

Respuesta de dos sondas intraoperatorias comerciales frente a diferentes condiciones de medida: análisis comparativo

Two commercial intraoperative gamma probes response to different measurement conditions: comparative analysis

C Camacho López^{1*}, JF Martí Vidal¹, M Falgás Lacueva², C Olivas Arroyo³

¹ Sección de Radiofísica. Servicio de Medicina Nuclear. Hospital Universitario La Fe. Valencia.

² Servicio de Medicina Nuclear. Hospital Universitario La Fe. Valencia.

³ Unidad de Radiofarmacia. Servicio de Medicina Nuclear. Hospital Universitario La Fe. Valencia.

Fecha de Recepción: 02/12/2010 - Fecha de Aceptación: 03/03/2011

El uso de la sonda intraoperatoria para localización del ganglio centinela está muy extendido. En este trabajo se analizan varios parámetros que determinan la respuesta ante diversas condiciones de medida de dos sondas, tales como direccionalidad, sensibilidad y efectos por tiempo muerto. Los resultados muestran que la sensibilidad depende fuertemente de la distancia fuente-sonda, y del tipo de sonda empleada. También se obtiene una adecuada discriminación angular y espacial, y no se aprecian efectos por tiempo muerto a los niveles de actividad empleados clínicamente. Las pruebas presentadas son sencillas y fácilmente reproducibles como controles de calidad periódicos.

Palabras clave: Sonda intraoperatoria, sensibilidad, direccionalidad, tiempo muerto, control de calidad.

Intraoperative gamma radiation probes are increasingly used for localization of sentinel lymph node. Some technical parameters, such as directionality, sensitivity and dead-time effects, which determine the performance to various measurement conditions of two probes, are analyzed in this paper. The sensitivity strongly depends on the source-probe distance, and the type of probe used. It is also shown a suitable angular and spatial resolution, and not noticeable dead time effects are expected on clinical activity levels. The presented tests are simple and reproducible in establishing regular quality controls.

Key words: Intraoperative probe, sensitivity, directionality, dead time, quality control.

Introducción

Como ganglio centinela (GC) entendemos el primer ganglio o grupo de ganglios de una cadena en recibir el drenaje linfático proveniente de un tumor primario. Por tanto, será el primer ganglio que se verá afectado en caso de metástasis, y su estado predice el de los demás. Una de las técnicas más extendidas para localizar el ganglio centinela es la de inyectar una cierta cantidad de radiofármaco (sustancias coloides marcadas con ^{99m}Tc) cerca de la localización del tumor primario. Este radiofármaco es transportado por el sistema linfático hasta llegar al primer ganglio de drenaje, donde se acumula la mayor parte^{1,2}, simulando el trayecto que seguiría una célula metastásica. Pasado un cierto tiempo tras la inyección, se obtienen imágenes

gammagráficas de su distribución, como primer paso para la localización del ganglio. Tras ello, el paciente pasa a quirófano, donde se localiza y extirpa el ganglio o ganglios centinela, que serán sometidos a un estudio histológico exhaustivo para conocer el grado de extensión de la enfermedad. La biopsia del GC es el estándar de manejo en los pacientes con neoplasia mamaria, melanoma y carcinoma de vulva y cérvix en estadios iniciales.

El uso de la sonda intraoperatoria se ha popularizado mucho en los últimos años debido a la introducción de la técnica del GC¹. Su misión, mediante la detección de la radiación emitida por el radiofármaco, es la de localizar dicho GC previo y durante el acto quirúrgico, y permitir así su extirpación selectiva. Por tanto, el éxito en el procedimiento depende en gran medida del funcionamiento

* Correspondencia
Email: cris.camacho.84@gmail.com

correcto y las características apropiadas de la sonda, pudiéndose ver comprometido por sus limitaciones.

El objetivo principal de este trabajo es analizar varios parámetros que determinan la respuesta ante distintas condiciones de medida de las sondas intraoperatorias con las que contamos en nuestro Servicio de Medicina Nuclear. Evaluaremos características de direccionalidad como la sensibilidad angular y espacial de la sonda (definidas como el número de cuentas detectadas en relación al grado de desviación respecto del eje de la sonda a una distancia fija, y respecto a la distancia entre la fuente y la sonda, DFS, respectivamente)³. También evaluaremos la sensibilidad de recuento (definida como la tasa de cuentas medidas por unidad de actividad de la fuente (cps/kBq), a una distancia concreta)², así como los posibles efectos por tiempo muerto de la sonda: el tiempo muerto de un detector se define como el tiempo de inoperatividad, desde que un suceso es detectado hasta que se puede registrar el siguiente evento como suceso verdadero. El efecto por tiempo muerto hace que la tasa de cuentas registradas sea inferior a la tasa de cuentas verdaderas, cuando dicha tasa es elevada. Debido a ello, para actividades altas, la sensibilidad de recuento de la sonda puede verse reducida. Veremos la posible influencia de los resultados en el uso clínico de las sondas intraoperatorias. Con estas pruebas pretendemos también establecer un método de verificación periódico de nuestras sondas, fácilmente reproducible y que emplee recursos disponibles en cualquier servicio de medicina nuclear.

Material y métodos

Se realizaron las pruebas descritas sobre dos sondas intraoperatorias disponibles en nuestro Servicio de Medicina Nuclear. Cada sistema consta de su propio equipo lector, modelo Navigator GPS (United States Surgical), al que se conecta la sonda y que muestra la tasa de cuentas registradas. Cuenta con una alarma audible cuya frecuencia varía según la tasa de recuento. Permite además seleccionar varios parámetros, como el modo de operación en función de la ventana de energía que queramos usar, el isótopo y el tiempo de adquisición. Los modos de operación disponibles son dos⁴. El primero aquel en el que el umbral de energía está habilitado (o Threshold ON), la ventana de energía se ajusta alrededor de la energía del fotopico del isótopo seleccionado, procesando el sistema únicamente las señales de la sonda que se encuentren dentro de dicha ventana. Para ^{99m}Tc, que es el isótopo usual en este procedimiento, la ventana de energía es de 105–160 keV. El otro modo de operación es aquel en el que el umbral de energía está deshabilitado (o Threshold OFF). En este modo la ventana es amplia (27–364 keV), y el

sistema procesa toda la gama de energías de fotones detectadas en este rango.

Por su parte las dos sondas verificadas, de RMD Instruments, tienen las características presentadas en la tabla 1. En su cabezal ambas sondas cuentan con blindaje, colimación interna y un detector semiconductor de Teluro de Cadmio y Zinc (CdZnTe) que permite construirlo de manera muy compacta, beneficiando el diseño de la sonda.

Tabla 1. Especificaciones de las dos sondas intraoperatorias verificadas, según manual del fabricante⁴.

Nombre	Número de serie	Diámetro del detector (mm)	Geometría	Longitud del eje (mm)
Sonda estándar para mapeo linfático	R1501	14	En ángulo	67
Sonda abdominal	R5991	10	Recta	310

Como fuentes radiactivas para la realización de las pruebas se emplearon varias fuentes “puntuales”, fabricadas añadiendo varias gotas de ^{99m}Tc a una pequeña bola de algodón de diámetro no superior a 2,6 mm (medido con calibre) que se introdujo en un tapón fino de plástico. La actividad de las fuentes era muy similar (salvo en la prueba que evalúa los efectos de tiempo muerto), variando entre los 542,8 y los 681,2 kBq (14,7 y 18,4 μ Ci). Esta actividad intenta simular el nivel de actividad acumulada en el GC en un caso real (alrededor del 1% de la actividad inicialmente inyectada²: en nuestro Servicio se inyectan 3 dosis de 300 μ Ci cada una). Además, una actividad superior podría habernos causado problemas de subestimación de las medidas (por efecto del tiempo muerto del sistema).

Para caracterizar la sensibilidad espacial y angular nos basamos en el método usado en el trabajo de Muñoz et al. en el que se estudia la discriminación de la sonda intraoperatoria para diferentes ángulos de detección⁵. Se situó la fuente de ^{99m}Tc sobre una hoja de papel milimetrado, graduado en ángulos y en distancias, de manera que la fuente se iba cambiando de posición, manteniendo la sonda fija siempre en el mismo punto, el correspondiente al origen tanto de la escala de distancia como de la escala angular (el eje de simetría de la sonda coincidía con los 0° de esta escala). Mediante marcas en el papel, que dibujaban la posición fija de la sonda, se pretendía que ésta fuera lo más reproducible posible. Como soporte de la sonda se empleó una pinza de laboratorio, cuya posición también se marcó en la mesa sobre la que descansaba

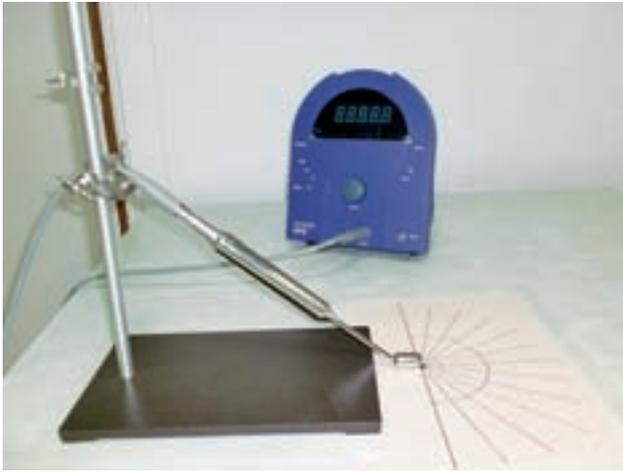


Fig. 1. Montaje experimental empleado para las medidas con la sonda R1501 en posición vertical respecto de la mesa de trabajo. El uso de la pinza de laboratorio permite esta posición. Las marcas que se observan en el esquema del papel milimetrado representan las diferentes posiciones en las que se colocará de la fuente.

todo el montaje experimental. Dicho montaje puede verse en la fig. 1. Se realizaron medidas cada 15° , en el intervalo entre los $\pm 90^\circ$, y para cada ángulo se tomaron 5 distancias: 2, 4, 6, 8 y 10 cm, con el fin de obtener mapas del comportamiento de la sonda en función del ángulo de detección y de la DFS. En cada punto se realizaron 3 medidas y se calculó su valor promedio y su incertidumbre estadística. Dicha incertidumbre estadística fue determinada como la desviación típica del valor medio de las 3 medidas, asignándose factor de cobertura $k=1$. Así mismo las lecturas obtenidas se compensaron por el decaimiento de la fuente de ^{99m}Tc , para poder referir todas las medidas al mismo instante temporal y nivel de actividad.

Para determinar la sensibilidad de recuento de las sondas se situó la fuente en la dirección de su eje de simetría (0°), y a 2 y 4 cm del borde del cabezal. Según la bibliografía el promedio de la profundidad de localización del GC en el caso de neoplasia mamaria (caso más frecuente de uso de esta técnica) se encuentra en este rango^{6,7}. Para cada distancia se tomó un elevado número de medidas de tasa de conteo (hasta un total de 25 medidas), con el fin de reducir al máximo las incertidumbres debidas a la oscilación de la lectura del electrómetro, tal y como se recomienda en el artículo de Modolell y Puchal¹. Las 25 medidas fueron promediadas, calculándose su incertidumbre estadística como la desviación típica del valor medio. A su vez, debido a que la sensibilidad se expresa en términos de cps/kBq, la actividad de la fuente ha de conocerse con cierta exactitud para realizar esta prueba, de ahí que se tomaran 3 medidas en diferentes posiciones de la fuente dentro del acti-

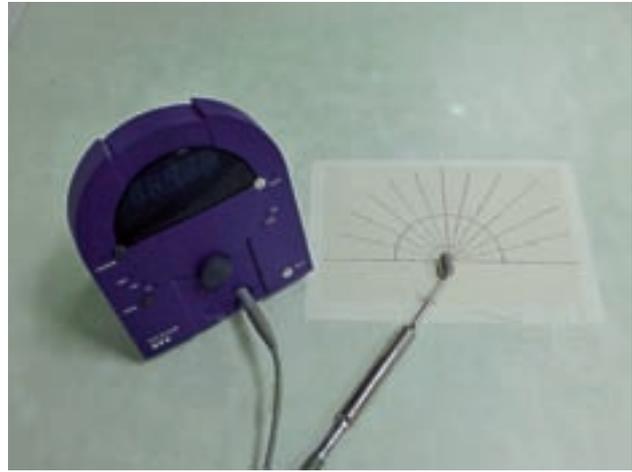


Fig. 2. Montaje experimental empleado para medidas con la sonda R1501 en posición horizontal respecto de la mesa.

vímetro usado, y se calculara también su media y su incertidumbre. Por último, la incertidumbre estadística asociada al valor final de la sensibilidad de cada sonda (para cada geometría y DFS) se calculó según el método de propagación de errores asignándose finalmente un factor de cobertura $k=2$.

Estas dos pruebas, características de direccionalidad y sensibilidad de recuento, se realizaron con la sonda para mapeo linfático (identificada con el número de serie R1501) en dos posiciones, ya que su terminación en ángulo lo permite. Tomando como plano de referencia el plano de la mesa de trabajo, entenderemos que esta sonda está en posición vertical (respecto de este plano) cuando la mantenemos sujeta con la pinza de laboratorio. La posición horizontal la definimos como aquella en la que la sonda se encuentra tumbada, apoyada sobre la mesa. Las dos posiciones se muestran en la fig. 1 y la fig. 2. De dichas posiciones, la primera es la más similar a la de uso clínico. Pensamos que sería interesante estudiar la respuesta del detector según una posición u otra, sobre todo desde el punto de vista de la posible diferencia en el espesor de material de blindaje y de colimación dispuestos a su alrededor. La otra sonda, para uso abdominal (número de serie R5991), sólo permite una posición, apoyada sobre la mesa de trabajo.

Para la prueba de tiempo muerto se emplearon fuentes de mayor actividad: $11473 \pm 19 \text{ kBq}$ y $11551 \text{ kBq} \pm 19 \text{ kBq}$ ($(310,1 \pm 0,5 \mu\text{Ci})$ y $(312,2 \pm 0,5 \mu\text{Ci})$)*. Para cada sonda se situó una fuente de ^{99m}Tc a DFS de 2 y 4 cm y en la

* Al contrario que en la prueba anterior (determinación de la sensibilidad de recuento) en la que se realizaron 3 medidas de la actividad de la fuente, en ésta se realizó solamente una en cada instante de tiempo. Por ello, el error no se ha asignado como desviación típica del valor medio, sino que se ha establecido como el mínimo valor de actividad que podemos leer con suficiente fiabilidad con el activímetro usado: $0,5 \mu\text{Ci} = 19 \text{ kBq}$.

dirección de su eje de simetría (0°), tal y como se procedió en la prueba anterior. Para recoger medidas de las cuentas detectadas por las sondas a diferentes niveles de actividad, se dejó decaer cada fuente durante aproximadamente dos días, y se tomaron datos en instantes de tiempo concretos. Durante las primeras 6 horas se realizó una medida cada 60 minutos aproximadamente, con el fin de tener bien cubierta la variación de la tasa de recuento durante el primer periodo de semidesintegración de la fuente de ^{99m}Tc , que es de 6,007 h. Transcurrido este tiempo se espació más la toma de datos. Resultaron un total de 15 medidas para cada sonda, en las que se recoge la variación de las cuentas detectadas por dichos sistemas a diferente actividad de la fuente. De nuevo en cada toma de datos se realizaron 3 lecturas con el fin de estimar la incertidumbre estadística de las medidas como la desviación típica del valor medio. Finalmente, con los datos de tasa de cuentas recogidas y de actividad se calculó la sensibilidad de las sondas en cada instante de medida (cps/kBq)[†], para estudiar su posible variación con los diferentes niveles de actividad. Se ha de señalar que en esta prueba, además, se han recogido datos usando los dos modos de operación des-

critos anteriormente (umbral de energía activado o desactivado). La intención no fue otra que la de verificar el hecho de que deshabilitando el umbral de energía la tasa de cuentas detectadas es mucho más elevada, ya que el sistema procesa todos los fotones que le llegan en un rango amplio de energías.

En todas las medidas se usó la función COUNT del equipo lector, que registra el número de cuentas recibidas en 10 segundos. Igualmente, en todas las pruebas se realizaron medidas del fondo radiactivo ambiental con las mismas sondas, para restarlo a las lecturas registradas. Señalamos que en ningún momento se detectó más de 1 cuenta en 10 segundos en ausencia de fuente radiactiva.

Resultados

Sensibilidad angular y espacial

El promedio de las cuentas recogidas en 10 segundos a distintos ángulos de detección y distintas DFS, para cada unidad estudiada, se recogen en las tablas 2, 3 y 4 (acompañado cada valor de su incertidumbre estadística). La misma información en forma de gráfica se incluye en la fig. 3 y la fig. 4.

[†] El error asignado a cada valor de sensibilidad se ha calculado mediante la ley de propagación de errores, a partir de las incertidumbres en la tasa de cuentas y en la actividad (factor de cobertura $k=1$).

Tabla 2. Promedio de cuentas registradas en 10 s por la sonda para mapeo linfático (R1501) en cada localización de la fuente. Sonda dispuesta horizontalmente respecto del plano de la mesa de trabajo. Actividad de la fuente: 681,2 kBq (18,4 μCi).

		Distancia (cm)				
		2	4	6	8	10
Ángulo ($^\circ$)	-90	22,3 \pm 0,7	11,3 \pm 0,9	3,6 \pm 0,7	3,0 \pm 0,4	2,3 \pm 0,7
	-75	36 \pm 3	15,1 \pm 1,5	10,1 \pm 1,0	6,3 \pm 1,0	3,8 \pm 0,8
	-60	145 \pm 6	39,9 \pm 1,6	17,2 \pm 0,6	12,2 \pm 0,6	5,7 \pm 0,1
	-45	1497 \pm 2	371 \pm 20	161,9 \pm 0,3	87 \pm 3	46,9 \pm 0,3
	-30	3444 \pm 4	1103 \pm 15	491,2 \pm 1,5	301 \pm 22	203 \pm 11
	-15	4686 \pm 4	1626 \pm 10	820 \pm 3	518 \pm 19	321 \pm 2
	0	5118 \pm 9	2003 \pm 9	984 \pm 15	601 \pm 3	422 \pm 8
	15	4113 \pm 21	1547 \pm 3	824,7 \pm 1,2	479 \pm 3	315 \pm 12
	30	2648 \pm 4	910 \pm 21	463,3 \pm 1,6	283 \pm 3	181,3 \pm 1,6
	45	1022 \pm 6	308,6 \pm 1,2	114,5 \pm 0,9	63,2 \pm 1,9	44 \pm 5
	60	47 \pm 2	23,5 \pm 0,7	18,8 \pm 1,5	10,9 \pm 1,3	6,3 \pm 1,0
	75	23,5 \pm 1,7	14,8 \pm 1,2	9,2 \pm 1,4	5 \pm 2	4,5 \pm 0,6
	90	17,4 \pm 0,9	7,9 \pm 1,2	4,9 \pm 1,8	4,0 \pm 1,9	3,0 \pm 1,0

Tabla 3. Promedio de cuentas registradas en 10 s por la sonda para mapeo linfático (R1501) en cada localización de la fuente. Sonda dispuesta verticalmente respecto del plano de la mesa de trabajo. Actividad de la fuente: 548,3 kBq (14,8 μ Ci).

		Distancia (cm)				
		2	4	6	8	10
Ángulo (°)	-90	12,7±1,2	7,0±0,9	4,3±1,6	2,6±0,7	2,0±0,8
	-75	22±2	11,2±1,5	10±5	4,4±1,7	2,3±0,7
	-60	145,1±1,8	37±3	19,4±1,6	11,4±1,3	7,5±0,4
	-45	1666±15	510±4	251±3	121,4±1,6	68±2
	-30	2850,4±0,1	930±3	454,4±0,1	277,5±0,6	184±3
	-15	3733±14	136±4	704,6±0,9	427±11	273,9±0,6
	0	4159,6±0,9	1496±6	766±2	478±2	327,6±0,6
	15	3153±29	1148±4	569±11	303,2±0,3	213±5
	30	1879±3	582±6	308±6	194±7	113±5
	45	663±10	229±3	66,6±0,3	25,6±0,3	17±2
	60	34,2±0,3	15,2±0,7	9±2	7,2±1,3	5,2±1,0
	75	22±4	10,4±1,6	6,0±1,4	3,2±1,7	2,6±0,4
90	15±2	6,9±0,3	3,2±0,6	2,2±1,2	1,5±0,7	

Tabla 4. Promedio de cuentas registradas en 10 s por la sonda abdominal (R5991) en cada localización de la fuente. Actividad de la fuente: 591,3 kBq (16,0 μ Ci).

		Distancia (cm)				
		2	4	6	8	10
Ángulo (°)	-90	32,7±1,4	13,7±1,1	5,0±1,6	1,9±0,7	1,0±0,4
	-75	56±5	16,2±1,3	12,2±1,6	7,4±1,0	3,4±1,7
	-60	530±12	125±2	61±4	32±3	15±2
	-45	1248,7±0,3	421,3±0,1	193±7	97±3	64±2
	-30	2039±4	663±7	317±3	190±4	114,4±1,3
	-15	2338±1	771±19	386±4	234±4	136,8±0,1
	0	2469±7	812±2	434±3	261,5±0,1	163,1±0,3
	15	2291±5	759±15	385±3	225,1±1,0	143,1±0,2
	30	1805±5	557±5	263±3	159,9±1,6	110±3
	45	1274,9±0,6	362±5	149±5	97,8±0,6	57±5
	60	467±6	107±4	52±4	28,2±0,1	18,3±1,0
	75	50±3	19,4±1,8	10,3±0,7	6,9±0,7	4,1±1,0
90	37±3	10,4±1,0	6,7±1,5	3,6±0,4	2,6±0,6	

No se han incluido las curvas de la sonda R1501 en posición horizontal, ya que no se ha hallado diferencia significativa respecto a las curvas construidas con los datos de la sonda en posición vertical, salvo las fluctuaciones inherentes por la desviación estadística propia de todo proceso de medida. El mayor número de cuentas registradas en una posición concreta de la fuente cuando la sonda se encuentra horizontal se debe en gran medida a que la actividad de ^{99m}Tc es ligeramente superior en este caso.

Se observa en todos los casos cómo el conteo máximo, correspondiente al pico de las curvas, se obtiene siempre según el eje de simetría de la sonda (0°), y que a medida que aumentamos el ángulo de detección el número de cuentas registradas cae rápidamente, hasta el punto de ser muy bajo (o prácticamente nulo en algún caso) para ángulos muy alejados de dicho eje ($\pm 75^\circ$ y $\pm 90^\circ$). Este hecho provoca la larga cola de las curvas a ambos lados. Por su parte, la diferencia de altura alcanzada por los picos entre las curvas correspondientes a distintas DFS es un indicativo de la disminución de los sucesos registrados por todo sistema detector cuando se aleja de la fuente emisora de radiación (según la ley de variación con el inverso del cuadrado de la distancia). Por otra parte, la forma de campana que presentan las curvas no es totalmente idéntica a ambos lados respecto de la vertical, lo cual nos hace prever ya una cierta asimetría: para la misma dirección (ángulo), ambas sondas detectan más cuentas en la zona de ángulos negativos (la cual queda a su izquierda en el plano de la mesa). Además este efecto es más acusado con tasas de conteo elevadas (cuando la fuente está más próxima).

Hemos aprovechado la variación mencionada de las cuentas detectadas con la distancia, para ajustar los datos correspondientes al máximo (0°) a una curva del tipo $\text{distancia} \propto 1/\sqrt{\text{cuentas}}$.

Si los datos obtenidos se ajustan según la ley $\text{cuentas} \propto 1/d^2$, obtendremos una línea recta, como efectivamente se observa en la fig. 5. La ordenada en el origen de estas rectas indicaría la profundidad del punto efectivo de medida de la sonda, es decir, la distancia entre el borde externo de la sonda y el material detector integrado en ella. La tabla 5 muestra el resultado del ajuste de los puntos a una recta por el método de mínimos cuadrados. En el caso de la sonda para mapeo linfático encontramos una ligera diferencia en la profundidad del punto efectivo de medida con la posición de la sonda: a $1,17 \pm 0,13$ cm del borde externo si la sonda se encuentra horizontal y a $1,18 \pm 0,09$ cm si se encuentra vertical. Esta pequeña discrepancia puede ser consecuencia de las variaciones estadísticas propias del proceso de medida, ya que se encuentra dentro de los intervalos de incertidumbre de ambas cantidades. Por tanto y por

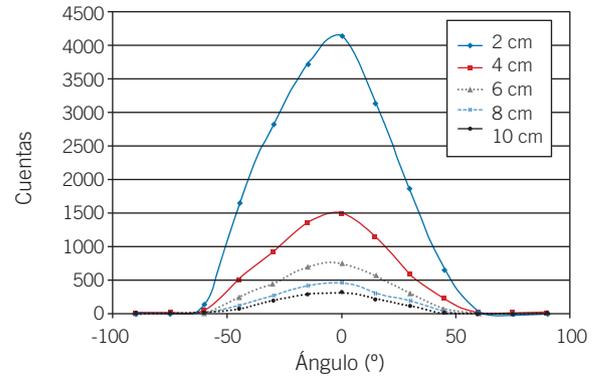


Fig. 3. Perfiles de comportamiento de la sonda para mapeo linfático (R1501) con las distintas posiciones de la fuente. Posición vertical de la sonda. Actividad de la fuente: 548,3 kBq (14,8 μCi).

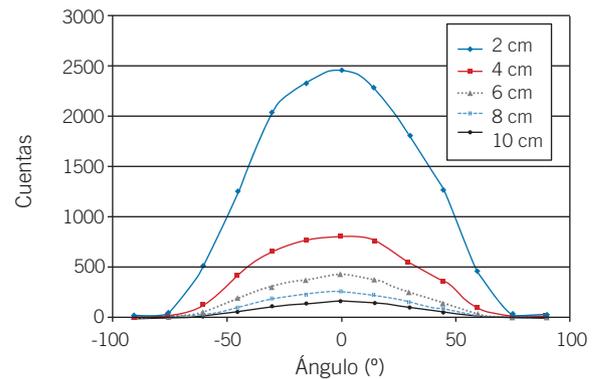


Fig. 4. Perfiles de comportamiento de la sonda abdominal (R5991) con las distintas posiciones de la fuente. Actividad de la fuente: 591,3 kBq (16,0 μCi).

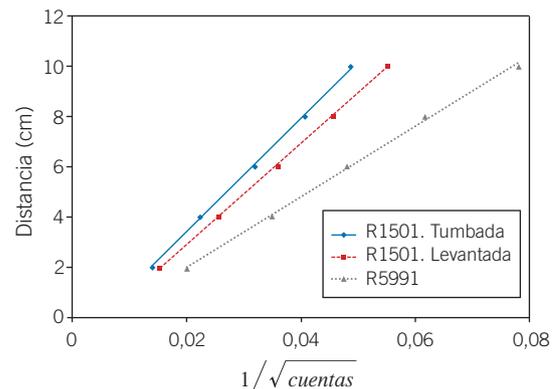


Fig. 5. Ajuste de los datos obtenidos a 0° a la curva: $\text{distancia} \propto (1/\sqrt{\text{cuentas}})$, para el cálculo de la profundidad efectiva de detección.

Tabla 5. Resultados del ajuste de los datos obtenidos a 0° a la curva: $d \propto (1/\sqrt{\text{cuentas}})$. La ordenada en el origen representa la distancia borde externo de la sonda-punto efectivo de detección.

	Sonda nº R1501. Posición horizontal	Sonda nº R1501. Posición vertical	Sonda nº R5991
Pendiente cm/ $\sqrt{\text{cuentas}}$	227±4	201±2	139±3
Ordenada en el origen (cm)	-1,17±0,13	-1,18±0,09	-0,79±0,17
Coefficiente de correlación, R ²	0,9991	0,9996	0,9984

simplicidad, se podría asignar el punto efectivo de detección de esta sonda como el promedio de las dos profundidades obtenidas. Este punto, calculado como la media de 1,17±0,13 cm y 1,18±0,09 cm, se encontraría a una profundidad de 1,18±0,08 cm del borde del cabezal de la sonda (el error asignado ha sido calculado según la fórmula de propagación de errores, a partir de los errores de las dos profundidades calculadas). Por su parte, el punto efectivo de detección está más cercano a dicho borde en el

caso de la sonda de uso abdominal, encontrándose a (0,79±0,17) cm.

Sensibilidad de recuento

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos en las medidas de la sensibilidad de las dos sondas intraoperatorias verificadas, a DFS de 2 cm y 4 cm. En primer lugar vemos que la sonda para mapeo linfático es ligeramente más sensible cuando se coloca horizontal, en un porcentaje promedio del 9,97%. Los posibles motivos serán discutidos más adelante. Por otra parte, aumentar la distancia de medida en dos centímetros supone una importante pérdida de sensibilidad (ya que la tasa de cuentas detectadas se reduce drásticamente), pasando a ser, a DFS de 4 cm, el 43,7% y el 43,1% de la obtenida a 2 cm, cuando la sonda para mapeo linfático se encuentra horizontal y vertical, respectivamente, y el 35,9% en el caso de la sonda abdominal. Con esto comprobamos de nuevo la disminución de las cuentas detectadas con el aumento de la distancia. Por último, verificamos también que la sonda abdominal es claramente menos sensible que la sonda para mapeo linfático: en iguales condiciones de medida, su sensibilidad se reduce hasta el 55,2% en promedio (máximo de 63,1%). La explicación de este hecho es sencilla si tenemos en cuenta que el tamaño del detector de la sonda abdominal es menor (diámetro de 10 mm, frente a los 14 mm de la otra sonda). También podría asociarse esta desviación a que cada sonda va conectada a un electrómetro diferente, sin embargo la diferencia es demasiado significativa como para atribuirlo a este hecho, teniendo en cuenta además que se trata de electrómetros del mismo modelo y misma ventana de energía para el ^{99m}Tc.

Tabla 6. Sensibilidad medida (en cps/kBq) para las dos sondas verificadas y dos DFS diferentes. En el caso de la sonda para mapeo linfático (R1501) se ha determinado la sensibilidad en las dos posiciones posibles.

	R1501. Posición horizontal		R1501. Posición vertical		R5991	
	2 cm	4 cm	2 cm	4 cm	2 cm	4 cm
Actividad (kBq)	599±37	581±35	599±37	581±35	543±29	543±29
Tasa de cuentas promedio (cps)	426,4±1,1	178,3±0,8	386,9±0,7	160,3±0,9	223,6±0,8	79,8±0,8
Sensibilidad (cps/kBq)	0,71±0,09	0,31±0,04	0,65±0,08	0,28±0,03	0,41±0,04	0,147±0,016

Tabla 7. Variación de la sensibilidad de la sonda R1501 a diferentes niveles de actividad, en los dos modos de operación disponibles y con dos DFS diferentes.

Actividad (± 19 kBq)	Tasa de cuentas promedio (cps)			Sensibilidad (cps/kBq)		
	Umbral activado		Umbral desactivado	Umbral activado		Umbral desactivado
	2 cm	4 cm	4 cm	2 cm	4 cm	4 cm
11444	5037 \pm 8	2252 \pm 13	5011 \pm 14	0,4401 \pm 0,0010	0,1967 \pm 0,0012	0,4379 \pm 0,0014
10132	4587 \pm 17	1990,8 \pm 1,6	4457 \pm 2	0,4527 \pm 0,0019	0,1965 \pm 0,0004	0,4399 \pm 0,0008
8920	4158 \pm 14	1778 \pm 8	3959 \pm 4	0,4762 \pm 0,0018	0,1993 \pm 0,0010	0,4438 \pm 0,0009
7780	3602 \pm 12	1580 \pm 7	3511 \pm 5	0,4630 \pm 0,0019	0,2031 \pm 0,0010	0,4512 \pm 0,0012
6733	3111 \pm 11	1337,9 \pm 1,3	3009 \pm 4	0,462 \pm 0,002	0,1987 \pm 0,0006	0,4468 \pm 0,0014
6064	2763 \pm 6	1191 \pm 11	2672 \pm 7	0,4656 \pm 0,0018	0,1964 \pm 0,0019	0,4407 \pm 0,0018
5338	2485 \pm 12	1060,4 \pm 1,6	2393 \pm 7	0,476 \pm 0,003	0,1987 \pm 0,0008	0,448 \pm 0,002
4678	2209 \pm 11	932 \pm 3	2081 \pm 10	0,472 \pm 0,003	0,1992 \pm 0,0011	0,445 \pm 0,003
3895	1894 \pm 11	811 \pm 3	1794 \pm 7	0,486 \pm 0,004	0,2081 \pm 0,0012	0,461 \pm 0,003
2176	1266 \pm 5	512 \pm 5	1134 \pm 3	0,582 \pm 0,006	0,235 \pm 0,002	0,521 \pm 0,005
893	526 \pm 3	223,7 \pm 1,9	501 \pm 8	0,589 \pm 0,013	0,250 \pm 0,006	0,561 \pm 0,012
698	433 \pm 4	185,2 \pm 0,9	405,3 \pm 1,4	0,620 \pm 0,018	0,265 \pm 0,007	0,581 \pm 0,016
478	329 \pm 3	124,40 \pm 0,06	278 \pm 3	0,69 \pm 0,03	0,260 \pm 0,010	0,58 \pm 0,02
54	26 \pm 1	12,10 \pm 0,03	25,6 \pm 0,5	0,49 \pm 0,17	0,23 \pm 0,08	0,48 \pm 0,17
27	14,8 \pm 0,8	6,03 \pm 0,19	13,9 \pm 0,5	0,55 \pm 0,39	0,22 \pm 0,16	0,52 \pm 0,44

Tabla 8. Variación de la sensibilidad de la sonda R5991 a diferentes niveles de actividad, en los dos modos de operación disponibles y con dos DFS diferentes.

Actividad (± 19 kBq)	Tasa de cuentas promedio (cps)			Sensibilidad (cps/kBq)		
	Umbral activado		Umbral desactivado	Umbral activado		Umbral desactivado
	2 cm	4 cm	4 cm	2 cm	4 cm	4 cm
11444	2599 \pm 11	1076 \pm 6	2522 \pm 7	0,2265 \pm 0,0010	0,0938 \pm 0,0005	0,2198 \pm 0,0007
10132	2388 \pm 10	971 \pm 9	2099 \pm 4	0,2307 \pm 0,0010	0,0938 \pm 0,0009	0,2028 \pm 0,0005
8920	2070 \pm 3	847 \pm 7	1825 \pm 5	0,2308 \pm 0,0006	0,0945 \pm 0,0008	0,2035 \pm 0,0004
7780	1898 \pm 2	767 \pm 1,6	1627 \pm 3	0,2386 \pm 0,0006	0,0964 \pm 0,0003	0,2045 \pm 0,0006
6733	1682,9 \pm 1,3	679 \pm 5	1453 \pm 3	0,2385 \pm 0,0007	0,0962 \pm 0,0008	0,2059 \pm 0,0007
6064	1451 \pm 10	581 \pm 1,3	1249 \pm 8	0,2444 \pm 0,0019	0,0978 \pm 0,0004	0,2105 \pm 0,0016
5338	1266 \pm 13	521 \pm 2	1122 \pm 4	0,235 \pm 0,003	0,0965 \pm 0,0005	0,2081 \pm 0,0011
4678	11587 \pm 2	472 \pm 2	1056 \pm 6	0,2380 \pm 0,0010	0,0970 \pm 0,0006	0,2171 \pm 0,0015
3895	1070,4 \pm 1,8	475 \pm 3	999 \pm 6	0,2502 \pm 0,0012	0,1111 \pm 0,0008	0,2334 \pm 0,0018
2176	773,0 \pm 1,1	305 \pm 3	682 \pm 4	0,340 \pm 0,003	0,1340 \pm 0,0017	0,300 \pm 0,003
893	587 \pm 2	206,8 \pm 1,8	492,4 \pm 1,6	0,370 \pm 0,005	0,1302 \pm 0,0019	0,310 \pm 0,004
698	364 \pm 3	128 \pm 2	308,7 \pm 1,7	0,423 \pm 0,010	0,148 \pm 0,004	0,358 \pm 0,008
478	249,0 \pm 1,3	88,7 \pm 1,2	209,0 \pm 1,0	0,419 \pm 0,014	0,149 \pm 0,005	0,352 \pm 0,011
54	71,8 \pm 1,3	25,1 \pm 1,0	60,2 \pm 0,8	0,40 \pm 0,04	0,141 \pm 0,016	0,34 \pm 0,04
27	19,6 \pm 0,6	6,33 \pm 0,12	15,8 \pm 0,4	0,39 \pm 0,15	0,13 \pm 0,05	0,32 \pm 0,12

Tiempo muerto

Para estudiar los posibles efectos por tiempo muerto de los detectores hemos calculado la sensibilidad de cada una de las sondas a diferentes niveles de actividad, dejando decaer las fuentes empleadas aproximadamente dos días. Los resultados se muestran en las tablas 7 y 8, y gráficamente en la fig. 6 y la fig. 7.

El comportamiento de las dos sondas es similar, y prácticamente independiente de la DFS y del modo de operación empleado. A las tasas de conteo más elevadas (actividades más altas), la sensibilidad se mantiene aproximadamente constante (plateau de las curvas) y con un valor inferior al máximo. A partir de un cierto nivel de actividad, a medida que ésta decrece, la sensi-

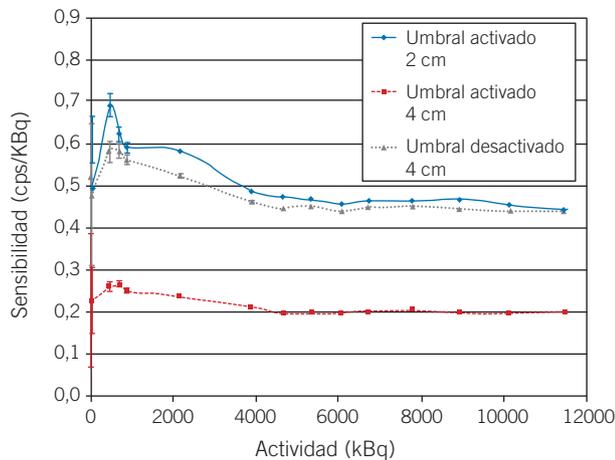


Fig. 6. Evaluación de la pérdida de sensibilidad de la sonda R1501 por efecto de tiempo muerto. Posición vertical de la sonda.

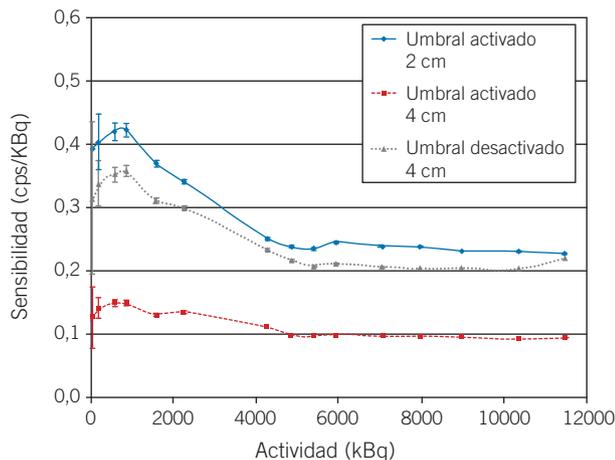


Fig. 7. Evaluación de la pérdida de sensibilidad de la sonda R5991 por efecto de tiempo muerto.

bilidad va aumentando paulatinamente, hasta alcanzar el máximo. Este punto, que nos indicaría la actividad máxima a partir de la cual empezarían a notarse los efectos por tiempo muerto, es ligeramente diferente para cada equipo. En el caso de la sonda para mapeo linfático, la máxima sensibilidad se alcanza alrededor de los 600 kBq (concretamente, a los 698 kBq en la curva que corresponde a una DFS de 4 cm y umbral de energía activado, y a los 478 kBq en las otras dos curvas). No podemos dar una estimación más exacta puesto que no disponemos de medidas entre estos dos puntos. Por su parte, la sonda para uso abdominal alcanza la máxima sensibilidad alrededor de los 700 kBq (a los 594 kBq en la curva que correspondiente a DFS de 4 cm y umbral de energía activado, y a 862 kBq en los otros dos casos). También se observa una ligera disminución de la sensibilidad a actividades más bajas que el máximo: esto podría deberse a las fluctuaciones apreciables en las medidas a niveles de conteo bajos. Discutiremos la repercusión clínica de los efectos por tiempo muerto al usar las sondas intraoperatorias más adelante.

Esta prueba nos sirve también para hacer una nueva comparativa entre los valores de la sensibilidad de la sonda a DFS, y entre los dos modos de operación:

- La disminución de la tasa de cuentas detectadas al alejar la fuente ya había sido comentada anteriormente. Verificamos que la sensibilidad de la sonda R1501 a DFS de 4 cm se reduce, en promedio, a sólo el 42,6% de la sensibilidad obtenida a 2 cm, y al 38,8% en la sonda R5991.
- Un incremento muy significativo de la sensibilidad de la sonda se obtiene cuando pasamos de operar en el modo con ventana de energía centrada en el fotopico del ^{99m}Tc, al modo con ventana de energía amplia, en un promedio de 2,23 y 2,26 veces para las sondas R1501 y R5991, respectivamente. Esto es debido a que al operar con la ventana completa, el sistema procesa toda la gama de energías de fotones detectadas. En consecuencia se incrementaría el fondo de radiación detectado, principalmente porque se esperaría detectar más radiación dispersa al usar una ventana de energía más amplia. Para determinar la conveniencia de trabajar en este modo de operación habría que estudiar hasta qué nivel se degradaría la respuesta de las sondas con el ángulo de detección y con la distancia al usar la ventana de energía completa.

Discusión

En este trabajo hemos verificado algunos de los parámetros que determinan la respuesta de las sondas intraoperatorias para localización del GC con las que contamos en nuestro Servicio. El éxito de dicha localización, previa y durante el proceso quirúrgico,

puede verse comprometido si estos parámetros no son adecuados para este fin. Discutiremos en esta sección si los resultados de las pruebas realizadas señalan que nuestras sondas son apropiadas para su uso clínico.

En primer lugar hemos estudiado la respuesta de las dos sondas al cambiar las condiciones geométricas de detección (ángulo respecto el eje de simetría de la sonda, y DFS). La forma de los perfiles de conteo mostrados en la fig. 3 y la fig. 4 indica que estos equipos son altamente direccionales. El máximo conteo se obtiene siempre en la dirección del eje de simetría (0°), y decae rápidamente según nos alejamos de dicha dirección aumentando el ángulo de detección. Por ejemplo, cuando la sonda para mapeo linfático se coloca vertical respecto del plano de la mesa, una desviación de 15° respecto de su eje supone registrar un 80,1% de las cuentas que se obtienen en dicha dirección, y este porcentaje cae hasta el 20,4% (prácticamente hasta un factor 4) con una desviación de 45° (valores promedio entre ángulos positivos y negativos, y teniendo en cuenta los 5 valores de DFS). Estos porcentajes de caída son más suaves para la sonda abdominal: 90,0% y 42,5% de las cuentas obtenidas a 0° con una desviación de 15° y 45° respectivamente. Se puede decir entonces que la discriminación angular de esta sonda no es tan acusada como la de la sonda para mapeo linfático. Por otra parte, el aumento de la DFS supone una clara pérdida de las cuentas detectadas, según su variación con el inverso del cuadrado de la distancia (las rectas de la fig. 5 muestran el ajuste de las medidas experimentales a esta ley). Con la sonda para mapeo linfático en posición vertical, a una DFS de 4 cm obtenemos un 39% de las cuentas registradas a 2 cm, cayendo al 8,3% al alejarnos hasta los 10 cm (de nuevo, valores promedio, teniendo en cuenta todos los ángulos). Estos porcentajes son similares en la sonda abdominal: 31,4% y 5,4% de las cuentas obtenidas a 2 cm, a DFS de 4 y 10 cm respectivamente.

Estos resultados indican una buena discriminación espacial y angular de nuestros equipos, propiedades que los hacen aptos para su uso clínico. Debido al bajo porcentaje de captación del radiofármaco en los ganglios, al pequeño tamaño de éstos, y a la presencia de radiación dispersa (los fotones emitidos por el ^{99m}Tc pueden ser dispersados en su interacción con los tejidos presentes alrededor de la cadena linfática), la técnica de localización del GC es muy dependiente de la dirección en la que orientemos el detector (ángulo de detección) y de la DFS, por lo que se necesita un sistema que discrimine muy claramente entre la presencia de un foco de actividad (ganglio) y un fondo aproximadamente constante. La alarma audible que incorpora el sistema, cuya frecuencia aumenta con la tasa de cuentas detectadas, ayuda a este fin.

En la sección anterior ya se comentó que se puede prever una cierta asimetría en la detección alrededor

del eje de la sonda (0°), atendiendo simplemente a la forma de los perfiles de la fig. 3 y la fig. 4. Para estudiar más a fondo este hecho hemos representado, en forma de histograma de barras, la diferencia relativa de cuentas detectadas entre ángulos simétricos respecto dicho eje (fig. 8). Esta diferencia relativa de conteo entre ángulos simétricos la hemos definido matemáticamente como sigue:

$$\varepsilon(\%) = \frac{ABS[\sum(ang. neg.) - \sum(ang. pos.)]}{PROMEDIO[\sum(ang. neg.); \sum(ang. pos.)]} \times 100 \quad (2)$$

donde ε representa dicha diferencia relativa (en %), $\sum(ang. neg.)$ y $\sum(ang. pos.)$ representan la suma de todas las cuentas detectadas en una cierta dirección respecto del eje de la sonda (negativa y positiva, respectivamente) para las cinco DFS consideradas en esta prueba (2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm y 10 cm), y el denominador de la ecuación es la media de las dos cantidades que se acaban de describir y que aparecen en el numerador.

En la fig. 8, construida según la expresión anterior, se puede observar que la sonda para mapeo linfático presenta una asimetría considerablemente mayor que la sonda abdominal en cualquier dirección, y que dicha asimetría es, en general, más acusada cuando ésta se usa en la posición más similar a la de uso clínico (vertical), excepto en las direcciones más alejadas del eje, $\pm 75^\circ$ y $\pm 90^\circ$. Las direcciones más asimétricas son aquellas intermedias entre los 0° y 90° : $\pm 60^\circ$ y $\pm 30^\circ$ en los casos de la sonda para mapeo linfático y abdominal, respectivamente. La máxima diferencia relativa encontrada es del 102,8%, a $\pm 60^\circ$ en el caso

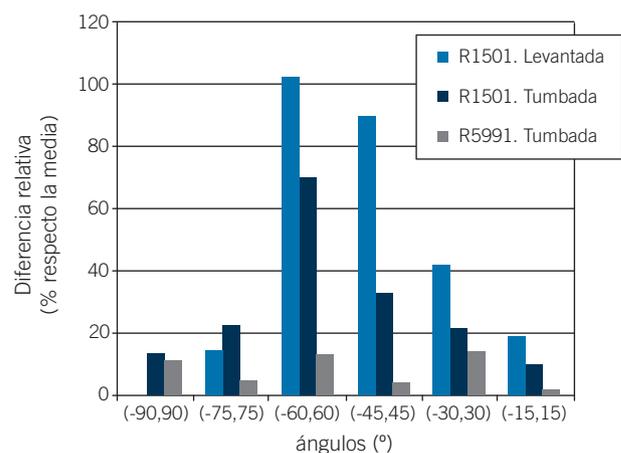


Fig. 8. Diferencia relativa en el conteo para ángulos simétricos respecto de la vertical.

de la sonda R1501 en posición vertical: en este caso se superaría el doble de cuentas detectadas en una dirección respecto de la otra. Por su parte, observamos un mejor comportamiento en las direcciones más alejadas del eje: de hecho, nuevamente con la sonda R1501 vertical, la diferencia relativa entre las cuentas recogidas a -90° y 90° es prácticamente del 0%. También hemos de subrayar que la asimetría presentada es siempre a favor de los ángulos negativos: para una dirección dada, el número de cuentas detectadas resulta siempre mayor en la zona negativa de la escala angular (como puede comprobarse atendiendo a los datos de las tablas 2, 3 y 4).

Una posible explicación a estos resultados podría ser que los materiales de blindaje y colimación, integrados en el cabezal de la sonda y que rodean al material detector, no estén uniformemente distribuidos, sino que haya una cierta diferencia en el espesor de éstos según la dirección. Esto provocaría mayor atenuación de los fotones que se dirigen hacia el semiconductor en las direcciones en las que el espesor de material alrededor del detector es ligeramente superior. Con esto podríamos entender también por qué la sonda R1501 presenta asimetrías más acusadas cuando se coloca vertical respecto del plano de la mesa que cuando se coloca horizontal. Asimismo, la presencia de materiales de blindaje y colimación explica el hecho de que los puntos efectivos de detección no se encuentren justo en el borde del cabezal de la sonda, sino a una cierta profundidad respecto de éste ($1,18 \pm 0,08$ cm y $0,79 \pm 0,17$ cm en la sonda R1501 y R5991, respectivamente). Por último, respecto a este tema, hay que subrayar que en todos los casos la dirección más próxima al eje de la sonda, $\pm 15^\circ$, es prácticamente la menos afectada (no supera el 20% de asimetría en la detección entre zona positiva y negativa de la escala angular, con un máximo del 18,8%). Esto resulta conveniente, ya que esta dirección y la del eje (0°) representan las direcciones de medida habituales en el uso clínico.

Al valorar la sensibilidad de la sonda para mapeo linfático hemos hallado cierta diferencia en el resultado según su posición: a DFS de 2 y 4 cm, respectivamente, se obtuvo un resultado de $0,71 \pm 0,09$ cps/kBq y $0,31 \pm 0,04$ cps/kBq, cuando se usa horizontal, frente a $0,65 \pm 0,08$ cps/kBq y $0,28 \pm 0,03$ cps/kBq, cuando se dispone vertical. Si asumimos que puede existir cierta diferencia en el espesor del material de blindaje y colimación alrededor del material detector, la ligera variación de la sensibilidad según la posición de uso de la sonda es compatible con este hecho. También hemos comprobado la pérdida de sensibilidad de ambas sondas cuando alejamos la fuente: a 4 cm respecto del borde externo tenemos un 43,4% (valor promedio entre las dos posiciones) y un 35,9% de la sensibilidad medida a 2 cm de las sondas R1501 y R5991 respectivamente. Estos porcentajes de reducción son compatibles con los

porcentajes de caída en la tasa de cuentas registradas al alejar la fuente entre los dos mismos puntos, vistos anteriormente: 39,0% y 31,4% (la ligera discrepancia es debida a que estos últimos porcentajes están calculados promediando para todos los ángulos, mientras que los primeros tienen en cuenta sólo los datos recogidos a 0°). Por último, atribuimos la menor sensibilidad de la sonda abdominal al hecho de que el diámetro de su cabezal, y por tanto de su detector, es menor (10 mm frente a los 14 mm de la otra sonda). Teniendo en cuenta este hecho, la elección de un tipo u otro de sonda se realiza en función del tipo de intervención. El uso de la sonda abdominal se restringe a aquellos casos en los que el campo quirúrgico permita mayor proximidad entre el ganglio o ganglios y la sonda (uso laparoscópico), o en los que la captación del radiofármaco haya sido menor (su distribución se observa en las imágenes gammagráficas adquiridas previamente al acto quirúrgico). Por su parte, en la localización de ganglios en los que la distancia inicial entre la sonda y la cadena linfática es mayor lo conveniente es usar la sonda para mapeo linfático.

La tasa de recuento para actividades bajas, del orden de los 1800-2200 kBq (50-60 μ Ci), es considerablemente mejor que para actividades más elevadas. Como consecuencia del tiempo muerto del detector, el sistema no es capaz de procesar todos los eventos que recibe como sucesos independientes, registrándose menos sucesos que los que en realidad llegan al detector. Por tanto, la sensibilidad de las sondas se reduce a actividades altas. Según la fig. 6 y la fig. 7, la máxima sensibilidad de la sonda R1501 se alcanza aproximadamente a los 600 kBq, y a los 700 kBq en la sonda R5991 (promedio de 587 kBq y 728 kBq, respectivamente, y según las 3 curvas). Los efectos por tiempo muerto pueden solventarse limitando la actividad de radiofármaco administrada al paciente: si tenemos en cuenta los niveles de actividad citados a los que se alcanza la sensibilidad máxima, y que en el GC se fija alrededor de un 1% de dicha actividad,² la actividad de ^{99m}Tc administrada debería ser menor de, aproximadamente, 60 MBq (1,62 mCi) cuando se use la sonda R1501, o menor de aproximadamente los 70 MBq (1,89 mCi) cuando se use la sonda R5991 para no esperar efectos por tiempo muerto. Estas cantidades son más elevadas que las usadas típicamente en nuestra práctica clínica (en nuestro Servicio se administran 3 dosis de 0,3 mCi cada una), por lo que no se espera observar reducción de la sensibilidad de las sondas por efectos de tiempo muerto.

Conclusiones

En este trabajo se presentan varias pruebas realizadas a dos sondas intraoperatorias para localización del GC disponibles en nuestro Servicio de Medicina

Nuclear. Dichas pruebas están orientadas al estudio de la respuesta de los equipos a diferentes geometrías (ángulo de detección y distancia fuente-sonda), caracterización de la sensibilidad de recuento, y su variación con la distancia y con diferentes niveles de actividad captada en el ganglio.

Los resultados obtenidos indican que la respuesta direccional de nuestras sondas es la adecuada. Esto se traduce en una buena discriminación espacial y angular: las mayores tasas de recuento se han obtenido siempre en la dirección del eje de simetría de la sonda (0°) y direcciones próximas ($\pm 15^\circ$), disminuyendo bruscamente al aumentar el ángulo respecto dicho eje. La tasa de recuento disminuye rápidamente también al alejar la fuente respecto del borde del cabezal de la sonda, según el inverso del cuadrado de DFS. Estas cualidades son apropiadas para su uso clínico en el proceso de localización del GC, ya que lo que se pretende es que la lectura proporcionada cambie apreciablemente al variar ligeramente el ángulo de detección o la profundidad a la que se encuentra el ganglio respecto de la sonda. Se recomienda limitar el uso de nuestros equipos a la detección de aquellos ganglios en los que su distancia inicial respecto de la sonda no sea superior a 10 cm (lo cual, por otra parte, es lo común en la práctica clínica).^{6,7} A distancias superiores la relación señal/fondo se vería demasiado comprometida.

Un posible problema podría plantearse debido a la gran asimetría angular que presentan los sistemas respecto del eje de simetría de la sonda (0°), más acusada en la sonda para mapeo linfático. Las direcciones más asimétricas son las de $\pm 30^\circ$ y $\pm 60^\circ$, y siempre a favor de la zona negativa de la escala angular. Sin embargo, si tenemos en cuenta que el conteo máximo se obtiene, con diferencia, en la dirección del eje, y que la asimetría en la dirección más próxima a éste no supera el 20%, este hecho no debe influir en el resultado clínico al usar la sonda.

La sensibilidad de las sondas evaluadas es del orden (en promedio) de 0,68 cps/kBq y de 0,30 cps/kBq para DFS de 2 y 4 cm respectivamente, en el caso de la sonda para mapeo linfático (con un ligero aumento de la sensibilidad al disponerla horizontalmente en lugar de vertical), y de 0,41 cps/kBq y 0,15 cps/kBq en el caso de la sonda abdominal para las mismas distancias. El hecho de que ésta última sea menos sensible a igualdad de condiciones de medida aconseja limitar su uso a los casos en los que, inicialmente, el GC se sitúe más próximo a la sonda, o a aquellos que hayan incorporado menos actividad de radiofármaco. También se recomienda que dicha actividad administrada no supere una cierta cantidad, ya que la sensibilidad de las sondas se ve afectada a tasas elevadas de recuento, debido al tiempo muerto del sistema.

Desde el punto de vista del éxito en el procedimiento de localización del GC, es importante que el funcionamiento de las sondas intraoperatorias empleadas sea correcto y que posean las características apropiadas para tal fin. En el RD 1841/1997, por el que se establecen los criterios de calidad en medicina nuclear, no se hace referencia explícita a este tipo de equipamiento ni al tipo de pruebas a realizar para garantizar su calidad. Por tanto en cada servicio se debe establecer qué parámetros se han de controlar y el procedimiento a seguir. En la bibliografía se pueden encontrar diversos procedimientos para la caracterización de las sondas intraoperatorias, como el presentado en el trabajo de Modolell y Puchal¹, o la normativa UN 3-2004 de la asociación americana de fabricantes de electrotecnia (NEMA)⁸, que pueden ayudar a tal fin.

Las pruebas realizadas en este trabajo son sencillas y emplean recursos disponibles en todo servicio de medicina nuclear. Debido a que no existen tolerancias en la legislación para estas pruebas, nuestros resultados pueden servir para ser comparados con los obtenidos en posteriores controles de calidad realizados periódicamente, y siempre que las condiciones de medida sean las mismas. De esta manera se establece un criterio para la detección de posibles variaciones en el tiempo de parámetros tan importantes como las características de direccionalidad de la sonda y la sensibilidad de recuento.

Bibliografía

1. Modolell I, Puchal R. Caracterización y controles periódicos de sondas intraoperatorias. *Rev Fis Med* 2002;3:26-34.
2. Yu SK, Ma KM, Wong KN, Leung J, Leung LC. Intraoperative gamma probe for sentinel node localisation: evaluation study. *J HK Coll Radiol* 2005;8:40-8.
3. Wydra D, Matuszewski R, Romanowicz G, Bandurski T. Evaluation of surgical gamma probes for centinela node localisation in cervical and vulva cancer. *Nucl Med Rev Cent East Eur* 2005;8:105-10.
4. United States Surgical Corporation. Navigator GPS system. Operating and service manual. United States Surgical Corporation 2000.
5. Muñoz M, Granero D, Martí J, Ródenas J, Mateo A. Estudio de la discriminación angular de la sonda para ganglio centinela Navigator GPS. Congreso conjunto SEFM XVII-SEPR XII; 2009 Jun 2-5; Alicante, España.
6. Uren RF, Howman-Giles RB, Thompson JF, Malouf D, Ramsey-Stewart G, Niesche FW et al. Mammary lymphoscintigraphy in breast cancer. *J Nucl Med* 1995;36:1775-80.
7. Peñafiel Maldonado, Araya González TM, Hepp de los Ríos R, Solé Barja C. Localización de la cadena mamaria interna para el tratamiento de cancer mamario con radioterapia. *Alasbimn Journal* 1999;1:AJ03-4.
8. National Electrical Manufacturers Association (NEMA). NEMA NU3: Performance measurements and quality control guidelines for non-imaging interoperative gamma probes. Rosslyn (VA): NEMA;2004.