores, entre los que se encuentran: las características propias de cada paciente, la indicación del estudio, la calidad del radiofármaco y la correcta selección del protocolo a emplear, el estado técnico del equipo tomográfico, la adquisición de las imágenes, el procesamiento, y el informe del estudio. Es decir, que estos sistemas requieren un programa riguroso de garantía de calidad para evitar diagnósticos erróneos, que no incluyan solamente el control de calidad del equipamiento y el control de calidad de los radiofármacos, sino también, el entrenamiento adecuado del personal para que sea capaz de conocer con detalle sus ventajas y limitaciones.

Los sistemas de tomografía de emisión de fotón único son cámaras gamma planares con posibilidad de girar alrededor del paciente y con un programa computarizado para procesar y reconstruir la imagen tridimensional. Están básicamente constituidos por: detector, *gantry* y camilla (Fig. 5.1).

El diseño del detector es el mismo que para cámaras planares (capítulo 4); sin embargo, el espectro de colimadores a usar cambia para compensar la pérdida de resolución que introduce adquirir las imágenes alrededor del paciente (se incorporan algunos colimadores dedicados a órganos específicos y se limita el uso de los de alta sensibilidad y baja resolución).

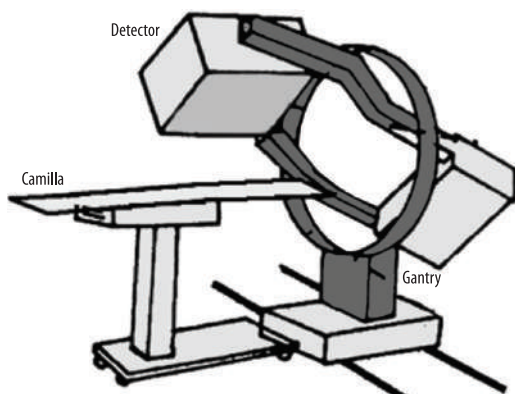


Fig. 5.1. Esquema básico de un sistema tomografía de emisión de fotón único.

El *gantry* puede mostrar distintos diseños, entre los que se destacan los de detectores balanceados por contrapeso, los que soportan el detector por un brazo rígido que gira sobre una estructura que puede pivotar sobre el suelo y los que tienen el detector incorporado a uno o dos anillos de rotación.

Más recientemente, se han desarrollado sistemas multidetectores con una amplia gama de configuraciones, que simplifican el posicionamiento de los pacientes y optimizan el proceso de colección de datos primarios para la reconstrucción tomográfica. Todos estos diseños deben tener una estructura suficientemente estable y sólida, para girar alrededor del paciente con precisión, y evitar saltos o vibraciones.

También, la camilla posee características especiales, pues debe permitir la rotación del cabezal detector alrededor del paciente, para obtener las proyecciones; el material empleado debe ser suficientemente fuerte, para soportar el peso del paciente sin flexionarse (no debe excederse el peso máximo para la camilla) y ser, además, lo más transparente posible a las radiaciones gamma, para evitar la atenuación de los rayos que emite el paciente.

El eje X de la cámara se orienta a través del paciente, perpendicular al eje de rotación, que se encuentra a lo largo del eje Y (Fig. 5.2). El cabezal detector debe estar paralelo al eje Y, o sea, la camilla debe estar paralela al plano frontal del cabezal, para que la resolución se mantenga constante fuera del eje de rotación.

La distribución tridimensional se obtiene a partir de la reconstrucción de múltiples imágenes planares obtenidas alrededor del paciente y denominadas proyecciones. La reconstrucción se efectúa básicamente, a través de la retroproyección filtrada o por métodos iterativos. El método de retroproyección filtrada se han empleado ampliamente y combina un filtro rampa filtro, con filtros pasa bajo, que modulan los ruidos de alta frecuencia en las imágenes (Hanning, Shepp-Logan y Butteworth). De esta manera, se eliminan los artificios radiales (estrella) que surgen durante el proceso de reconstrucción tomográfica y se compensan los ruidos de alta frecuencia, debidos principalmente, a la incertidumbre de las mediciones por baja densidad de conteos, típica de estos estudios.

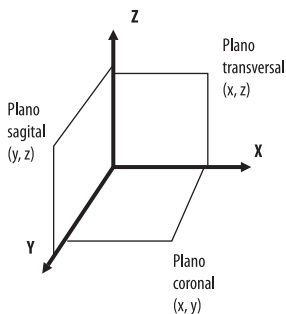
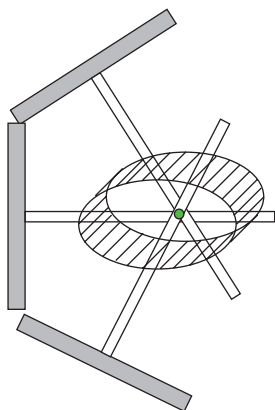


Fig. 5.2. Orientación de los ejes y planos típicos en tomografía de emisión de fotón único.

Con la aparición de sistemas de cómputo más rápidos y la posibilidad de adquisición de datos tomográficos más precisos (imágenes de transmisión, dispersión, información detallada del posicionamiento radial durante la adquisición tomográfica), la mayoría de los sistemas de tomografía de emisión de fotón único han incorporado y estandarizado el empleo de métodos de reconstrucción iterativa. Su utilización permite corregir, durante el proceso de reconstrucción tomográfica, los factores que afectan la calidad y cuantificación de los estudios tomografía de emisión de fotón único. Con el desarrollo de esta técnica, el número de detectores ha ido en aumento para disminuir el tiempo de adquisición, de manera que en la actualidad, los equipos pueden tener desde uno hasta múltiples detectores.

Parámetros de funcionamiento de los sistemas de tomografía de emisión de fotón único

Uniformidad tomográfica

Es un parámetro importante para la medida del funcionamiento de un sistema tomografía de emisión de fotón único, aunque de difícil evaluación por la varianza asociada a una imagen reconstruida. Se define como la uniformidad de un corte reconstruido en una región con distribución homogénea de actividad. Múltiples parámetros pueden afectar la uniformidad tomográfica, como pueden ser la pérdida de uniformidad planar o una selección inadecuada de su corrección, desajuste del centro de rotación, también por defectos en la interfase cámara-computador, en el algoritmo de reconstrucción o en la corrección de atenuación. La falta de uniformidad de 1 % en la región correspondiente al centro de rotación, se amplifica hasta llegar a ser de 20 % después de la reconstrucción. Se estipula que la no uniformidad planar no debe ser mayor que 4 % para proceder a realizar estudios tomografía de emisión de fotón único.

Centro de rotación

El centro de rotación es el punto físico alrededor del que gira el sistema detector-colimador. Es una de las pruebas más importantes de tomografía de emisión de fotón único, pues si la cámara gamma no mantiene la ortogonalidad de los ejes durante la adquisición, existe una pérdida de resolución durante la reconstrucción que es mayor a medida que se aleje del centro e impide un diagnóstico seguro y fiable.

Tamaño absoluto del pixel

El tamaño absoluto del pixel define el tamaño promedio de un pixel para cada matriz y *zoom* empleado en ambos ejes. Su conocimiento preciso permite realizar mediciones de tamaños y distancias, además de ser empleado en el algoritmo de corrección de atenuación más extendido en la práctica (método de Chang) para la estimación de espesores de atenuación.

Resolución tomográfica en aire

La resolución tomográfica se define sobre el corte transversal de una fuente puntual o lineal, calculando el ancho del fotopico a mitad de su altura del perfil de conteos que pasa por el centro de la fuente. La resolución tomográfica se puede ver afectada por múltiples factores, como pueden ser la pérdida de resolución espacial, linealidad y uniformidad planares; desajuste del centro de rotación; también por defectos en la interfase cámara-computadora, en el algoritmo de reconstrucción o por la selección inadecuada de filtro, entre otros.

Contraste tomográfico

Define la capacidad de un sistema tomografía de emisión de fotón único para detectar un cambio de la concentración de actividad entre un objeto de geometría y talla conocidos (por ejemplo: esfera de diámetro definido) y el medio que le circunda. Este parámetro está directamente relacionado con la detectabilidad de lesiones a partir de imágenes tomográficas, en particular, de lesiones de pequeñas dimensiones. Su evaluación se realiza regularmente como parte de la prueba de funcionamiento total, empleando maniqués que incluyen múltiples esferas de diámetros diferentes en el rango de 9 mm a 35 mm.

Linealidad tomográfica

Este parámetro define la habilidad de un sistema tomografía de emisión de fotón único para reproducir la geometría de objetos tridimensionales, sin que se produzcan distorsiones espaciales en la imagen obtenida. Su evaluación se realiza regularmente como parte de la prueba de funciona-

miento total, empleando maniqués que incluyen secciones con múltiples objetos de geometría y dimensiones conocidas, que deben ser reproducidas por los sistemas de tomografía de emisión de fotón único.

Pruebas para el control de calidad en tomografía de emisión de fotón único

El control de calidad de una cámara gamma en tomografía de emisión de fotón único, comienza por verificar todos los parámetros planares, pues cualquier alteración de estos afecta invariablemente a los parámetros tomográficos, amplificando el error o defecto con la rotación y reconstrucción. Las pruebas planares se encuentran descritas en el capítulo 4, por eso no se repiten los procedimientos de estas.

Para evaluar el funcionamiento de un sistema tomografía de emisión de fotón único, los principales parámetros que se proponen medir son la uniformidad tomográfica y el centro de rotación. Si bien existen protocolos estandarizados para el control de calidad de los sistemas de tomografía de emisión de fotón único, muchos fabricantes proponen procedimientos específicos que optimizan el proceso de evaluación de estos parámetros y hacen recomendaciones para su empleo en la práctica clínica. Se adicionan también, algunas pruebas de menor frecuencia como la resolución espacial tomográfica, las variaciones rotacionales de la sensibilidad, la uniformidad del sistema, y el contraste tomográfico.

Se destaca también, la importancia de la realización de pruebas de funcionamiento total, que permiten evaluar de conjunto varios parámetros como la resolución, la uniformidad, la linealidad, el centro de rotación, el contraste, el proceso de reconstrucción y sus distintas opciones, así como otros parámetros que están en dependencia del maniquí empleado.

Se muestra la frecuencia de realización de las pruebas propuestas para evaluar parámetros tomográficos (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Pruebas para el control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único. Clasificación y frecuencia mínima propuesta

Pruebas	Aceptación	Referencia	Operacionales
Inspección física	X	X	Diaria
Uniformidad tomográfica	X	X	Semestral
Centro de rotación	X	X	Semanal
Tamaño absoluto del pixel	X	X	Semestral
Resolución tomográfica	X	X	Semestral
Prueba de variaciones de sensibilidad y uniformidad con el ángulo	X	-	-
Funcionamiento total	X	X	Semestral

Controles operacionales

- Inspección física (capítulo 4).
- Control de fondo (capítulo 4).
- Calibración energética (capítulo 4).
- Uniformidad del campo inundado (capítulo 4).
- Control del centro de rotación.

Controles de aceptación y referencia

Uniformidad tomográfica

Objetivo

Comprobar la homogeneidad de la distribución de la radiactividad en un corte tomográfico.

Frecuencia

Esta prueba se considera de aceptación y referencia, y debe ser realizada al menos semestralmente.

Materiales

- Simulador o maniquí cilíndrico rellenable con tecnecio-99m y agua (tanque del maniquí Jaszczack o Carlson).
- Una jeringuilla para agregar la actividad de tecnecio-99m ($A = 370 \text{ MBq}$) al simulador.
- Cinta adhesiva para fijar el maniquí a la camilla de tomografía de emisión de fotón único.

Procedimiento

Seguir los procedimientos descritos por el fabricante para esta prueba. Si no existen recomendaciones del fabricante, se sugiere usar como referencia las indicaciones dadas en el epígrafe 4.3.3 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único.

Interpretación de los resultados

Evaluar cualitativamente las imágenes obtenidas en los diferentes cortes transaxiales en busca de anillos concéntricos de cualquier espesor. Los anillos concéntricos gruesos muy espaciados indican, en general, variaciones en la uniformidad. Los anillos delgados muy cercanos, indican errores en la interfase cámara-computadora.

La uniformidad tomográfica se puede valorar matemáticamente de dos formas: evaluando el contraste tomográfico de los artefactos de cada corte o a través de la uniformidad integral. Se sugiere se empleen los procedimientos descritos en el epígrafe 4.3.3 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomo-

grafía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 142).

Límites de aceptación

- El contraste medido entre el artefacto y el fondo uniforme no debe exceder el 10 %.
- La uniformidad integral no debe ser mayor que el 20 % (sus valores normales oscilan entre 11 % y 18 %).

Centro de rotación

Objetivo

Comprobar la alineación de los ejes, es decir que el eje Z coincida lo más exacto posible con el eje de rotación del detector y no exista inclinación del detector en ninguno de los dos ejes X e Y (ver Fig. 5.2).

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia que debe ser chequeado al menos semanalmente para los colimadores de uso clínico.

Materiales

Una, tres o cinco fuentes radiactivas puntuales de tecnecio-99m suspendidas en el aire con actividad aproximada de 37 MBq por fuente, en volumen menor que 0,3 mL.

Accesorios adicionales que permitan posicionar las fuentes puntuales, según los requisitos del fabricante o el protocolo seleccionado para la prueba.

Procedimiento

Se recomienda seguir los procedimientos descritos por el fabricante para esta prueba. Considerar que existe gran variedad de opciones para los procedimientos de adquisición de los datos primarios y su procesamiento, las que pueden incluir el empleo de una, tres o cinco fuentes radiactivas, en dependencia del fabricante y la configuración del sistema tomografía de emisión de fotón único a evaluar (Fig. 5.3).

Si no existen recomendaciones del fabricante, se aconseja usar como referencia las indicaciones dadas en el epígrafe 4.3.6 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 145).

Interpretación de los resultados

Para evaluar cualitativamente el estado del centro de rotación, primero se observan las imágenes de todas las proyecciones adquiridas en modo cine, para identificar si existen corrimientos abruptos del centro de rota-

ción en alguna de las proyecciones. Luego, se observa el corte tomográfico, donde está la fuente completamente definida; si la fuente estaba ubicada fuera del centro de rotación, se observa un anillo; si por el contrario, está perfectamente ubicada, se observa un punto caliente central.



Fig. 5.3. Geometría empleada para la verificación del centro de rotación, considerando sugerencias del fabricante. A. Sistema que emplea una fuente puntual. B. Sistema que emplea múltiples fuentes puntuales.

Para evaluar de manera cualitativa el centro de rotación, se sugiere que se sigan las instrucciones o herramientas que brinda el fabricante. En caso contrario, se debe emplear uno de los dos métodos propuestos para estos fines: el de las fuentes colineales y el del sinograma; para su empleo e interpretación se sugiere se sigan los procedimientos descritos en el epígrafe 4.3.6 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 145).

Límites de aceptación

- El valor promedio del corrimiento del centro de rotación debe ser menor que 2 mm, de lo contrario se deben realizar acciones correctivas.
- El corrimiento del centro de rotación debe ser independiente de la posición de la fuente en el campo de visión (no deben diferir más de 2 mm entre el centro y los bordes del campo), de lo contrario, puede indicar que el eje Y no está alineado con el eje de rotación.

Tamaño absoluto del pixel

Objetivo

Determinar el tamaño absoluto del pixel para las matrices empleadas en tomografía.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia, que se debe repetir semestralmente.

Materiales

Se sugiere el empleo de dos o cuatro fuentes puntuales o lineales de tecnecio-99m con actividad no mayor que 100 μCi .

Procedimiento

Emplear los procedimientos sugeridos por el fabricante. En caso contrario, se recomienda las sugerencias descritas en el epígrafe 4.3.2 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 148).

Interpretación de los resultados

Los cálculos y análisis de los resultados se basan en la determinación exacta de la distancia entre las fuentes en el objeto y en las imágenes. La posición de las fuentes en las imágenes se estima a través del cálculo del centro de gravedad en ambos ejes X y Y. Para esto, se sugiere que se empleen los métodos o herramientas propuestos por el fabricante. De lo contrario, se sugiere se empleen los procedimientos descritos en el capítulo 4.3.2 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 148).

Límites de aceptación

La diferencia del tamaño del pixel en las direcciones X e Y no debe sobrepasar el 5 %.

Resolución tomográfica en aire

Objetivo

Medir la resolución tomográfica del sistema en aire y asegurar que el proceso de reconstrucción no la degrada. Verificar si el centro de rotación está correctamente ajustado y si el *gantry* no tiene vibraciones.

Frecuencia

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

Materiales

Una o varias fuentes radiactivas puntuales de 1 mCi de tecnecio-99m suspendida en el aire. Accesorios adicionales que permitan posicionar las

fuentes puntuales, según los requisitos del fabricante o el protocolo seleccionado para la prueba.

Procedimiento

Se deben coleccionar proyecciones tomográficas alrededor de las fuentes puntuales, según las indicaciones de los fabricantes. En caso contrario, se recomienda seguir las sugerencias descritas en el epígrafe 4.3.4 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único, o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 150).

Interpretación de los resultados

La reconstrucción de los cortes tomográficos de las fuentes puntuales y el análisis de los resultados se debe realizar siguiendo las instrucciones de los fabricantes. En caso contrario se recomienda seguir las sugerencias descritas en el epígrafe 4.3.4 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 150).

Límites de aceptación

La resolución tomográfica no debe ser 2 mm (o 10 %) mayor que la resolución planar.

Uniformidad del sistema con la posición del cabezal

Objetivo

Verificar que la uniformidad y la sensibilidad frente al campo inundado no varían (para cada colimador) con las diferentes posiciones del cabezal detector.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia que debe ser repetida semestralmente, para garantizar que no se produzcan desacoples en el cristal-guía de luz-fototubos con la posición de cabezal. Los sistemas de tomografía de emisión de fotón único deben realizarla para los 360° de rotación.

Materiales

Fuente radiactiva plana uniforme de cobalto-57, con una actividad entre 2 mCi a 10 mCi; puede emplearse también una fuente plana rellenable, pero se debe garantizar el llenado adecuado de la fuente (evitar burbujas de aire) y que al atar la fuente al detector quede suficientemente fija, para evitar algún pandeo de sus paredes que alteren la uniformidad.

Material adhesivo fuerte que permita colocar y fijar firmemente la fuente al cabezal, sin peligro de caer. Se debe verificar que no existan otras fuentes en el local del sistema tomografía de emisión de fotón único, previo a la realización de la prueba.

Procedimiento

Luego de fijar la fuente radiactiva plana a la superficie del detector, se debe proceder a la adquisición de los datos primarios, acorde con las instrucciones del fabricante del equipo. En caso contrario, se recomienda seguir las sugerencias descritas en el epígrafe 4.3.8 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 152).

Interpretación de los resultados

Se calcula la uniformidad integral y diferencial en el campo de visión central y campo de visión útil, para cada uno de los ángulos predefinidos. Se obtienen los valores medios y la desviación del valor medio de conteos por pixel en cada proyección. Para esto, se deben seguir las instrucciones del fabricante; en caso contrario, se recomienda seguir las sugerencias descritas en el epígrafe 4.3.8 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 152).

Límites de aceptación

Se considera como aceptable una desviación menor del 1 % para estas variables en cada vista, aunque algunos fabricantes permiten corregir la pérdida de sensibilidad por ángulo del detector.

Funcionamiento total del sistema tomografía de emisión de fotón único

Objetivo

Verificar el funcionamiento total de todos los componentes de la cámara gamma, bajo condiciones que simulan la práctica clínica. Permite evaluar la capacidad de detección de algunas lesiones simuladas frías o calientes (resolución espacial), la uniformidad tomográfica, el contraste, y la linealidad.

Frecuencia

Es una prueba de aceptación y referencia, que debe llevarse a cabo al menos semestralmente.

Materiales

- Simulador o maniquí cilíndrico rellenable con tecnecio-99m y agua (maniquí Jaszczack o Carlson).

- Una jeringuilla para agregar la actividad de tecnecio-99m ($A = 370 \text{ MBq}$) al maniquí.
- Cinta adhesiva para fijarlo a la camilla de tomografía de emisión de fotón único.

Procedimiento

Adquirir proyecciones tomográficas alrededor del maniquí de funcionamiento total, siguiendo las indicaciones del fabricante. En caso de que no se disponga de estas instrucciones, se recomienda seguir las sugerencias descritas en el epígrafe 4.3.9 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 153).

Interpretación de los resultados

La reconstrucción de los cortes tomográficos de las diferentes secciones del maniquí (uniformidad, linealidad, contraste) y el análisis de los resultados, se deben realizar siguiendo las instrucciones de los fabricantes. En caso contrario, se recomienda seguir las sugerencias descritas en el epígrafe 4.3.9 del documento del Organismo Internacional de Energía Atómica sobre control de calidad de sistemas de tomografía de emisión de fotón único o el capítulo 4 de la primera edición del libro *Control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. Protocolo nacional* (p. 153).

Límites de aceptación

El empleo de maniqués de funcionamiento total para verificar el trabajo de los sistemas de tomografía de emisión de fotón único, posibilita evaluar integralmente un conjunto de parámetros funcionales de estos equipos. La realización de esta prueba permite detectar anomalías en la uniformidad tomográfica (por la presencia de artefactos circulares concéntricos), identificar desajustes del centro de rotación a través de la degradación de la resolución espacial o el contraste tomográfico, evaluar deficiencias del coeficiente de atenuación empleado para la corrección a través de una variación mayor que el 10 % en el perfil de uniformidad, entre otros. La degradación significativa de cualquiera de estos parámetros funcionales entre las pruebas de referencia y las operacionales, necesita investigación detallada y acciones correctivas que restauren el correcto funcionamiento del sistema tomografía de emisión de fotón único.

Recomendaciones para el control de calidad de sistemas con múltiples cabezales

La variabilidad existente entre los sistemas de múltiples cabezales es grande (Fig. 5.4), de manera que la estandarización de las normas de con-

trol de calidad es todavía más difícil de establecer que para tomografía de emisión de fotón único de un cabezal simple. Cada fabricante establece sus propios protocolos, que dependen mucho de la movilidad de sus detectores y de sus principios de procesamiento.



Fig. 5.4. Control diario de uniformidad para una cámara de dos cabezales (protocolo NEMA).

En general, se puede decir que para los sistemas de tomografía de emisión de fotón único multicabezales se cumple que:

- Las pruebas de control de calidad requieren de más tiempo, pues de forma general deben chequearse los cabezales como sistemas independientes y después como un conjunto.
- En la mayoría de los casos, se requieren aditamentos y correcciones específicas de cada fabricante, para la evaluación de algunos parámetros (máscaras para corrección de linealidad, fuentes lineales para uniformidad, entre otras).
- En algunos casos, los grados de libertad de los detectores dificultan o impiden la realización de las pruebas recomendadas por las normas internacionales NEMA, del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) y la Asociación Americana de Física Médica (AAPM), entre otras.

Para los sistemas multidetectores, se requiere primero realizar las pruebas descritas en el capítulo 4, para caracterizar y verificar el estado de los parámetros planares de cada cabezal. Igualmente, se deben realizar comparaciones cualitativas y cuantitativas entre los diferentes detectores, y evaluar el nivel de similitud en su funcionamiento. Existen límites para las diferencias en el funcionamiento entre los detectores, sin embargo algunos fabricantes no predefinen estos valores; en todos los casos, el criterio que

debe prevalecer es que la diferencia entre los resultados de las pruebas, y por ende, entre el funcionamiento de los diferentes cabezales, no puede degradar la imagen tomográfica ni sus parámetros característicos.

Por otra parte, se deben considerar aspectos operacionales como el que los colimadores deben estar identificados con el detector que le corresponde, para evitar errores con la selección de las matrices de uniformidad.

En los sistemas multidetector, la mayoría de los parámetros tomográficos, previamente descritos en este capítulo, se evalúan a partir de adquisiciones simultáneas con todos los detectores que conforman el sistema. Por ejemplo, la uniformidad tomográfica, el contraste y la resolución tomográfica, son parámetros que deben ser evaluados a partir de los datos primarios que se colectan con el aporte de todos y cada uno de los detectores del sistema tomografía de emisión de fotón único, de manera que su verificación debe incluir los datos proporcionados por el sistema en su conjunto. En caso que se identifiquen dificultades en la respuesta de alguno de estos parámetros, se pueden realizar pruebas tomográficas independientes para descartar las causas o fuentes de las fallas detectadas. Se ha demostrado que el correcto funcionamiento de estos sistemas tomográficos demanda un grado aceptable de coincidencia en la respuesta de sus detectores, tanto entre sus parámetros planares como tomográficos, siendo relevante la concordancia en la sensibilidad, tamaño del pixel y centro de rotación.

Otros aspectos de importancia a considerar en el funcionamiento y evaluación de los sistemas multidetectores son:

- Debe existir coincidencia de los ejes de rotación cabezal-colimador.
- Las correcciones energéticas se deben adquirir para cada detector independiente, y la resolución energética evaluada independientemente.
- Cuando los detectores se encuentran perfectamente alineados y verticales, el eje de rotación está perfectamente horizontal (es decir, la gráfica del centro de rotación en Y es una línea, si se emplea una fuente lineal), además el corrimiento no tiene dependencia angular.
- No se aceptan valores de uniformidad menores de 3 % para adquisiciones tomográficas.
- Los controles operacionales son los mismos que para el tomografía de emisión de fotón único de un solo detector y los parámetros se evalúan para ambos cabezales juntos:
- Inspección física:
 - Control de fondo.
 - Calibración energética (si es necesario).
 - Uniformidad del campo inundado.
 - Control del centro de rotación.