

CONTROL DE CALIDAD DEL EQUIPAMIENTO

<i>Autora</i>	MSC. Ing. Adlín López Díaz
<i>Colaboradores</i>	Téc. Ana Ivis Cárdenas Triana, Dr. Ernesto Gálvez Pérez, Dra. Yuneysis Valladares Rivero
<i>Departamento</i>	Medicina Nuclear

Procedimientos de control

Del calibrador de actividad (activímetro o curímetro)

Estructura asistencial

- **Humana**
 - ⊕ Técnico en radiofísica
 - ⊕ Físico médico

Procedimiento para la prueba de precisión y exactitud

Objetivos

- El objetivo de esta prueba es comprobar la precisión y exactitud de la medición de actividad en las condiciones geométricas y energías más usadas de radiación. Es una prueba de aceptación y referencia, que debe ser repetida al menos cada seis meses.
- La exactitud de los activímetros depende de diversos factores. Su calibración de fábrica se realiza con fuentes certificadas de $\pm 1 \%$, pero en ocasiones pueden llegar hasta 3-5 %, limitando la exactitud inicial del instrumento.

Recursos materiales

- Fuentes selladas y certificadas de energías bajas, medianas y altas; con incertidumbres de $\pm 5 \%$ o menos (ejemplos: Cs137, Ba¹³³, Co⁶⁰).
- Activímetro

Procedimiento

- Encendido del equipo, dejar que transcurra el tiempo necesario para la estabilización del mismo.
- Selección del radionúclido a medir.
- Medición del fondo que se debe sustraer a la medición final del radionúclido determinado o ajustar el potenciómetro a cero para garantizar la sustracción automática del fondo.
- Insertar la fuente radiactiva en el pozo.

- Medir y anotar la actividad 10 veces consecutivas (sustraer el fondo de ser necesario)
- Extraer la fuente radiactiva y devolverla a su embalaje.

Análisis de los resultados

La **precisión** es una medida de la dispersión de los resultados, es decir de la repetibilidad del sistema de medición; lo más recomendable es que sea lo más pequeña posible. Se evalúa como:

$$P = \frac{100 * (A_i - A_p)}{A_p (\%)}$$

Donde:

A_i = Son las mediciones individuales.

A_p = Es el promedio de todas.

La **exactitud** es una medida de cuan cercanos están los resultados brindados por el equipo de la actividad real de mi fuente. Se evalúa como:

$$E = \frac{100 * (A_p - C)}{C (\%)}$$

Donde:

A_p = Es el promedio de todas las mediciones.

C = Es el valor real de actividad.

Límites para la aceptación

- Estos límites de aceptación están determinados por el fabricante, pero en general es recomendable que las mediciones individuales de actividad no difieran en más de 5 % de la actividad promedio medida [precisión].
- La exactitud no debe exceder el ± 10 % del valor certificado de la fuente corregido por el decaimiento radiactivo.

Linealidad de la respuesta a la actividad

- La linealidad de la respuesta a la actividad es un parámetro que puede evaluarse con cualquier isótopo y en el rango de actividades que vaya a usarse.

Objetivo

El objetivo de esta prueba es verificar la linealidad de la respuesta del actinómetro en el rango de actividades a medir, que en general oscila entre 1Ci y 10^{-5} Ci; de manera que la curva actividad-respuesta debe ser lineal o al menos perfectamente conocida dentro de ese espectro.

Existen dos métodos fundamentales para evaluar la linealidad del sistema: el del decaimiento radiactivo de una fuente de actividad alta y vida media corta, y

el método de las fuentes radiactivas linealmente graduadas. Es una prueba de aceptación y referencia, que debe ser realizada trimestralmente. Se anexan hojas de trabajo.

Método de las fuentes radiactivas linealmente graduadas

El método de las fuentes radiactivas linealmente graduadas presenta como inconveniente una mayor manipulación del material radiactivo y la posibilidad de introducir errores por pipeteo; pero tiene como ventaja que es un protocolo que se puede desarrollar en un tiempo relativamente corto.

Recursos materiales

Solución del material radiactivo con una actividad igual o mayor al doble de la más usada en la práctica clínica (ejemplo 500 mCi en 10 mL), frascos para muestras (ejemplo 10 frascos), dispositivo para el pipeteo automático, portador de fuentes radiactivas y dispositivos para la manipulación de dichos frascos. Papel milimetrado o programa de computación que permita el ajuste de curvas.

Procedimiento

Empleando la pipeta, dividir en una serie de frascos volúmenes decrecientes de solución radiactiva, de manera que en el primero se coloca la mitad de la actividad inicial, en el segundo un cuarto de la actividad inicial, y así sucesivamente; por ejemplo 5 mL, 2.5 mL, 1.25, 0.625, 0.3125, etc. de una solución que contenga 50 mCi/mL en 10 mL). La Figura 1 ilustra este paso.



Figura 1. Preparación de muestras en una prueba de linealidad empleando fuentes linealmente graduadas

- Completar con agua el volumen restante hasta completar la misma cantidad en cada frasco (ejemplo 5 mL en cada uno) y cerrarlos adecuadamente.
- Seleccionar las condiciones requeridas para la medición del radioisótopo. Determinar el fondo o corregir el cero del instrumento según sea el caso.
- Colocar el vial de mayor actividad, dejar transcurrir el tiempo necesario para estabilizar la lectura, medir y anotar la actividad reportada. Corregir el fondo de ser necesario. Este paso se repetirá para todos los frascos en orden descendente de actividad.

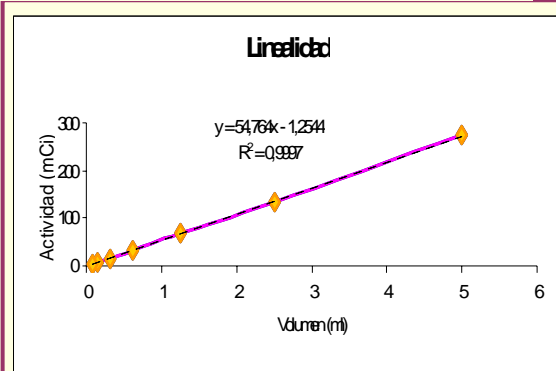
Análisis de los resultados

- Se registran los datos del volumen original (sin diluir) vs. actividad. Se ajusta una recta lo mejor posible a los datos de baja actividad y se extrapola a los puntos de mayor actividad, para cubrir todos los rangos de actividades medidas. Se examina el gráfico en busca de desviaciones visibles de la recta, estas desviaciones indican una pérdida de linealidad de la respuesta.

- La falta de linealidad en la región de altas actividades puede indicar saturación del detector (ocasionada probablemente por el deterioro de alguno de sus componentes).

Figura 2: Tabla de datos y gráfico de un chequeo de linealidad en la respuesta a la actividad de un actinómetro, empleando el método de las fuentes linealmente graduadas

Volumen (mL)	Actividad (mCi)
5	274.1
2.5	132
1.25	68.01
0.62	33.38
0.31	15.32
0.15	8.02
0.08	3.1



- Como ejemplo se anexa la tabla de datos de un chequeo de linealidad, de un actinómetro CARPINTEC y su gráfico de ajuste en la figura 2.

Método de decaimiento de una fuente radiactiva

El método del decaimiento radiactivo de una fuente tiene la ventaja de evitar la manipulación de grandes cantidades de material radiactivo y la introducción de errores por pipeteo, pero alarga la duración del chequeo a varios períodos de vida media de la fuente y requiere la realización de mediciones bien periódicas y frecuentes para evitar la pérdida de información en determinadas regiones de actividad. Se debe prestar especial atención a la medición del tiempo, pues un error en su registro puede afectar la estimación de la linealidad.

Recursos materiales

Solución de material radiactivo de vida media corta (Tc^{99m} o In^{113m}) con una actividad igual o mayor a la máxima actividad usada en la práctica clínica (ejemplo 500 mCi en 10 mL), portador de fuentes radiactivas y dispositivos para la manipulación del frasco. Papel semi-logarítmico o programa de computación que permita el ajuste de curvas.

Procedimiento

- Seleccionar las condiciones requeridas para la medición del radioisótopo. Determinar el fondo a sustraer o corregir el cero del instrumento según sea el caso.
- Introducir el frasco en el pozo con el dispositivo para la manipulación del mismo. Dejar transcurrir el tiempo necesario para estabilizar la lectura, medir y anotar la actividad reportada. Corregir el fondo de ser necesario. Apuntar la fecha y la hora exacta de la medición.
- Extraer el frasco del pozo con el dispositivo para la manipulación del mismo.

- Repetir regularmente los pasos del 1 al 3 durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo que garantice que el vial contenga una actividad menor o igual al mínimo valor para el que se emplea habitualmente.

Análisis de los resultados

- Se registran los valores de actividad medida vs. tiempo en un gráfico semi-logarítmico. Se ajusta una recta lo mejor posible a los datos de baja actividad y se extrapola a los puntos de mayor actividad, para cubrir todos los rangos de actividades medidas. La pendiente de la recta debe coincidir con la constante de desintegración radiactiva (λ) del radionúclido. Se examina el gráfico en busca de desviaciones visibles de la recta, estas desviaciones indican una pérdida de linealidad de la respuesta.
- La falta de linealidad en la región de altas actividades pudiera indicar saturación del detector (ocasionada probablemente por el deterioro de alguno de sus componentes). Los cambios de sensibilidad del instrumento con el tiempo pueden simular una pérdida de linealidad del instrumento, este problema puede ser descartado con la realización de pruebas periódicas de reproducibilidad.

En la figura 3 se muestra, a modo de ejemplo, la tabla de un actinómetro PTW y su recta de ajuste.

Límites de aceptación

Las actividades medidas no deben exceder un $\pm 5\%$ de los valores estimados por la línea recta trazada para que la linealidad del instrumento sea adecuada. Sin embargo se puede emplear el equipo si es posible corregir la falta de linealidad en las regiones de saturación si esta muestra un comportamiento estable y no supera el 25%.

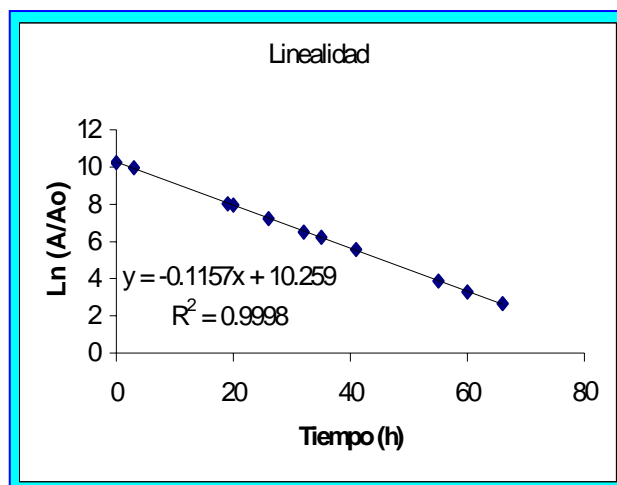
Dependencia geométrica

La mayoría de los instrumentos en nuestro país vienen solamente con un porta-muestras; en caso de tener aditamentos adicionales estos deben ser evaluados también como parte de los recipientes porque pueden alterar los resultados de la medición.

Figura 3; Tabla de datos y gráfico de un chequeo de linealidad en la respuesta a la actividad de un calibrador de dosis empleando el método el decaimiento radiactivo.

Tiempo (h)	Actividad (MBq)
0	28340
3	20820
19	3088
20	2862
26	1383
32	666

35	512
41	264
55	48.2
60	26.8
66	14.3



Objetivos

Determinar la dependencia geométrica de la medida de actividad teniendo en cuenta la posición de la muestra dentro del pozo, el volumen de la misma y la forma del recipiente. Calcular los factores de corrección necesarios para evitar las pérdidas de exactitud en la respuesta de equipo. Constituye un test de aceptación y referencia que debe ser realizado al menos anualmente para los viales y jeringuillas usados en la práctica clínica.

Recursos materiales

Viales y jeringuillas más usadas en la práctica clínica; 10 mCi de actividad por vial y jeringuillas a estudiar. Dispositivos plásticos o metálicos de 1 cm de espesor, que puedan ser introducidos como calzos en el pozo para evaluar la dependencia de la respuesta con la posición dentro del pozo.

Procedimiento

- **Factor de volumen**

- ✧ Introducir en un vial vacío 10 mCi de Tc99m, con el volumen aproximado de la fuente usada para la calibración y realizar la medida de actividad (At).
- ✧ Los factores de corrección de volumen "para vial" (Fvi) pueden ser calculados como:

$$Fvi = At / Avi$$

Si Avi es medida añadiendo 2 mL al vial de manera repetida.

- ✧ Para calcular el factor de corrección de volumen "para jeringuilla": extraer 0.5 mL del vial de actividad conocida At, en una jeringuilla usada en la práctica clínica; realizar la medida de actividad de la misma (Aj1) y la actividad remanente en el vial (Arv). El factor de corrección de volumen "para la jeringuilla" se calcula como:

$$Fcv1 = Aj1 / (At - Arv)$$

- ✧ Ir añadiendo 0.5 mL de agua a la jeringuilla hasta llenarla completamente; medir de nuevo A_{jx} y obtener los factores de corrección de volumen para dicha jeringuilla (F_{cvx}) como:

$$F_{cvx} = A_{ix} / A_{j1}$$

- ✧ Al repetir estas medidas para todas las jeringuillas y viales, dispondremos de la dependencia de la respuesta del activímetro con la forma del recipiente empleado y su volumen.
- **Factor de geometría**
 - ✧ Introducir en un vial vacío 10 mCi de Tc99m, con el volumen aproximado de la fuente usada para la calibración y realizar la medida de actividad (A_t).
 - ✧ Desplazar el vial a lo largo del pozo, empleando los distintos espesores de 1 cm y registrar la actividad para cada uno (A_{pi}). Calcular los factores de corrección "por geometría" (F_{gi}) como:

$$F_{gi} = A_{pi} / A_t$$

- ✧ Al repetir estas medidas para todas las jeringuillas y viales que disponemos, se deberá registrar la zona óptima de medición para cada vial o geometría.

Análisis de los resultados

Cuando los pozos de las CI son profundos existe poca dependencia de volumen, incluso la zona del pozo donde no existe dependencia geométrica para determinados recipientes puede ser amplia. Para estos factores no existen límites de aceptación reportados, sin embargo los equipos deben ser ampliamente estudiados durante la aceptación para establecer debidamente su comportamiento. Existen equipos que presentan correcciones automáticas por geometría, donde estas pruebas tienen poco valor, a menos que se utilicen muestras pre-calibradas por laboratorios autorizados.

Límites de aceptación

No tiene.

Prueba de verificación del fondo

Objetivos

Comprobar la respuesta al fondo de un calibrador de dosis, así como la búsqueda de posibles contaminaciones del pozo o la alteración de alguna de las condiciones habituales de medición. Es una prueba de referencia y operación, que debe ser chequeada con una sola medición diariamente y con mejor estadística una vez al mes.

Recursos materiales

- Papel y lápiz
- Bitácora del activímetro

Procedimiento

- Seleccionar las condiciones de medición para cualquier radionúclido de emisión gamma pequeña (en nuestro medio Tl^{201} , Cr^{51} o Xe^{133}).
- Anotar la lectura de fondo para el radionúclido correspondiente, o ajustar el cero y anotar la posición del mismo.

Análisis de los resultados

El fondo ambiental puede presentar fluctuaciones pero no debe ocasionar cambios drásticos en el comportamiento de un equipo, es decir que estas fluctuaciones deben ser debidamente estudiadas.

Un incremento importante de una respuesta al fondo puede indicar una contaminación del pozo o una elevación del fondo ambiental, para descartar entre lo primero y lo segundo se puede extraer el forro o porta-muestra del pozo. Un calibrador de dosis sin ajuste de cero, siempre debe tener un valor de fondo, lo contrario indica un desajuste del cero preestablecido que puede subestimar la actividad real de cualquier muestra.

Límites de aceptación

Se considera aceptable hasta 2 veces la desviación estándar del valor de fondo de referencia.

Controles operacionales

Inspección física

Objetivo

- Verificar que el sistema esté operable.

Procedimiento

- Chequear que no existan daños físicos. Prender el equipo y esperar a su estabilización. Verificar que funcionen todas las teclas a controles, etc.

Análisis de los datos y límites de aceptación

- Cualquier situación anormal que se presente invalida el uso del activímetro y requiere acción correctiva.

Prueba de verificación del fondo

- Según prueba explicada anteriormente.

Prueba de reproducibilidad (o estabilidad en la operación)

Objetivo

- Verificar la estabilidad en la operación diaria del equipo, relacionada con la reproducibilidad en la medida de actividad de una fuente conocida.

- Es un chequeo operacional, que debe realizarse en todos los centros que posean fuentes a tales fines.

Recursos materiales

- Fuente sellada de energía mediana, vida media larga y actividad aproximada de 3.7MBq, como: Cs137, Ba¹³³ o Ra²²⁶.
- Papel para gráficas con escalas lineales.

Procedimiento

- Encendido del equipo, dejar que transcurra el tiempo necesario para la estabilización del mismo.
- Selección del radionúclido a medir.
- Medición del fondo que se debe sustraer a la medición final del radionúclido determinado o ajustar el potenciómetro a cero para garantizar la sustracción automática del fondo.
- Insertar la fuente radiactiva en el pozo.
- Medir y anotar la actividad (sustraer el fondo de ser necesario).
- Repetir los pasos 2-5 para cada radionúclido a utilizar ese día, pues la estabilidad medida en uno de ellos no garantiza la estabilidad del resto, sobre todo en instrumentos de teclas o interruptores, donde los componentes electrónicos en funcionamiento durante las medidas son diferentes.
- Extraer la fuente radiactiva y devolverla a su embalaje.

Tabla 1.1. Factores de corrección por el decaimiento radiactivo de una fuente Cs¹³⁷

<i>Meses después de la fecha de calibración de la fuente de Cs¹³⁷</i>	<i>Factor de corrección por decaimiento</i>
6	0.988
12	0.977
18	0.966
24	0.955
30	0.944
36	0.933
42	0.922
48	0.912
54	0.901
60	0.891

Análisis de los resultados

La tabla 1.1 muestra el factor de corrección por el decaimiento radiactivo, pues es el patrón más común en nuestros servicios de medicina nuclear. La actividad resultante debe oscilar alrededor de la actividad aparente de la fuente para cada escala o radionúclido, debidamente corregida por el decaimiento. Esta actividad aparente puede diferir mucho del valor real reportado de la fuente.

Los datos pueden ser graficados en escala lineal y deben mostrar una recta de pendiente negativa que depende del período de vida media de la fuente.

Los resultados discordantes de las medidas pueden implicar imprecisión, errores sistemáticos o desajuste del instrumento, que requieren acción correctiva.

Límites de aceptación

Los límites de aceptación para esta prueba están definidos por la precisión del instrumento, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del mismo. Sin embargo, se considera que la actividad obtenida no debe variar más de un 5%, del valor aparente de la fuente corregida por el decaimiento radiactivo.

Procedimiento para el control de calidad de parámetros planares de las cámaras gamma

- ***Estructura asistencial***

- ⊕ ***Humana***

- Técnico en radiofísica
 - Físico médico

- **Uniformidad intrínseca**

Definición

La uniformidad caracteriza el grado de variabilidad en la densidad de cuentas observada, a través del detector, frente un flujo uniforme de radiación (o campo inundado) sin la influencia del colimador.

Objetivo

Estudiar la uniformidad del detector para cada radionúclido empleado, evaluando la uniformidad integral (UI) y diferencial (UD) en todo el campo útil (UFOV) y en el campo central del detector (CFOV). Es una prueba de aceptación y referencia que debe ser repetida cada tres meses.

Materiales

Fuente radiactiva puntual consistente en una solución de ^{99m}Tc u otro radionúclido a medir (cargada en el menor volumen posible), con una actividad que proporcione una tasa de cuentas no superior a 20 Kc/seg con una ventana de 20 %; soporte o montaje que permita colocar la fuente radiactiva en la línea perpendicular al centro del detector y separada a una distancia mínima de 5 veces el diámetro del campo útil de visión (UFOV).

Procedimientos

- ✧ Retirar el colimador y ubicar adecuadamente el detector, tal que la línea perpendicular a su centro pase por el soporte o montaje de la fuente radiactiva.
- ✧ Situar la fuente radiactiva en el soporte o montaje.
- ✧ Colocar la máscara de plomo centrada en la superficie del detector (en las cámaras gamma que lo requieran).
- ✧ Ubicar ventana energética en el centro fotópico con ancho de 20 %.
- ✧ Acumular y almacenar una matriz de 30 MC en un formato de 64 x 64.
- ✧ Retirar la fuente radiactiva, la máscara de plomo y restablecer el colimador.

Análisis de los datos

La imagen debe examinarse detenidamente, buscando variaciones en la densidad de cuentas que puedan brindar información sobre posibles fallos, posteriormente se suaviza con un filtro de 9 puntos. El término ***uniformidad integral*** analiza la variación en todo el campo de visión y se calcula como:

$$UI = (C_{max} - C_{min}) / (C_{max} + C_{min}) * 100\%$$

Donde:

C_{max} y C_{min} = valores máximo y mínimo de conteos en todo el campo útil del detector.

Mientras que el término ***uniformidad diferencial*** es el valor máximo de cambio en una distancia definida en píxeles y se calcula como:

$$UD = (V_{max} - V_{min}) / (V_{max} + V_{min}) * 100\%$$

Donde:

V_{max} y V_{min} = valor máximo y mínimo del número de cuentas en 6 pixel consecutivos.

Estos parámetros se evalúan también en el campo de visión central, donde los valores deben ser menores que en todo el campo útil del detector.

Límites de aceptación

La imagen puede ser adquirida con o sin corrección de uniformidad, usualmente se realiza con corrección pero se recomienda que durante los test de aceptación o después de reparaciones importantes, se adquieran y conserven imágenes sin corrección, que permitan conocer el comportamiento del sistema ante fallas de los circuitos de corrección.

Durante la aceptación del equipo, la uniformidad integral y diferencial no debe ser 10 % mayor que el peor valor reportado por el fabricante; aunque se recomienda exigir al representante del mismo que la cámara gamma se ajuste a los valores de las especificaciones técnicas con las que se adquirió. Si durante los chequeos de rutina, se obtiene 20 % de

diferencia con el valor establecido como nivel de referencia, se recomienda iniciar acciones correctivas.

Existen equipos SPECT, que por determinadas razones han quedado inoperantes, y pueden ser utilizados como planares a pesar de no ajustarse a lo normado por el fabricante, ya que los requerimientos de uniformidad son superiores para estudios tomográficos.

Uniformidad del sistema

Definición

La uniformidad caracteriza el grado de variabilidad en la densidad de cuentas observada, a través del detector, frente un flujo de radiación uniforme. Se ve afectada por los parámetros que degradan la uniformidad intrínseca y además por los defectos o daños del colimador.

Objetivo

Evaluar la uniformidad integral (UI) y diferencial (UD) en el campo útil de visión (UFOV) y en el campo de visión central (UFOV), para cada uno de los colimadores de agujeros paralelos.

Es una prueba de aceptación y referencia que debe ser repetida anualmente para todos los colimadores. Como rutina debe ser repetida semanalmente en los sistemas planares, empleando el colimador más usado de baja energía y con un número menor de cuentas ($\sim 10\text{Mc}$).

Materiales

Fuente radiactiva plana uniforme de Co-57, con una actividad entre 2 y 10 MCi, colimadores paralelos usados en la práctica clínica diaria; puede emplearse también una fuente plana rellenable con Tc99m.

Procedimientos

- Colocar el detector con la superficie del colimador seleccionado hacia arriba y ubicar sobre el mismo la fuente radiactiva uniforme.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de un 20%.
- Acumular y almacenar una matriz de 30 Mc en un formato de 64x64x16bits.
- Repetir los pasos anteriores con los restantes colimadores de huecos paralelos y baja energía, existentes en el servicio.
- Retirar la fuente radiactiva.

Análisis de los datos y límites de aceptación

- El análisis de los datos y sus límites de aceptación se corresponden con la prueba de uniformidad intrínseca.

Uniformidad del sistema con la posición del cabezal

Objetivo

Verificar que la uniformidad frente al campo inundado no varía (para cada el colimador todo propósito) con las posiciones superiores del cabezal detector.

Es una prueba de aceptación y referencia que debe ser repetida anualmente, para garantizar que no se produzcan desacoples en el cristal-guía de luz-fototubos con la posición de cabezal. Si el sistema es SPECT y se utiliza como tal, esta prueba seguirá el protocolo descrito en el siguiente acápite.

Es una prueba debe llevarse a cabo después de chequear que no hay fuentes de radiación alrededor, incluso descontar que exista alguna contaminación radiactiva, para garantizar el éxito de la misma.

Materiales

Fuente radiactiva plana uniforme de Co-57, con una actividad entre 2 y 10 mCi; puede emplearse también una fuente plana rellenable, pero debe garantizarse 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 agarrar la fuente al cabezal fijamente y sin peligro de caer.

Procedimiento

- Colocar el detector con la superficie del colimador seleccionado hacia arriba y ubicar sobre el mismo la fuente radiactiva uniforme. Atarla firmemente, para que no se corra cuando el detector se desplace, colocar el detector hacia abajo a 0°.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de 20 %.
- Acumular y almacenar una matriz de 2 Mc en un formato de 64x64.
- Repetir el paso 3 ubicando el detector en las posiciones superiores que habitualmente se utilizan en la práctica (ejemplo: oblicua anterior izquierda y oblicua lateral izquierda en estudios cardíacos planares, posterior izquierda u posterior derecha en estudios estáticos renales, etc.).
- Retirar la fuente radiactiva.

Análisis de los datos

Se calcula la uniformidad integral y diferencial en el CFOV y UFOV. Se obtienen los valores medios y la desviación del valor medio de cada uno.

Límites de aceptación

Se considera como aceptable una desviación menor del 1%, sin embargo si el sistema permite seleccionar la matriz de corrección que se emplea para cada estudio es posible utilizar es sistema en cada posición con una desviación mayor.

Prueba de la uniformidad intrínseca con diferentes amplitudes de ventana energética

Objetivo

Verificar la respuesta intrínseca del detector, frente un flujo de radiación uniforme (o campo inundado) para todos los anchos de ventana disponibles. Es un test de referencia que debe repetirse al menos anualmente.

Materiales

Anillo de plomo para delimitar el campo de visión útil del detector y evitar efecto de contorno (en las cámaras gamma que lo requieran); fuente radiactiva puntual consistente en una solución de ^{99m}Tc (cargada en el menor volumen posible), con una actividad entre 10-20 MBq (0.3-0.5 mCi); soporte o montaje que permita colocar la fuente radiactiva en la línea perpendicular al centro del detector y separada a una distancia mínima de 5 veces el diámetro del campo útil de visión (UFOV).

Procedimiento

- Retirar el colimador y ubicar adecuadamente el detector, tal que la línea perpendicular a su centro pase por el soporte o montaje de la fuente radiactiva.
- Situar la fuente radiactiva en el soporte o montaje.
- Colocar la máscara de plomo centrada en la superficie del detector (en las cámaras gamma que lo requieran).
- Ubicar la ventana menor ventana energética posible en el centro fotópico.
- Acumular y almacenar una matriz de 2Mc en un formato de 64x64.
- Repetir los pasos 4 y 5 incrementando la amplitud de la ventana cada 10%
- Retirar la fuente radiactiva, la máscara de plomo y restablecer el colimador.

Análisis de los datos

En estas imágenes se pueden calcular la uniformidad integral y diferencial, empleando los programas habituales, pero en general basta con una observación minuciosa de las mismas, anotando cualquier variación en la densidad de cuentas.

Límites de aceptación

La uniformidad del detector debe mantenerse a pesar de la disminución la ventana, si esta se degrada debe realizarse una acción correctiva, que verifique el acoplamiento óptico entre el cristal y la guía de luz.

Resolución espacial intrínseca

Definición

La resolución espacial intrínseca expresa la capacidad de la cámara gamma para resolver como objetos independientes dos fuentes radioactivas puntuales o lineales separadas entre sí. Este parámetro puede verse afectado por la falla de componentes electrónicos, el desajuste de la ganancia de los fototubos, la

falta de linealidad espacial, defecto o deterioro del cristal, las altas tasas de cuentas, etc.

Objetivo

Evaluar el ancho a la mitad de la altura (FWHM) para estimar la resolución espacial intrínseca del detector. Constituye una prueba de aceptación y referencia que debe efectuarse semestralmente.

Método analógico

Materiales

Fantoma de cuatro cuadrantes, fuente radiactiva puntual consistente en una solución de ^{99m}Tc (preparada en el menor volumen posible), con una actividad de entre 0.5-1 mCi; anillo de plomo para delimitar el campo de visión útil del detector y evitar efecto de contorno, en las gamma cámaras que lo requieran; soporte o montaje que permita colocar la fuente radiactiva en la línea perpendicular al centro del detector, separada a una distancia mínima de 5 veces el UFOV.

El fantoma de cuatro cuadrantes debe coincidir con la resolución espacial del equipo, de manera que al menos un conjunto de barras no se resuelva adecuadamente; además los incrementos en la amplitud de las barras de un cuadrante a otro debe ser pequeño para estimar la resolución espacial con exactitud razonable. Si se dispusiera de un fantoma de agujeros con espaciamiento gradual, sólo se repetirán dos imágenes y se empleará el mismo formalismo que para el de cuatro cuadrantes.

Procedimiento

- Retirar el colimador.
- Colocar la máscara de plomo sobre la cubierta del detector y el fantoma de cuadro cuadrantes alineado con los ejes X o Y.
- Colocar la fuente radiactiva en el soporte y alinearla con el centro del detector.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de un 20%.
- Adquirir y almacenar la imagen en formato 256*256, condición de parada 3 Mc para campos circulares y 4 Mc para campos cuadrados.
- Rotar el fantoma 90°, hasta completar cuatro imágenes, repitiendo los pasos 2-5 para c/u.
- Retirar el fantoma y la fuente radiactiva. Colocar el colimador en la cabeza detectora

Análisis de los datos

Observar las imágenes y determinar el tamaño mínimo de las barras que se ven separadas en ambas direcciones X e Y (B). El ancho a la mitad de la altura (FWHM) se puede estimar como:

$$\text{FWHM} = 1.75 * B$$

Promediar los valores obtenidos en ambas direcciones.

Límites de aceptación

Durante las pruebas de aceptación el FWHM no debe ser mayor que el peor valor reportado por el fabricante. Si durante los chequeos de rutina, 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 extrínseca

Objetivo

Verificar la resolución espacial del sistema, para cada uno de los colimadores de agujeros paralelos que se poseen y en general constituye una prueba de aceptación de los mismos. Esta prueba muestra como se afecta la resolución del sistema con la elección del colimador y conforme se aleja la fuente radiactiva del mismo.

Método analógico

Materiales

Fantoma de cuatro cuadrantes o de agujeros con espaciamiento gradual, fuente radiactiva plana de Co57 o fuente plana rellenable con 185MBq (~5 mCi) de Tc99m.

Procedimiento

- Colocar el fantoma de cuatro cuadrantes alineado con el eje X o Y, pegado al colimador.
- Colocar la fuente radiactiva.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de un 20 %.
- Adquirir y almacenar la imagen en formato 256*256, condición de parada 3 Mc para campos circulares y 4 Mc para campos cuadrados.
- Rotar el fantoma 90°, hasta completar cuatro imágenes, repitiendo los pasos 2-5 para cada uno.
- Alejar el fantoma 10 cm del colimador y repetir los pasos del 1-5.
- Retirar el fantoma y la fuente radiactiva. Colocar el colimador en la cabeza detectora.

Análisis de los datos

Observar las imágenes y determinar el tamaño mínimo de las barras que se ven separadas en ambas direcciones X e Y (B). El ancho a la mitad de la altura (FWHM) se puede estimar como:

$$\text{FWHM} = 1.75 * B$$

Promediar los valores obtenidos en ambas direcciones

Límites de aceptación

Durante la aceptación, el FWHM no debe exceder en 20 % del peor valor reportado por el fabricante, para cada colimador. Si eso sucediera, el colimador debe ser reemplazado. Si durante un chequeo de rutina, existe pérdida de visualización de un cuadrante visto anteriormente, se recomienda interrumpir los estudios y contactar el servicio de reparación y mantenimiento.

Método digital

Materiales

Fuente puntual (~ 0.3 mCi de Tc-99m) o lineal de ~ 1 mm y más de 15 cm de longitud (~ 2 mCi/mL de Tc-99m) sobre un soporte rígido y delgado de plástico. También se pueden usar dos fuentes lineales paralelas y separadas una distancia conocida, de esta forma se puede evaluar la resolución y el tamaño del píxel a la vez.

Procedimiento

- Ubicar la fuente lineal sobre el detector, orientado en dirección paralela a uno de los ejes del mismo.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de 20 %.
- Adquirir y almacenar una imagen en una matriz 256×256 , acumular un número de conteos que garantice en el píxel del centro de la fuente no menos de 10000 cuentas, para garantizar un error menor del 1 %.
- Repetir el paso 3 rotando el maniquí 90 grados (si es de fuentes lineales).
- Alejar la fuente a 10 cm de la superficie del cristal y repetir del paso 2 al 4.
- Retirar la fuente y colocar el colimador.

Análisis de los datos

Si se tiene una sola fuente: se obtiene un perfil (o impreso) del Número de Cuentas vs. Píxel, de un corte (≤ 3 píxeles) perpendicular a la fuente. Al graficar los datos en una escala lineal, se observa una gaussiana (de no observarse verificar que el píxel central no este saturado). Trazar en cada pico una línea horizontal por el valor máximo, medir el ancho a la mitad de la altura en píxeles (A) y si se conoce el tamaño del píxel para esa matriz (TP), la resolución se evaluará como:

$$\text{FWHM} = A * TP$$

Si se tienen dos fuentes, se obtiene un perfil del Número de Cuentas vs. Píxel, de un corte (≤ 3 píxeles) perpendicular a las fuentes. Al graficar los datos en una escala lineal, se observan dos gaussianas (de no observarse verificar que el píxel central no este saturado). Trazar en cada pico una línea horizontal por el valor máximo de cada una y buscar la separación en píxeles de ambos picos (S), calcular el ancho a la mitad de la altura en píxeles como el promedio de

Ambos picos (A) y calcular el ancho a la mitad de la altura en mm (FWHM) como:

$$\text{FWHM} = A * E / S$$

Donde E es la distancia exacta entre ambas fuentes.

Límites de aceptación

Durante la aceptación, el FWHM no debe ser mayor en 10 % al peor valor reportado por el fabricante para cada colimador. Si eso sucediera, el colimador debe ser reemplazado. Si durante los chequeos de rutina, se supera 20 % del valor establecido como nivel de referencia, se recomienda interrumpir los estudios y contactar el servicio de reparación y mantenimiento.

Prueba de la tasa máxima de conteo

Objetivo

Determinar la respuesta de la cámara a un flujo creciente de radiación incidente. Esta es una prueba de aceptación y referencia, que debe chequearse trimestralmente.

Materiales

Fuente radiactiva puntual de Tc-99m con una actividad aproximada a 4-7 MBq (100-200 µCi), en un contenedor adecuado; máscara de plomo; soporte móvil para la fuente radiactiva.

Procedimiento

- Retirar el colimador de la cabeza detectora y colocarla en posición horizontal. Colocar la máscara de plomo.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de 20 %.
- Colocar la fuente en el soporte móvil. Mover el soporte hasta que la fuente quede en el eje central de detector. Evitar que la fuente esté cercana a objetos que puedan provocar dispersión.
- Registrar la tasa de cuentas a medida que se acerca la fuente a la superficie del detector, esta tasa aumentará progresivamente hasta un máximo para comenzar a decrecer. Anotar el valor máximo de tasa de conteo.
- Retirar la fuente radiactiva, la máscara de plomo y restablecer el colimador.

Análisis de los datos

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 peor valor reportado por el fabricante. Si durante los chequeos de rutina, se

obtiene el 20 % de diferencia con el valor establecido como nivel de referencia, se recomienda iniciar acciones correctivas.

Sensibilidad intrínseca

Definición

La sensibilidad intrínseca es la capacidad que tiene el cabezal detector de registrar un evento real. Esta se puede ver afectada por las tasas elevadas de conteo, el desajuste de la ganancia de los fototubos, el fallo parcial o total de uno o varios TFM, la falta de linealidad espacial, defecto o deterioro del cristal, separación física del acople cristal / guía de luz / FMT, ajuste incorrecto de la ventana energética y su centro, problemas con la fuente de alto voltaje, etc.

Objetivo

Evaluar la sensibilidad intrínseca a través de la eficiencia de conteos del cabezal detector, medida como la respuesta de la cámara a una fuente de actividad conocida. Es una prueba de aceptación y referencia que debe realizarse mensualmente, a menos que se realice medición de la sensibilidad plana del sistema con igual frecuencia. Requiere un calibrador de dosis que permite evaluar la actividad de la muestra con un error < 5 %.

La estimación de la eficiencia tendrá como mínimo la incertidumbre de la actividad medida, de manera que se deben tratar de reproducir lo mejor posible las condiciones de medición, para disminuir al máximo incertidumbres o errores de otro tipo.

Materiales

Fuente radiactiva puntual de Tc-99m con una actividad entre 4-7 MBq (100-200 μ Ci), la actividad de la fuente debe ser determinada con la mayor precisión en un calibrador de dosis; soporte para ubicar la fuente radiactiva a 2.5 veces el tamaño del UFOV.

Procedimiento

- Retirar el colimador y ubicar adecuadamente el detector, tal que la línea perpendicular a su centro pase por el soporte o montaje de la fuente radiactiva.
- Situar la fuente radiactiva en el soporte o montaje.
- Colocar la máscara de plomo centrada en la superficie del detector (en las cámaras gamma que lo requieran).
- Ubicar la ventana energética en el centro fotópico, con un ancho de 20 %.
- Registrar la tasa de conteos el tiempo suficiente para garantizar la precisión de la medida.
- Retirar la fuente radiactiva
- Realizar una medida del fondo.
- Retirar la máscara de plomo y restablecer el colimador.

Análisis de los datos

Corregir el fondo en la tasa de conteos de todo el campo útil del detector. Calcular la eficiencia absoluta (ξ) como:

$$\xi = T_c / A_o$$

Donde A_o es la actividad de la fuente puntual, estimada con menos del 5 % de incertidumbre y T_c es la tasa de conteos obtenida.

Límites de aceptación

Durante el test de aceptación la sensibilidad intrínseca no debe ser menor que el 90% del valor reportado por el fabricante.

Si se garantiza que la exactitud de la medida del activímetro tiene una incertidumbre menor del 5 %, durante los chequeos periódicos no deben aceptarse valores menores del 80 % de la sensibilidad de referencia; sin iniciar alguna acción correctiva.

Resolución energética

Definición

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.

Algunos equipos no permiten cuantificar la resolución energética matemáticamente, pero si visualizar el espectro completo del radionúclido; en estos casos la observación detallada de dicho espectro es de vital importancia en los chequeos diarios para detectar cualquier anomalía como el *comptom* muy levantado, el fotópico muy ancho o la indefinición entre el borde *comptom* y el fotópico.

Objetivo

Evaluar la resolución energética en función del ancho a la mitad de la altura del fotópico (FWHM). Es una prueba de aceptación y referencia, que debe realizarse al menos semestralmente.

Materiales

Máscara (o anillo) de plomo; dos fuentes radiactivas puntuales consistente en una solución de ^{99m}Tc y otro radionúclido (preferentemente Co-57), cargadas en el menor volumen posible, con una actividad que proporcione una tasa de cuentas no superior a 10 Kcps con una ventana del 20 %; soporte o montaje que permita colocar la fuente radiactiva en la línea perpendicular al centro del detector y separada a una distancia mínima de 5 veces el diámetro del campo útil de visión (UFOV).

Procedimiento

- Retirar el colimador y ubicar adecuadamente el detector, tal que la línea perpendicular a su centro pase por el soporte o montaje de la fuente radiactiva.

- Situar la fuente radiactiva de Tc-99m en el soporte o montaje.
- Colocar la máscara de plomo centrada en la superficie del detector (en las cámaras gamma que lo requieran).
- Adquirir un espectro del radionúclido por lo menos con 30 Kc en el canal central de fotópico. Anotar el tiempo de ser necesario.
- Retirar la fuente de Tc-99m y colocar la del otro radionúclido.
- Sin alterar ninguno de los parámetros anteriores, adquirir el espectro (del otro radionúclido), determinar el canal central de fotópico.
- Retirar la fuente y colocar el colimador.

Análisis de los datos

Ajustar por el método de mínimos cuadrados el fotópico a una gaussiana; de no ser posible, por interpolación directa, calcular el ancho a la mitad de la altura en canales (FWHM_c) del pico del Tc-99m. Obtener la resolución energética relativa del radionúclido como:

$$\text{FWHM} = 100 * (\text{FWHM}_c * \Delta E / N_c)$$

Donde: FWHM_c es el número de canales en el ancho a la mitad de la altura del fotópico para el Tc-99m y ΔE es la diferencia entre las energías de ambos radionúclidos y N_c es el número de canales que separa ambos fotópicos.

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

Linealidad espacial

Definición

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.

La mayoría de los fabricantes poseen sus fantomas de barras o agujeros ortogonales para corregir la linealidad, sin embargo no todos permiten evaluarla matemáticamente, por eso en la mayoría de nuestras cámaras sólo es posible realizar un control visual de la linealidad mientras se chequea la resolución espacial.

En los casos en que es posible evaluar la linealidad espacial matemáticamente, esta prueba debe efectuarse siguiendo las instrucciones del fabricante, como test de aceptación y referencia, chequeándose periódicamente con una frecuencia semestral. Estos procedimientos y fantomas son específicos de cada fabricante que evalúan parámetros variados como la linealidad diferencial, la

linealidad absoluta, algunos índices de distorsión, etc.; por eso este manual no incluye ningún procedimiento estandarizado para evaluar la linealidad espacial.

Por otro lado, 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. La misma se verá afectada por los mismos factores que afectan la uniformidad.

Niveles de aceptación

En general se establece que los parámetros calculados como indicadores de linealidad espacial (o distorsión) no debe superar 10 % de los valores establecidos por el fabricante durante la aceptación del equipo; sin embargo si durante como prueba de referencia se supera en 20 % el valor establecido como referencia, se recomienda iniciar alguna acción correctiva.

Tamaño del píxel

Objetivo

Determinar el tamaño del píxel en la matriz utilizada para cada colimador de agujeros paralelos. Es una prueba de referencia, y debe ser realizada para cada matriz que se usa en la práctica clínica, al menos anualmente.

Materiales

Dos fuentes lineales separadas a una distancia conocida (con actividad ~37 MBq/mL de Tc-99m), o cuatro fuentes puntuales colocadas en las puntas de un cuadrado de lado conocido (~7 MBq de Tc-99m), fijas en un soporte rígido.

Procedimiento

- Ubicar el cabezal hacia arriba. Colocar las fuentes encima del colimador orientado en dirección paralela a uno de los ejes del mismo.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de 20 %.
- Adquirir y almacenar una imagen en una matriz con el mayor formato que brinda el sistema, acumular al menos 2 Mc.
- Repetir el paso 3 rotando el maniquí 90°. Si se utilizan fuentes puntuales no es necesario rotar el fantoma.
- Retirar las fuentes.

Análisis de los datos

Se obtiene un impreso del Número de Cuentas vs. Píxel, de un corte (≤ 3 píxeles) perpendicular a las fuentes (o que pase por el centro de ambas fuentes puntuales en cada eje), al graficar los datos en una escala lineal, se observan dos *gaussianas*. Trazar en cada pico una línea horizontal por el valor máximo y contar el número de píxeles que separan los centros de las *gaussianas* (N_p). Calcular el tamaño del píxel para esa posición, en el eje elegido, para la matriz seleccionada como:

$$TP_i = S / N_{p_i}$$

*Repetir en varias posiciones para el mismo eje y calcular el valor promedio (si se emplean las fuentes puntuales, evaluar en las dos posiciones posibles).
Repetir para el otro eje.*

Límites de aceptación

La diferencia entre los tamaños del píxel en ambos ejes no debe ser superior a 5 %, entre valores nominales y medidos.

Prueba de funcionamiento total

Objetivo

Verificar el funcionamiento total de todos los componentes de la cámara gamma, bajo condiciones que simulan la práctica clínica. Evalúa la capacidad de detección de algunas lesiones simuladas bajo condiciones variadas. Es una prueba de aceptación y referencia, que debe llevarse a cabo al menos semestralmente.

Materiales

Fantoma de funcionamiento total, puede ser un simulador hepático (74MBq de Tc-99m), cerebral (50MBq de Tc-99m) o cualquier otro fantoma con este propósito, medir la actividad antes y después de verterla en el fantoma. Pueden emplearse también algunos fantomas de transmisión (no rellenables) con fuentes planas de inundación del campo.

Procedimiento

- Ubicar el cabezal hacia arriba. Colocar el fantoma encima del colimador orientado en dirección paralela a uno de los ejes del mismo, de manera que sea reproducible en el futuro.
- Centrar la ventana energética en el fotópico del espectro, con un ancho de 20 %.
- Adquirir la imagen de acuerdo al proceder clínico que se desea simular.
- Retirar el fantoma.

Análisis de los datos y límites de aceptación

Comparar visualmente las imágenes con las de referencia, si es que se poseen, prestando atención especial a la detectabilidad de las lesiones simuladas más pequeñas o de menor contraste. Si se observa cualquier situación anormal en el aspecto del fantoma como: pérdida del contraste de la imagen en alguna zona, alguna anomalía del fondo, pérdida en la resolución de los bordes o en la visibilidad de alguna lesión; se recomienda investigar a fondo la causa antes de proseguir con los estudios clínicos y tomar las acciones correctivas de ser necesario.

Controles de rutina

Objetivo

Verificar que el sistema esté operable.

Inspección física

Procedimiento

Chequear que el montaje del colimador es adecuado, que no existen daños mecánicos, que los movimientos del detector son fluidos, que los sistemas de seguridad funciona sin problemas, etc.

Análisis de los datos y límites de aceptación

Cualquier situación anormal que se presente invalida el uso de la cámara, hasta que se lleve a cabo la acción correctiva requerida.

Prueba del fondo

Objetivo

Verificar la tasa de conteo de fondo en condiciones clínicas y con un radionúclido particular.

Procedimiento

- Colocar el cabezal detector hacia abajo.
- Realizar la calibración energética para el radionúclido determinado.
- Adquirir una imagen durante 100 seg sin fuente radiactiva alrededor. Anotar la tasa de conteos.

Análisis de los datos y límites de aceptación

Un aumento importante de la tasa del fondo habitual puede indicar la presencia de fuentes de radiación alrededor, la existencia de alguna contaminación radiactiva, un aumento de radiación ambiental, un incremento del ruido electrónico, etc. Un aumento mantenido de la tasa de conteo de fondo apunta a fallas electrónicas. Un aumento del 20 % en la tasa de conteos del fondo, respecto al nivel de referencia requiere investigación cuidadosa.

Chequeo de la uniformidad del campo inundado

- Si el servicio posee fuente plana de Co57, realizar la prueba de uniformidad del sistema para el colimador más usado en la práctica clínica (en general baja energía-todo propósito) siguiendo el protocolo explicado anteriormente en el acápite 2.2, pero adquiriendo solamente 5Mc con el circuito de corrección de la uniformidad activado.
- Si el servicio no posee fuente plana de Co57, entonces se procederá a realizar un chequeo de uniformidad intrínseca, de acuerdo al protocolo detallado previamente en el 2.1, pero colectando sólo 5 Mc en la imagen.

Límites de aceptación

No deben notarse cambios significativos en la uniformidad del sistema, si esto sucediese se necesita un estudio minucioso antes de continuar con la operación del sistema.

Procedimiento para el control de calidad de parámetros tomográficos de las cámaras gamma

Estructura asistencial

- Humana

- ⊕ Técnico en radiofísica
- ⊕ Físico médico

Uniformidad tomográfica

Definición

Es una prueba importante para medida del funcionamiento de un sistema SPECT 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. Esta prueba se considera de aceptación y referencia y debe ser realizada al menos semestralmente.

Objetivo

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

Materiales

Simulador, maniquí o fantoma cilíndrico rellenable con Tc99m y agua. Una jeringa para agregar la actividad de Tc99m ($A = 10 \text{ mCi}$ (370 MBq)) al simulador. Cinta adhesiva para fijar el fantoma a la camilla del SPECT.

Procedimiento

- Rellene el simulador con agua, destilada preferiblemente, para evitar la corrosión de sus paredes interiores debido a su uso reiterado y permita la visualización del interior del mismo con el tiempo y posteriormente agregue la actividad contenida en la jeringuilla. El fantoma debe ser relleno con un tiempo de antelación suficiente para que se homogenice el radionúclido en su interior. De ser posible se empleará agua ligeramente caliente, para agilizar este proceso.
- Coloque la camilla del SPECT en la posición correcta para realizar un SPECT convencional.
- Nivele el detector: alineándolo con respecto al eje X e Y (utilizando el nivel de burbuja). Colocar el centro del simulador a una distancia menor de 2 cm del eje de rotación, asegurando que el eje central de fantoma se encuentra paralelo al eje de rotación.
- Fije el simulador a la camilla del SPECT.
- Realice una adquisición tomográfica empleando los siguientes parámetros:
 - ⊕ Matriz: 64x64
 - ⊕ Orbita circular: 360°
 - ⊕ Número de proyecciones: 64
 - ⊕ Número total de cuentas: 500k conteos/proyección
 - ⊕ Sentido de rotación: a favor de las manecillas del reloj (CW) o en contra de las manecillas del reloj (CCW). Emplear la más común utilizada en la práctica clínica.

- ⊞ Radio de rotación: la distancia más pequeña posible entre el detector y el fantoma que sea posible hacer la adquisición tomográfica.

Reconstruya el volumen empleando el método de retroproyección filtrada con el filtro rampa. De no ser posible evitar el uso de filtro de altas frecuencias, emplear el mas suave que brinde su sistema.

De ser posible corregir por atenuación y dispersión (el valor típico del coeficiente de atenuación para ^{99m}Tc es de 0.12 cm^{-1} cuando no existe corrección por dispersión).

Análisis de los resultados

Evalúe cualitativamente las imágenes obtenidas en los diferentes cortes transaxiales en busca de anillos concéntricos de cualquier espesor. Anillos concéntricos gruesos muy espaciados indican en general variaciones en la uniformidad. Anillos delgados muy cercanos indican errores en la interfase cámara-computadora. La uniformidad tomográfica se puede evaluar matemáticamente de dos formas: evaluando el contraste tomográfico de los artefactos de cada corte o a través de la uniformidad integral.

- **Método del contraste tomográfico**

- ⊞ Coloque un perfil de 5 píxeles de ancho en el centro de la imagen.
- ⊞ Identifique el valor mínimo o máximo de conteo en el artefacto o anillo ($C_{\text{min/max}}$) Identifique los dos valores a lo largo del perfil de la parte uniforme de la imagen en las cercanías de los bordes del artefacto. Identifíquelos como C_1 y C_2 .
- ⊞ Calcule los valores C_1 y C_2 en la parte uniforme de la imagen (fondo) y determine el promedio para entre estos valores:

$$C_{\text{prom}} = (C_1 + C_2) / 2$$

- ⊞ Realice la determinación del contraste:

$$C_{\text{tom}} = (C_{\text{min/max}} - C_{\text{prom}}) / (C_{\text{prom}} + C_{\text{min/max}}) * 100$$

(*) Repita los pasos de análisis de los datos para cada uno de los cortes obtenidos determinando el valor absoluto máximo del contraste tomográfico.

- **Método de Uniformidad Integral**

- ⊞ Se toma una región de interés del $15*15$ píxeles sobre un corte de un píxel de espesor (en caso de existir un artefacto circular se empleara el corte donde mejor se visualice) y se determinan los valores de cuentas máximo (C_{max}) y mínimo (C_{min}).

Se calcula la uniformidad tomográfica integral como:

$$UI_{\text{tom}} = (C_{\text{max}} - C_{\text{min}}) / (C_{\text{min}} + C_{\text{max}}) * 100$$

Límites de aceptación

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

Centro de rotación

Definición

El centro de rotación (COR) es el punto físico alrededor del cual gira el sistema detector-colimador. Es una de las pruebas más importantes del SPECT, pues si la cámara gamma no mantiene la ortogonalidad de los ejes durante la adquisición, existirá una pérdida de resolución durante la reconstrucción que será mayor a medida que se aleje del centro e impedirá un diagnóstico seguro y fiable. Es un test de aceptación y referencia que debe ser chequeado al menos semanalmente para los colimadores de uso clínico.

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.

Materiales

- Una fuente radiactiva puntual de Tc99m suspendida en el aire (ver Fig. 4.3). Actividad aproximada 1 mCi (MBq), volumen menor que 0,3 mL.
- Una jeringa de 1 mL (insulina o tuberculina) para la fuente puntual.
- Una regla para suspender la jeringa sobre la camilla del SPECT.
- Un nivel de burbuja para comprobar que el detector este alineado con respecto a los ejes X e Y.
- Cinta adhesiva para fijar la jeringa a la regla y esta a la camilla.

Procedimiento

- Nivele el detector, alineándolo con respecto al eje X e Y utilizando el nivel de burbuja.
- Coloque la camilla del SPECT en la posición correcta para realizar un SPECT convencional.
- Fije la jeringa que contiene la fuente puntual de Tc99m a la regla y fije la regla a la camilla del detector. Asegúrese que la fuente o jeringa quede colocada con respecto al centro de rotación y con respecto al centro del campo visual del detector a una distancia nunca mayor de 2 cm (observar figura 4.3).
- Realice una adquisición tomográfica estándar empleando los siguientes parámetros:
 - ⊕ Matriz: emplear la resolución digital mas fina que le permite su sistema para estudios tomográficos.
 - ⊕ Orbita circular: 360°

- ⊞ Número de proyecciones: 32 (emplear 64 proyecciones en caso de que su sistema no le permita usar el valor sugerido)
- ⊞ Número total de cuentas: 10k conteos/proyección
- ⊞ Sentido de rotación: a favor de las manecillas del reloj (CW) o en contra de las manecillas del reloj (CCW). Utilice la más común da en la práctica clínica.
- ⊞ Radio de rotación: la distancia más pequeña posible entre del detector y la fuente (jeringa), aconsejable 15 cm.

Notas

- ⊞ *Puede realizar dos adquisiciones variando la posición de la fuente con respecto al centro del campo visual de detector, coloque la fuente hacia los extremos del campo visual del detector; por ejemplo una 5 cm del borde del detector en el sentido de las Y positiva y otra en el sentido de las Y negativa igual a 5 cm del borde.*
- ⊞ *Puede realizar la adquisición a radio de rotación diferente; por ejemplo 10 cm, 15 cm y 25 cm y al radio de rotación más práctico, es decir, más utilizado en la rutina clínica.*
- ⊞ *Puede realizar una adquisición en el sentido contrario de rotación utilizado en el estudio, así como para cada una de las condiciones propuesta en las notas 1 y 2.*

Análisis de los resultados

Casi todos los sistemas SPECT poseen sus programas para chequear el COR, pero desafortunadamente no todos realizan la cuantificación matemática que permiten establecer valores únicos de tolerancia. Existen algunos fabricantes que, incluso, emplean fuentes lineales, evitando realizar los ejercicios recomendados en las notas.

Para evaluar cualitativamente el estado del COR, primeramente se observan las imágenes de todas las proyecciones adquiridas en modo cine, para identificar si existen corrimientos abruptos del COR en alguna de las proyecciones. Posteriormente se observa el corte tomográfico donde está la fuente completamente definida, si la fuente estaba ubicada fuera del centro de rotación se observará un anillo, si por el contrario está perfectamente ubicada se observará un punto caliente central.

Básicamente existen dos métodos muy extendidos para evaluar cuantitativamente el COR: el de las fuentes colineales y el del sinograma.

- **Método de las fuentes colineales**

Se analizan las coordenadas de la fuente en las vistas opuestas XC (p) y XC (p+180°), calculando el desvío del COR para todos los pares de vistas (p) como:

$$D_{cor} = [XC(p) + XC(p+180^\circ)] / 2$$

- **Método de la senoide**

Se grafica la posición del píxel donde se centra la fuente en función del ángulo de rotación de la vista. La curva debe ser una senoide perfecta, con amplitud equivalente a la distancia de la fuente al centro de rotación, de manera que los desvíos de la senoide constituyen corrimientos en el COR del sistema (Dcor).

Límites de tolerancia

Los límites de aceptación están sujetos en gran medida a cada fabricante, pues dependen de la medida que el equipo corrija los errores del COR. Los sistemas SPECT modernos son capaces de corregir para cada una de las posiciones del cabezal, mientras que los sistemas mas atrasados solo corrigen las posiciones (0°,90°, 180° y 270°) y los valores intermedios son una ponderación entre los ángulos cercanos.

El valor promedio del corrimiento del centro de rotación debe ser menor que 2 mm, de lo contrario debe ser corregido.

El corrimiento del COR 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 píxel

Definición

El tamaño absoluto del píxel define el tamaño promedio de un píxel para cada matriz y zoom empleado en ambos ejes. Su conocimiento preciso permite realizar mediciones de tamaños y distancias (en el SI), 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. Es un test de aceptación y referencia, que se debe repetir semestralmente.

Objetivos

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

Materiales

Dos fuentes puntuales de ^{99m}Tc con actividad no mayor de 100 μCi

Procedimiento

- Colocar la fuentes radiactivas en la superficie del detector aproximadamente a 5 cm del borde del campo útil de mismo, en dirección al eje X, determinar la distancia entre ambas con un error >1 mm.
- Realizar una adquisición estática con una matriz 256*256, sin zoom, acumular 50 Kc.
- Ubicar las fuentes en Y, con idénticas condiciones a las explicadas en 1. Obtener la imagen de las fuentes en Y.

- Repetir el proceso para todas las condiciones tomográficas y de zoom usadas en la práctica.

Análisis de los datos

Cada fuente tendrá un centro de gravedad X e Y (COGX e COGY) que será calculado como:

$$\text{COGX} = \frac{\sum_{i=i_1}^{i_2} \sum_{j=j_1}^{j_2} i \text{ MATRIX}(i,j)}{\sum_{i=i_1}^{i_2} \sum_{j=j_1}^{j_2} \text{MATRIX}(i,j)}$$

$$\text{COGY} = \frac{\sum_{j=j_1}^{j_2} \sum_{i=i_1}^{i_2} j \text{ MATRIX}(i,j)}{\sum_{j=j_1}^{j_2} \sum_{i=i_1}^{i_2} \text{MATRIX}(i,j)}$$

Donde i, j son la coordenadas que limitan el perfil de la fuente puntiforme en X e Y respectivamente.

Se deben obtener cuatro centros de gravedad:

(x1, y1) y (x2, y2) para las fuentes del eje X

(x3, y3) y (x4, y4) para las fuentes del eje Y

Calcular la distancia en píxel que separan las fuentes en X e Y empleando la siguiente fórmula:

$$X = \{(X1-X2)^2 + (Y1-Y2)^2\}^{1/2}$$

$$Y = \{(X3-X4)^2 + (Y3-Y4)^2\}^{1/2}$$

Calcular el tamaño del píxel dividiendo las distancias (mm) que separan la fuentes en X e Y, entre la distancias calculadas en píxel para cada eje.

Si el tamaño del píxel fue evaluado en una matriz 256*256, se puede calcular el tamaño del píxel para una matriz 128*128 multiplicando por 2, y 64*64 multiplicando por 4.

Límites de aceptación

La diferencia del tamaño del píxel en las direcciones X e Y no debe sobrepasar 5 %

Resolución tomográfica en aire

Definición

La resolución tomográfica se define sobre el corte transversal de una fuente puntual o lineal, calculando el FWHM del perfil de cuentas 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 COR; también por defectos en la interfase cámara-computador, en el algoritmo de reconstrucción o por la selección inadecuada de filtro, etc.

Objetivos

Medir la resolución tomográfica del sistema en aire y asegurar que el proceso de reconstrucción no la degrada. Verificar si el COR está correctamente ajustado y si el *gantry* no tiene vibraciones. Es una prueba de aceptación y referencia, que debe ser repetida semestralmente.

Materiales

Una fuente radiactiva puntual de Tc99m suspendida en el aire. Actividad aproximada 1 mCi (37 MBq), (se podrán emplear fuentes puntuales comerciales de 57Co o se pueden preparar fuentes puntuales de 99mTc con esferas de resina de radio menor a 2 mm). Una regla para suspender la jeringa sobre la camilla del SPECT. Un nivel de burbuja para comprobar que el detector este alineado con respecto a los ejes X e Y. Cinta adhesiva para fijar la jeringa a la regla y esta a la camilla.

Procedimiento

- Nivele el detector, alineándolo con respecto al eje X e Y utilizando el nivel de burbuja.
- Coloque la camilla del SPECT en la posición correcta para realizar un SPECT convencional.
- Fije la fuente puntual a la regla y esta a su vez a la camilla del detector. Asegúrese que la fuente o jeringa quede colocada con respecto al centro de rotación y con respecto al centro del campo visual del detector a una distancia nunca mayor de 2 cm.
- Realice una adquisición tomográfica estándar:
 - ⊞ Matriz: emplear la resolución digital mas fina que le permite su sistema para estudios tomográficos.
 - ⊞ Orbita circular: 360°
 - ⊞ Número de proyecciones: 64
 - ⊞ Número total de cuentas: 10k conteos/proyección
 - ⊞ Radio de rotación: la distancia más pequeña posible entre del detector y la fuente puntual, aconsejable 15 cm.
- Adquirir imagen estática de la fuente puntual empleando el mismo formato de matriz e igual número de cuentas que el que se estima que se obtendrá en la fuente en el estudio tomográfico.
- Puede realizar dos adquisiciones variando la posición de la fuente con respecto al centro del campo visual de detector, coloque la fuente hacia los extremos del campo visual del detector es decir por ejemplo una 5 cm del borde del detector en el sentido de las y positiva y otra en el sentido de las Y negativa igual a 5 cm del borde.

Análisis de los resultados

Reconstruir las imágenes empleando un filtro rampa. En el corte transversal donde mejor se visualice la fuente dibuje dos perfiles en **X** e **y**, estime la FWHM para ambas direcciones (ver resolución espacial en el epígrafe 2.6).

Calcular la resolución planar en x y y a partir de la imagen estática, acorde a lo descrito en el epígrafe 2.6.

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. 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 SPECT deben realizarla para los 360° de rotación. Es una prueba que debe llevarse a cabo después de chequear que no hay fuentes de radiación alrededor, incluso descontar que exista alguna contaminación radiactiva, para garantizar el éxito de la misma.

Materiales

Fuente radiactiva plana uniforme de Co-57, con una actividad entre 2 y 10 mCi; puede emplearse también una fuente plana rellenable, pero debe garantizarse 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 agarrar la fuente al cabezal fijamente y sin peligro de caer.

Procedimientos

- Colocar el detector con la superficie del colimador seleccionado hacia arriba y ubicar sobre el mismo la fuente radiactiva uniforme. Atarla firmemente, para que no se corra cuando el detector rote, colocar el detector hacia abajo a 0°.
- Centrar la ventana energética en el foto pico del espectro, con un ancho de 20 %.
- Acumular y almacenar una matriz de 2 Mc en un formato de 64x64.
- Repetir el paso 3 ubicando el detector alrededor de los 360° (en las posiciones 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)
- Retirar la fuente radiactiva.

Análisis de los datos

Se calcula la uniformidad integral y diferencial en el CFOV y UFOV para cada uno de los ángulos predefinidos. Se obtienen los valores medios y la desviación del valor medio de conteos por píxel en cada proyección.

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 SPECT

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

Materiales

Simulador o fantoma cilíndrico rellenable con Tc99m y agua. Por ejemplo: Fantoma de Jaszczack, de Carlson, etc. Una jeringa para agregar la actividad de Tc99m ($A = 10 \text{ mCi}$ (370 MBq)) al maniquí. Cinta adhesiva para fijar el mismo a la camilla del SPECT.

Procedimiento

- Preparar y colocar el fantoma según las indicaciones dadas en la prueba de uniformidad tomográfica.
- Realice una adquisición tomográfica estándar, según las condiciones en las que se desea evaluar el funcionamiento del sistema (en general las condiciones recomendadas por el fabricante).
- Reconstruir los cortes transaxiales utilizando el filtro rampa, las correcciones de uniformidad y la corrección de atenuación.

Análisis de los resultados

Elegir un corte transversal en la región uniforme del fantoma, dibujar un perfil a través de su diámetro, medir la relación de cuentas entre el centro y el borde del mismo (RC). Obtener un estimado del coeficiente de atenuación lineal (μ) empleando la siguiente expresión:

$$\mu = \ln(\text{RC}) / \text{radio}(\text{cm}^{-1})$$

Este valor de μ será empleado para la corrección de atenuación

Evalúe cualitativamente las imágenes obtenidas en los diferentes cortes transaxiales en busca de anillos concéntricos de cualquier espesor.

Calcular la uniformidad tomográfica en la primera sección del fantoma (protocolo descrito anteriormente en el epígrafe 4.1).

Medir el contraste tomográfico de la lesiones frías o calientes pequeñas, que presenta el fantoma y comparar con resultados de referencia. Señalar además el número de lesiones visibles y su diámetro.

Observar detenidamente la región de linealidad si el fantoma la posee, en busca de regiones de distorsión espacial u otros tipos de artefactos.

Límites de aceptación

El empleo de fantoma de funcionamiento total es una prueba muy útil para el sistema tomográfico, pues permite evaluar integralmente un conjunto de parámetros funcionales.

Su realización permite detectar anomalías en la uniformidad debido a la presencia de artefactos circulares, del ajuste del COR o de resolución espacial por la pérdida de lesiones previamente visualizadas, deficiencias del coeficiente de atenuación empleado para la corrección a través de una variación mayor de 10 % en el perfil de uniformidad, etc.

Por eso cualquier degradación significativa de cualquiera de estos parámetros funcionales entre las pruebas de referencia y las de rutina, necesita investigación detallada.

Bibliografía

1. Control de la calidad de los instrumentos de medicina nuclear, 1991. IAEA-TECDOC-602/S.
2. Hines H, Kayayan R, Colsher J, Hashimoto D, Schubert R, Fernando J, Simcic V, Vernon P, Sinclair RL. National Electrical Manufacturers Association recommendations for implementing SPECT instrumentation quality control. J Nucl Med. 2000 Feb; 41(2):383-9.
3. Normas Nacionales para el control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear. 1989. Sección de Medicina Nuclear. Grupo Nacional de Oncología, MINSAP.
4. A López, L.A. Torres, MA Coca, G López, eds. Protocolo Nacional para el Control de Calidad de Instrumentos de Medicina Nuclear. CIEN; 2005 (en prensa).
5. Decreto No. 142 Reglamento para el trabajo con las sustancias radiactivas y otras fuentes de radiaciones ionizantes. Gaceta Oficial de la República (1988)
6. Centro Nacional De Seguridad Nuclear, Reglamento de Seguridad para la Autorización de Prácticas asociadas al Empleo de Radiaciones Ionizantes, RS.01, La Habana, Cuba (1995)
7. International Commission On Radiological Protection: Summary of the Current ICRP Principles for Protection of the Patient in Nuclear Medicine. Pergamon Press 1993.
8. Caride.V Manual de procedimiento de Medicina Nuclear ``2ºEd. Editorial Salvat. 1990
9. The United States Pharmacopeias .The National Formulary. U.E. Pharmacopeia Convention. INC.1990.

10. Maisey, M.N.; Britton, K.E. and Collier, B.D. "Clinical Nuclear Medicine". Ed. Chapman&Hall Medical, Third edition, 1998.
11. Mariana Levi de Cabrejas et al. "Tomografía en Medicina Nuclear". Comité de Instrumentación y Garantía de Calidad del ALASBIMN", 1999. ISMN: 987-43-1317-X
12. E. Prats, F. Aisa, M.D. Abós et al. "Mammopgraphy and Tc-99m MIBI Scintimammography in suspected breast cancer". J Nucl Med 40:2 (297-301), 1999.
13. M. Rodríguez, F. Chehne, W. Kalinowska et al. "Uptake of Tc-99m MIBI into malignant versus nonmalignant breast cell lines". J Nucl Med 41:9 (1495-99), 2000.
14. Gulec S.A. et al. "Sentinel Lymph Node localization in early breast cancer". J Nucl Med 1998; 39(8):1388-1393.
15. Alex JC et al. "Gamma-probe guided localization of lymph nodes". Surg Oncol 1993; (2):137-143.
16. Alex JC et al. "Gamma-probe-guided lymph node localization in malignant melanoma". Surg Oncol 1993 ; (2):303:308.