

PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA UNIFORMIDAD INTRÍNSECA DE CÁMARAS GAMMA

Oviedo, J.¹, Díaz, G.¹, García, M.¹ y Coca, M.²

¹ Magíster en Física Médica, Dpto. de Ciencias Físicas, Univ. de La Frontera, Temuco, Chile
² Medscan, Concepción, Chile

RESUMEN

La uniformidad intrínseca es el parámetro que caracteriza la variabilidad en la densidad de cuentas observada a través del detector cuando éste se somete a un flujo de radiación uniforme sin la influencia del colimador. La evaluación de la uniformidad intrínseca es una prueba de aceptación y de control de calidad que se realiza rutinariamente en las cámaras gamma; para ello se han establecido protocolos por la NEMA (National Electrical Manufacturer's Association), la AAPM (Asociación Americana de Físicos en Medicina), IAEA HUMAN HEALTH SERIES 6 y otras asociaciones internacionales. El propósito de este trabajo fue estudiar la tasa de conteo óptima y estimación del tiempo muerto para la cámara gamma GE Starcam 4000i XR/T y algunos parámetros que influyen en la uniformidad intrínseca, tales como: tamaño de la matriz, la variación de las ventanas del analizador de altura de pulsos y número de cuentas colectadas en la imagen. Para el análisis de los datos en las pruebas anteriores en la cámara gamma GE Starcam 4000i XR/T de la Unidad de Medicina Nuclear del Hospital Dr. Hernán Henríquez Aravena, en la ciudad de Temuco, Chile, se elaboró un programa en Matlab 7.11.0.584 R2010b, denominado UNIFGAM-UFRO y a partir de los resultados obtenidos se propone una metodología para llevar a cabo esta prueba de forma óptima.

1. INTRODUCCIÓN

La uniformidad intrínseca es la respuesta del sistema sin colimador a un flujo uniforme de radiación de una fuente puntual (National Electrical Manufacturers Association, 2001) (National Electrical Manufacturers Association, 2007) [7,8] y permite detectar cambios en el desempeño del equipo que afectan el análisis de los estudios clínicos. La evaluación de la uniformidad intrínseca se realiza calculando la uniformidad integral (UI) y la uniformidad diferencial (UD); la UI evalúa la uniformidad en toda la imagen y la UD determina las variaciones de ésta localmente, además la UI y UD deben ser evaluadas en los campos de visión útil (CDVU), que se corresponde con el 95% del área del cristal, y central (CDVC), que se corresponde con el 75% del CDVU. La prueba se realiza empleando una fuente puntual de ^{99m}Tc ubicada a una distancia de 5 veces el campo de visión útil del cristal; la actividad de la fuente varía según el protocolo utilizado, por ejemplo, la (American Association of Physicists in Medicine, 1980) [1] recomienda que este valor sea de 100 μ Ci y la (IAEA, 2009) [6] plantea que puede estar entre 300 y 500 μ Ci; en el caso de la norma NEMA no se especifica la actividad. Las tolerancias definidas para esta prueba dependen de las especificaciones del fabricante y en el caso que la UI y UD sean mayores al valor recomendado por el fabricante se deben tomar medidas correctivas (IAEA, 2009) [6]. Algunos autores han propuesto valores de tolerancia estándar como (Cherry, Sorenson, & Phelps, 2012) [3]

¹ E-mail del Autor. ojohn4@gmail.com

que plantean que la UI debe estar entre el 2% al 4% (para CDVU y CDVC), (Prekeges, 2012) [9] sugiere un valor menor o igual al 5% tanto para la UI y UD, así también lo hace (Frans, Bruni, & Zaret, 2007) [5] y autores como (Saha, 2012) [10] indican un rango entre el 1% y 2% para ambos parámetros.

En este trabajo se estudia el impacto sobre la UI y UD que tienen parámetros como el tamaño de la matriz y la actividad de la fuente; además, se establecen los parámetros óptimos para la realización de dicha prueba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La cámara gamma utilizada para llevar a cabo este estudio fue la GE Starcam 4000i XR/T del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Regional Hernán Henríquez Aravena (HHHA). Para realizar la prueba de uniformidad intrínseca se retiró el colimador de la cámara gamma y se posicionó la fuente puntual de ^{99m}Tc alineada con respecto al centro de la misma a una distancia de 5 veces el campo de visión útil (CDVU). La ventana de energía empleada fue del 20% alrededor de 140 keV, como lo recomienda el protocolo de la (American Association of Physicists in Medicine, 1980) [1]; los protocolos (IAEA, 2009) [6], (National Electrical Manufacturers Association, 2001) y (National Electrical Manufacturers Association, 2007) [7,8] sugieren emplear la ventana entregada por el fabricante. Debido a que en la unidad de Medicina Nuclear del (HHHA) la mayoría de los estudios estáticos se realizan con una matriz de 256 x 256 y en el protocolo IAEA (2009) [6] se propone tamaños de matriz de 128 x 128 y 64 x 64, así como también en NEMA se sugiere este último, se eligieron estos tamaños de matrices para almacenar las imágenes. En este trabajo se estudió la tasa de conteo óptima y estimación del tiempo muerto para la cámara gamma GE Starcam 4000i XR/T y la influencia que tienen parámetros tales como el tamaño de la matriz, la variación de las ventanas del analizador de altura de pulsos y el número de cuentas colectadas en la imagen en la uniformidad intrínseca, tanto integral como diferencial; la evaluación de las uniformidades diferencial e integral se realizó sobre el (CDVU) y el (CDVC), según las normas NEMA [7,8]. Para la determinación de la tasa de conteo óptima se tomaron actividades en un rango de 520 μCi hasta 7,75 mCi, con una matriz de 256 x 256 y de 454,5 μCi hasta 16,45 mCi para una matriz de 64 x 64. La actividad de la fuente se midió utilizando un activímetro (FLUKE Modelo Mark IV); el tiempo muerto fue estimado a partir de la máxima tasa de conteo observada para cada una de las matrices utilizadas. En el estudio del efecto del tamaño de la matriz en la uniformidad intrínseca se utilizó una actividad fija de 462 μCi y se fue variando el tamaño de la matriz en cada adquisición. En la variación de las ventanas del analizador de altura de pulsos se realizaron tres adquisiciones con la matriz de corrección activado, la primera empleando una actividad de 454 μCi y las dos siguientes con una actividad de 418 μCi ; se utilizó una matriz de 64 x 64, con 30×10^6 cuentas colectadas en la imagen, con una tasa de conteo inferior a las 20000 cps. Para el parámetro de cuentas colectadas en la imagen se trabajó con una actividad fija de 2,2 mCi, una matriz de 256 x 256 y el número de cuentas adquiridas fue de 5, 10, 15, 20, 30, 60 y 120 millones de cuentas. Debido a que el software del equipo realizaba un re-escalamiento a todas las matrices a un tamaño de 64 x 64 y no brindaba los valores de uniformidad diferencial e integral para la imagen original, se optó por elaborar un programa en Matlab 7.11.0.584 R2010b para el análisis de los datos denominado UNIFGAM-UFRO. Este programa trabaja empleando un área octogonal de acuerdo a la geometría del campo de visión del equipo con las regiones preestablecidas para el CDVU y CDVC, es decir, tomando el 95% de la cara expuesta de la cámara para el CDVU y para el CDVC el 75% del CDVU, tal como indica la referencia [9] y

con el filtro de nueve puntos de acuerdo a la referencia [7,8]; con base en estas zonas el programa realiza el cálculo de las uniformidades integral y diferencial, tanto para las matrices adquiridas originalmente como reescalando las matrices a 64 x 64, además de señalar en la imagen las zonas correspondientes en donde fue efectuado el cálculo de estos dos parámetros. La validación del programa se realizó comparando los resultados obtenidos de las matrices reescaladas con dos software profesionales MEDISO NEMA TEST (MEDISO, Hungría) y OASIS v1.9.4.2 (SEGAMI Corp., EEUU), además del que tiene el equipo (IM512P). Una vez efectuada la validación se procedió a realizar los cálculos con el programa elaborado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Validación del programa

Con el objetivo de validar el programa elaborado UNIGAM-UFRO se llevó a cabo una comparación entre los resultados de la uniformidad integral y diferencial para los campos de visión útil y central, en tres imágenes adquiridas con matrices de 64 x 64, 128 x 128 y 256 x 256, estas dos últimas reescaladas a una matriz de 64 x 64 con el propósito de garantizar 10.000 cuentas en el pixel central. Estos valores se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de la UI y UD entre los programas UNIGAM-UFRO y MEDISO, OASIS, IM512P.

UNIFORMIDAD (%)	UNIFGAM-UFRO	MEDISO	OASIS	IM512P
Matriz de 64 x 64				
Uniformidad Integral CDVU	2,83	2,80	3,03	-
Uniformidad Diferencial CDVU	1,57	1,60	1,77	-
Uniformidad Integral CDVC	2,40	2,40	2,79	2,80
Uniformidad Diferencial CDVC	1,57	1,60	1,57	1,60
Matriz de 128 x 128 (Reescalamiento a 64 x 64)				
Uniformidad Integral CDVU	4,15	4,20	4,35	-
Uniformidad Diferencial CDVU	2,72	2,70	2,72	-
Uniformidad Integral CDVC	3,14	3,10	3,55	3,10
Uniformidad Diferencial CDVC	1,49	1,50	2,09	1,90
Matriz de 256 x 256 (Reescalamiento a 64 x 64)				
Uniformidad Integral CDVU	4,69	4,70	4,94	-
Uniformidad Diferencial CDVU	3,49	3,50	3,49	-
Uniformidad Integral CDVC	2,84	2,80	2,99	2,80
Uniformidad Diferencial CDVC	1,61	1,60	2,04	1,80

Al comparar los valores de la UI y UD obtenidos con los programas UNIGAM-UFRO y MEDISO se aprecia que las diferencias porcentuales entre ellos son menores al 2%.

Al comparar los valores correspondientes a las matrices reescaladas con los obtenidos con el programa OASIS se observa que la uniformidad integral y diferencial para el CDVU presentan una diferencia porcentual igual o menor al 5%, esto puede deberse a que el software OASIS emplea para el cálculo de la uniformidad un área rectangular tanto para el

CDVU y el CDVC y además para definir el CDVU aplica las dos condiciones para la eliminación de bordes especificadas en la norma NEMA [7,8], lo cual reduce la diferencia en el CDVU respecto a la máscara con la cual trabaja el software realizado en esta zona, pero la diferencia porcentual se hace notable en el caso del CDVC, alcanzando un valor máximo de 29 % respecto a la UD en la imagen de la matriz de 128 x 128 ya que, de acuerdo a NEMA [7,8] para esta zona sólo se busca asegurar que los pixeles correspondientes a la misma sean incluidos si tienen al menos el 50% dentro de ella y no se presenta eliminación de pixeles como en el caso del CDVU, por lo cual se justifican valores altos en relación con la región de interés (ROI) octogonal que emplea nuestro programa.

Finalmente, comparando los resultados del programa UNIFGAM-UFRO con los del IM512P, la diferencia porcentual en el CDVC para las matrices reescaladas en lo que respecta a la UI es menor al 1,5% pero en el caso de la UD la diferencia porcentual alcanza valores hasta del 22 %, debido a las diferencias existentes con respecto a la elección de la región de interés. La UD evalúa variaciones locales en la imagen adquirida y puede ocurrir que los pixeles que marquen la diferencia no se encuentren dentro de la zona octogonal con la cual se trabaja en nuestro caso.

3.2. Tasa de conteo óptima y tiempo muerto

El estudio del efecto de la tasa de conteo en función de la actividad de la fuente fue realizado con las matrices de 64 x 64 (Figura 1) y de 256 x 256 (Figura 2); en estas Figuras se puede observar que para valores menores a 30000 cps la variación de la tasa de conteo es directamente proporcional a la actividad y por lo tanto no hay pérdidas por tiempo muerto. Para la cámara gamma GE Starcam 4000i XR/T se encuentra que la tasa máxima de conteo es igual a 30000 cps, tal como se especifica en el protocolo del IAEA (2009) [6]. Los protocolos de la (National Electrical Manufacturers Association, 2007) [8] y la (American Association of Physicists in Medicine, 1980) [1] proponen valores menores a 20000 y 10000 cps respectivamente, que para nuestro caso implicaría un mayor tiempo de adquisición de la imagen. Al comparar las Figuras 1 y 2 se aprecia que la tasa de conteo es independiente del tamaño de la matriz escogido.

La estimación del tiempo muerto se realizó a partir de la tasa de conteo máxima obtenida, tal como lo propone (Cherry et al., 2012)[3]; para esta cámara gamma el tiempo muerto fue de 2,42 μ s.

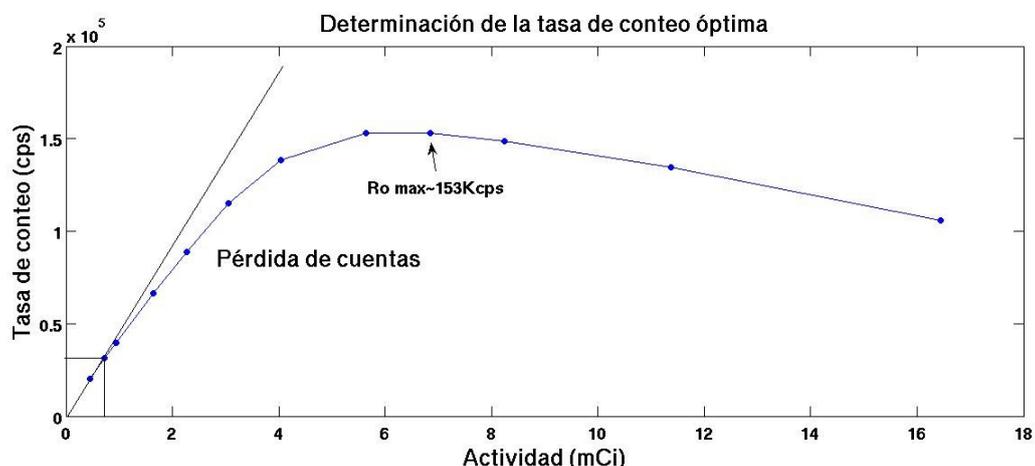


Figura 1. Tasa de conteo en función de la actividad de la fuente para matriz de 64 x 64.

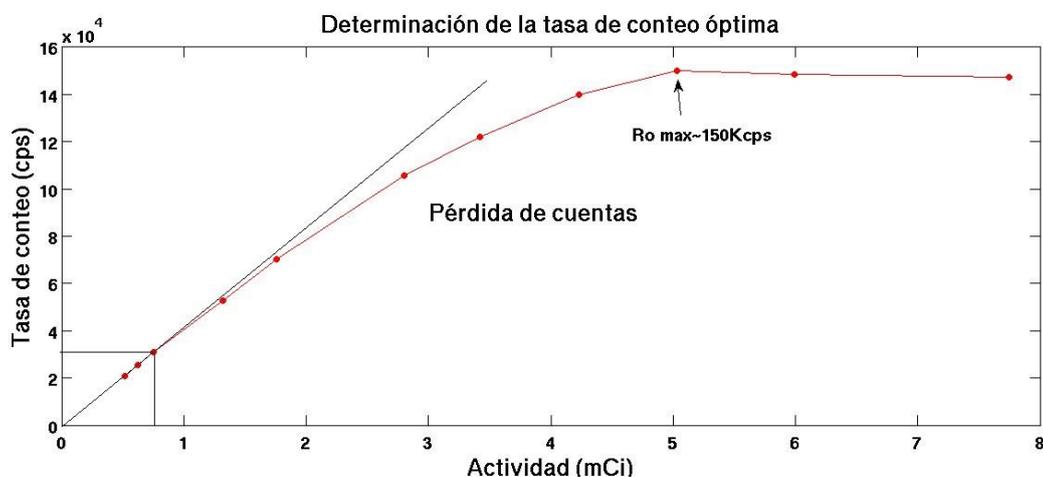


Figura 2. Tasa de conteo en función de la actividad de la fuente para matriz de 256 x 256.

3.3. Influencia del tamaño de la matriz en la evaluación de la uniformidad intrínseca.

En las Tablas 2 y 3 se presentan los resultados obtenidos de la uniformidad diferencial e integral en el CDVU y en el CDVC, variando la matriz de adquisición de la imagen y manteniendo constantes las condiciones experimentales, tal como se indicó en Materiales y Métodos.

Tabla 2. UI y UD para las matrices estudiadas reescaladas a la matriz de 64 x 64.

UNIFORMIDAD (%)	Matriz de 64 x 64	Matriz de 128 x 128 (reescalada)	Matriz de 256 x 256 (reescalada)
Uniformidad Integral CDVU	4,09	4,15	3,82
Uniformidad Diferencial CDVU	2,52	2,72	2,71
Uniformidad Integral CDVC	2,84	3,14	2,59
Uniformidad Diferencial CDVC	1,58	1,49	1,53

De la Tabla 2 se puede determinar que las diferencias porcentuales de los valores de la uniformidad son menores al 10 % en todos los casos, lo cual no es una variación significativa

en la uniformidad debido a que cuando se reescalan las matrices se garantizan las 10000 cuentas en el píxel central, tal como lo indica la norma NEMA.

Tabla 3. UI y UD para las tres matrices estudiadas sin reescalar.

UNIFORMIDAD (%)	Matriz de 64 x 64	Matriz de 128 x 128	Matriz de 256 x 256
Uniformidad Integral CDVU	4,09	18,83	9,30
Uniformidad Diferencial CDVU	2,52	15,16	6,79
Uniformidad Integral CDVC	2,84	4,63	7,88
Uniformidad Diferencial CDVC	1,58	2,62	6,79
No. de cuentas en el píxel central	10189	2514	629

Respecto a los valores presentados en la Tabla 3, se aprecia que a medida que aumenta el tamaño de la matriz se incrementan las no uniformidades en el CDVC. Tanto la uniformidad integral como la diferencial se degradan menos cuando se garantiza un valor igual o superior a 10000 cuentas en el píxel central, lo cual concuerda con lo que sugieren las referencias [7,8]. Por tanto, un tamaño de matriz menor asegura efectivamente un mínimo de 10000 cuentas en el píxel central y, por ende, se obtienen mejores resultados al evaluar la prueba.

3.4. Influencia de la variación de las ventanas del analizador de altura de pulsos en la evaluación de la uniformidad intrínseca.

Tabla 4. UI y UD variando la ventana del analizador de altura de pulsos.

UNIFORMIDAD (%)	Matriz de 64 x 64		
	Ventana Simétrica (%)		
	20	14	10
Uniformidad Integral CDVU	4,30	6,16	7,85
Uniformidad Diferencial CDVU	3,19	4,72	6,04
Uniformidad Integral CDVC	3,01	2,53	2,87
Uniformidad Diferencial CDVC	1,58	1,67	1,95

De la Tabla 4 se puede observar que el valor de la uniformidad se incrementa cuando se disminuye el ancho de la ventana del analizador de altura de pulsos, lo cual es coherente con los casos expuestos en la referencia (Busemann-Sokole, 2003) [2], donde además se sugiere la utilización de la ventana de 15% en la adquisición de imágenes clínicas para evitar pérdida

de contraste por dispersión [2]. Además, en la referencia [1] se propone la utilización de ventanas de 15% ó 20%.

3.3.3 Influencia del número de cuentas colectadas en la imagen en la evaluación de la uniformidad intrínseca.

Tabla 5. UI y UD variando el número de cuentas colectadas en la imagen.

	Matriz de 256 x 256 reescalada a 64 x 64						
Número de cuentas colectadas	5×10^6	10^7	$1,5 \times 10^7$	2×10^7	3×10^7	6×10^7	12×10^7
Uniformidad Integral CDVU (%)	5,56	5,08	4,44	5,15	5,11	4,98	4,44
Uniformidad Diferencial CDVU (%)	3,50	3,28	2,76	2,82	3,05	3,01	2,60
Uniformidad Integral CDVC (%)	3,65	3,01	2,89	2,99	2,83	2,30	2,22
Uniformidad Diferencial CDVC (%)	2,92	2,30	1,66	1,92	1,58	1,46	1,26

Observando los valores presentados en la Tabla anterior se puede concluir que para un número de cuentas totales recolectadas en la imagen mayor que 2×10^7 la uniformidad menores variaciones para los dos campos de visión, lo cual corresponde a una mejor estadística de la imagen adquirida. Por otra parte, los valores de uniformidad en el CDVC que se obtienen reescalando las matrices se encuentran dentro de las tolerancias sugeridas por el fabricante para la GE Starcam 4000i XR/T, los cuales son menores al 8% para la UI y al 5% para la UD de acuerdo a la referencia [4].

Tabla 6. UI y UD variando el número de cuentas colectadas sin reescalar.

	Matriz de 256 x 256						
Número de cuentas colectadas	5×10^6	10^7	$1,5 \times 10^7$	2×10^7	3×10^7	6×10^7	12×10^7
Uniformidad Integral CDVU (%)	18,56	12,57	11,12	11,16	9,63	8,50	8,67
Uniformidad Diferencial CDVU (%)	16,90	9,39	7,68	6,94	5,57	5,24	5,56
Uniformidad Integral CDVC (%)	14,09	10,83	9,28	9,44	8,63	6,47	6,47
Uniformidad Diferencial CDVC (%)	11,12	8,76	7,40	6,35	5,57	4,58	5,56

De la Tabla 6 se observa que la uniformidad, tanto integral como diferencial, mejora a medida que se incrementa el número de cuentas adquiridas en la imagen debido a la disminución de las fluctuaciones estadísticas. Cabe anotar que para lograr incertidumbres en el orden del 1%, o lo que es lo mismo 10000 cuentas en el pixel central para una matriz de 256x256 a una tasa de conteos de 30000 cps implicaría alrededor de 6h o más, con estos tiempos empieza a influir también el período de semi-desintegración del ^{99m}Tc que es de 6h, lo que harían mediciones muy extensas y por lo tanto no factibles de realizar en un servicio de Medicina

Nuclear. Es por ello que protocolos como (IAEA, 2009)[6] sugieren realizar las pruebas de uniformidad intrínseca emplear un tamaño de matriz de 64x64 para cámaras gamma con CDVU menores o igual a 400mm y para mayores matrices de 128x128, con 30000 cuentas como condición de parada.

3. CONCLUSIONES

Para las tres imágenes analizadas se observa que el programa elaborado UNIFGAM-UFRO presenta una mayor similitud con el programa MEDISO.

La tasa de conteo óptima en la cual se garantiza que no hay pérdidas de cuentas por tiempo muerto es menor a 30000 cps.

El tamaño de la matriz es importante a la hora de evaluar la prueba de la uniformidad intrínseca, ya que un menor tamaño de matriz asegura incertidumbres menores al 1% con menor cuentas totales, que es uno de los requisitos principales enunciados en las referencias consultadas [5, 6 y 7].

La disminución del ancho de las ventanas en el analizador de altura de pulsos ocasiona la degradación de la uniformidad intrínseca.

Un mayor número de cuentas adquiridas en la imagen permite reducir las fluctuaciones estadísticas y mejorar el valor de la uniformidad.

De todos los parámetros analizados (Tablas 2, 4 y 5) se puede concluir que, tanto en las matrices de 64 x 64 como en las reescaladas a este tamaño, los valores para la uniformidad integral y diferencial están dentro de la tolerancia propuesta por el fabricante, menor al 8% para la uniformidad integral y menor al 5% para la uniformidad diferencial, según la referencia [4].

4. REFERENCIAS

- 1.American Association of Physicists in Medicine, A. (1980). Scintillation camera acceptance testing and performance evaluation. *AAPM, Chicago*.
- 2.Busemann-Sokole, E. (2003). *IAEA quality control atlas for scintillation camera systems*: International Atomic Energy Agency.
- 3.Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). *Physics in nuclear medicine*: Elsevier Health Sciences.
- 4.ELECTRIC, G. (1992). *Operators Manual Star i Series*.
- 5.Frans, J., Bruni, W., & Zaret, B. (2007). *Nuclear Cardiology, The Basics: How to Set Up and Maintain a Laboratory*: Springer Science & Business Media.
- 6.IAEA. (2009). Quality Assurance for SPECT Systems *HUMAN HEALTH SERIES*.
- 7.NEMA Standards Publication NU 1-2001:Performance measurements of scintillation cameras (2001).

8. NEMA Standards Publication NU 1-2007: Performance measurements of gamma cameras (2007).
9. Prekeges, J. (2012). *Nuclear Medicine Instrumentation*: Jones & Bartlett Learning.
10. Saha, G. B. (2012). *Physics and radiobiology of nuclear medicine*: Springer Science & Business Media.