原 著

4 機種ガンマカメラにおける甲状腺摂取率の誤差

吉田 愛・齋藤京子・遠藤吉宗・森 一晃
関みさよ・竹部英紀論文受付
2003年7月14日論文受理
2003年11月21日Code Nos. 523
922

国家公務員共済組合連合会虎の門病院放射線部

はじめに

放射性同位素を用いた甲状腺検査は1930年代から行われ、甲状腺摂取率あるいは甲状腺シンチグラフィとして診断や治療効果判定^{1, 2)}に用いられている。現在、その甲状腺摂取率測定はガンマカメラを用いる方法が一般的に行われ、ガンマカメラに適したガンマ線エネルギーを有する¹²³Iヨウ化ナトリウムカプセルが広く利用されている。一方で¹³¹Iを用いた甲状腺摂取率や有効半減期測定は、甲状腺機能亢進症の¹³¹I治療

の投与量を決定するための検査として臨床に貢献している。

甲状腺摂取率を求めるアプリケーションの内容はそれぞれのガンマカメラシステムに搭載されているが、必ずしも同一とは限らず、甲状腺摂取率値の誤差要因となり得る。また、コリメータの違いによる摂取率の変動も明らかではない。これらの問題を明らかにするため、甲状腺摂取率用の独自の甲状腺ファントムを考案し、このファントムによる摂取率の誤差要因および

Thyroid Uptake Error in Four Different Gamma Camera Systems

AI YOSHIDA, KYOKO SAITO, YOSHIMUNE ENDO, KAZUAKI MORI, MISAYO SEKI,
and HIDENORI TAKEBE

Department of Radiology, Toranomon Hospital

Received July 14, 2003; Revision accepted Nov. 21, 2003; Code Nos. 523, 922

Summary

The thyroid uptake of ¹²³I and ¹³¹I is generally measured by a gamma camera system. We evaluated the error in determining thyroid uptake caused by different methods of calculation among four gamma camera systems with various collimators. We first designed an original thyroid phantom that consisted of the thyroid and a body containing various levels of radioiodine activity. The applications for thyroid uptake equipped in two gamma camera systems performed calculations by the automatic method with background counts not subtracted from the capsule counts. When the size of the rectangular region of interest (ROI) for the capsule was set at 10×8 cm (a typical ROI size for the thyroid), percentages of thyroid uptake as calculated by the manual method with background counts subtracted from the capsule counts and thyroid counts were 52% to 57% when the value was set at 55% for ¹²³I; and 54.2% and 58.7%, respectively, when the value was set at 60% for ¹³¹I. On the other hand, the percentages of thyroid uptake calculated by the automatic method with the application using two gamma camera systems with non-subtraction of background counts from the capsule counts were 46% and 50.5% when the value was set at 55%; and 49.6% when the value was set at 60%. The values calculated by the automatic method were underestimated as a result of background counts that were not subtracted from the capsule counts. When ROI size for the capsule was set at 4×4 cm, which is slightly larger than the capsule size, even thyroid uptake as determined by the automatic method using the application showed a difference of less 2% from the set values. There was no difference in thyroid uptake among the various kinds of collimators, high-resolution collimators, all-purpose collimators, and a suitable collimator for gamma-ray energy of ¹²³I.

Key words: Thyroid uptake, ¹²³I, ¹³¹I, Gamma camera, Region of interest (ROI)

別刷資料請求先: 〒105-8470 東京都港区虎ノ門2丁目2番2号
国家公務員共済組合連合会 虎の門病院 放射線部 吉田 愛 宛

安定した摂取率値を求めるための工夫を多機種ガンマカメラで検討した。

1. 方法

1-1 甲状腺模擬ファントム作成

人体を模擬した甲状腺ファントムを作成した。頸部・体部には横、縦、深さがそれぞれ13×19.5×6cm, 28×37×10cmの家庭用タッパと家庭用バットを使用した。上述した外部容器の中に、胃に相当する部分にはペットボトル(330ml), 唾液腺部には2.5mlシリンジ, 甲状腺部には15mlのバイアルを使用した。胃内部には標準線源の4%となる溶液330ml(0.00045MBq/ml), 唾液腺部には標準線源の0.1%となる溶液0.5ml(0.0074MBq/ml)をそれぞれ封入した。甲状腺部には, ^{123}I については甲状腺全体で7%(0.019MBq/ml)と55%(0.15MBq/ml)となる溶液を, ^{131}I については30%(0.079MBq/ml)と60%(0.16MBq/ml)となる溶液を7mlずつ二つのバイアルに封入した(Fig. 1)。この7%, 55%および30%, 60%を摂取率の設定値とした。頸部・体部にはバックグラウンド(BG)として標準線源の1%(2.4×10^{-5} MBq/ml)の溶液を満たした。これら唾液腺, 胃, 頸部・体部放射能は, カプセル投与後3時間の患者3名のそれぞれの部位のカウントと甲状腺カウント比およびカプセル放射能と摂取率から平均を求め, 設定した。

1-2 ファントムの測定

使用したガンマカメラシステムは, 装置1: SNC-5100R, 装置2: Starcam4000XC/T, 装置3: E.CAM/ICON, 装置4: GCA-9300A/UIである。コリメータは, ^{123}I については低エネルギー高分解能型コリメータ(LEHR)と低エネルギー汎用型コリメータ(LEAP)を使用し, E.CAM/ICONについてのみ ^{123}I 対応型コリメータも使用した。 ^{131}I については, 高エネルギー汎用型コリメータ(HE)を用いて, 装置1と装置3で測定を行った。使用した装置名とコリメータの一覧をTable 1に示した。

^{123}I については, エネルギーウインドウ160keV $\pm$ 10%, 収集時間は標準線源1分, ファントム10分, マトリクスサイズ256×256とした。 ^{131}I についてはエネルギーウインドウ364keV $\pm$ 7.5%, 収集時間は標準線源3分, ファントム10分, マトリクスサイズ128×128とした。視野サイズは, 装置1は19cm(1.48mm/pixel, 2.7倍拡大), 装置2は19cm(1.48mm/pixel, 2.0倍拡大), 装置3は16.6cm(1.30mm/pixel, 2.29倍拡大), 装置4は16.8cm(1.31mm/pixel, 1.25倍拡大)とし, ほぼ一定となるようにプラナー収集を行った。標準線源として ^{123}I , ^{131}I ともに3.7MBqのカプセルを用い, ORINS型

Fig. 1 An original thyroid phantom consisting of the thyroid and body containing various levels of radioiodine activity. Domestic articles (taper and tub) measuring 13×19.5×6 cm and 28×37×10 cm and a 330 ml bottle were used as the outer container and a stomach, respectively. The thyroid part had two vials filled with a 7 ml solution of ^{123}I or ^{131}I .

頸部ファントムを用いて測定した。また, ファントム全体の撮像は, ^{123}I を用い甲状腺摂取率の設定値を7%とした場合に, 160keV $\pm$ 10%, マトリクスサイズ256×256, 5分にて収集した。

1-3 関心領域の設定方法

摂取率算出の際の甲状腺ファントムを囲む関心領域(ROI)は, 甲状腺部分に約10×8cmの矩形ROIを設定し, その下に体BGとして約10×2cmの矩形ROIを設定した(Fig. 2-L)。甲状腺模擬ファントムについてはこのROIの設定を一定とした。

標準線源には2通りのROI設定を行った。すなわち, 標準線源に甲状腺模擬ファントムと同一サイズのROIを設定したものをROI-LARGEとし(Fig. 2-M), 標準線源に約4×4cmの矩形ROI, BGとして視野の右上に約2×2cmの矩形ROIを設定したものをROI-SMALLとした(Fig. 2-R)。

1-4 甲状腺摂取率の計算方法

装置搭載のアプリケーションをそのまま使用し自動的に摂取率を算出する方法をA法とした。

それぞれのROI内カウントを求め, 手計算により標準線源カウントからBG補正を行う以下の式を用いて摂取率を算出する方法をB法とした。

$$\text{甲状腺摂取率}(\%) = (T - B2) \times 100 / (S - B1)$$

S: 標準線源総カウント B1: 標準線源ROIサイ

Table 1 Gamma camera system and collimators.
 LEHR: Low Energy High Resolution Collimator.
 LEAP: Low Energy All Purpose Collimator.
 Suitable for I-123: a suitable collimator for gamma-ray energy of ^{123}I .
 HE: High Energy All Purpose Collimator.

Gamma camera System	collimator			
	Isotope: ^{123}I			Isotope: ^{131}I
	LEHR	LEAP	Suitable for ^{123}I	HE
Device1 SNC-5100R	○	○	—	○
Device2 Starcam4000XC/T	○	○	—	—
Device3 E. CAM/ICON	○	○	○	○
Device4 GCA-9300A/UI	○	○	—	—

Fig. 2 Regions of interest (ROIs) for thyroid uptake rate.

ROIs for the thyroid and body background are 10×8 cm and 10×2 cm, respectively (shown in panel L). ROIs for the capsule and capsule background are 10×8 cm and 10×2 cm, respectively (shown in panel M). The method of setting ROIs is called ROI-LARGE. ROIs for the capsule and capsule background are 4×4 cm and 2×2 cm, respectively (shown in panel R). The method of setting ROIs is called ROI-SMALL.

ズに補正した標準線源バックグラウンドカウント

T: 甲状腺総カウント B2: 甲状腺ROIサイズに補正した甲状腺バックグラウンドカウント

標準線源のROIの設定がROI-LARGEの場合とROI-SMALLの場合とで、A法とB法を用いて甲状腺摂取率を算出した。A法とB法の比較は同一ROIを用いた。

2. 結果

ファントム全体のシンチグラムをFig. 3に示した。

摂取率測定用アプリケーションには標準線源カウントからそのBGを減算するものと、減算しないものがあった。装置1: SNC-5100Rと装置2: Starcam4000XC/TにはBGを減算する補正があり、装置3: E.CAM/ICONと装置4: GCA-9300A/UIにはその補正がなかった。

2-1 摂取率の比較

^{123}I 摂取率の結果をTable 2からTable 4に示した。摂取率の設定値を7%にした場合、標準線源を囲むROIをROI-LARGEに設定し、アプリケーションを用いるA法と手計算によるB法との差は、LEHRコリメータ使用で最大0.9%、LEAPコリメータ使用で最大0.7%であった(Table 2)。設定値を55%にした場合、LEHRコリメータを用いて標準線源にROI-LARGEを設定して、A法により算出した摂取率値は46.0%から56.0%と装置によりばらつきが認められた。B法ではそのばらつきは52.0%から56.1%と小さくなった。また、アプリケーションに標準線源のBG補正がない装置3と装置4では、A法により算出された値がB法による値よりそれぞれ8.2%と5.3%低く算出された(Table 3)。 ^{123}I 対応型およびLEAPコリメータを使用した場合でも同様の傾向の結果を得た。標準線源にROI-SMALLを

Fig. 3 Image of an original thyroid phantom.

Table 2 When ROIs for the capsule were set by ROI-LARGE, thyroid uptake rates (%) of ^{123}I were compared between method A (automatically calculated by the application of each gamma camera system) and method B (manually calculated by subtracting background counts from the capsule counts and thyroid counts). The thyroid uptake rate was set at 7%.

Collimator	LEHR				I-123	LEAP			
Device	1	2	3	4	3	1	2	3	4
A method	7.1	7.2	5.8	6.9	6.7	7.3	7.2	6.2	7.2
B method	7.2	7.2	6.7	7.5	7.1	7.3	7.2	6.9	7.4

Table 3 When ROIs for the capsule were set by ROI-LARGE, the thyroid uptake rates (%) of ^{123}I were compared between method A and method B. The thyroid uptake rate was set at 55%.

Collimator	LEHR				I-123	LEAP			
Device	1	2	3	4	3	1	2	3	4
A method	52.0	56.0	46.0	50.5	52.9	53.7	54.3	47.6	52.5
B method	52.0	56.1	54.2	55.8	57.0	53.6	54.5	56.0	56.3

Table 4 When ROIs for the capsule were set by ROI-SMALL, the thyroid uptake rates (%) of ^{123}I were compared between method A and method B. The thyroid uptake rate was set at 55%.

Collimator	LEHR				I-123	LEAP			
Device	1	2	3	4	3	1	2	3	4
A method	53.7	57.1	57.0	56.2	56.6	56.1	56.3	56.5	55.1
B method	53.8	57.2	56.8	56.2	56.4	56.0	56.5	56.1	57.1

設定した場合、A法でも装置によるばらつきはLEHRコリメータで53.7%から57.1%、LEAPコリメータで55.1%から56.5%と小さくなり、装置によらず55%という設定値にも近づいた(Table 4)。また、装置3と装置4のA法とB法の差、すなわち標準線源BG補正の有無による差はLEHRコリメータで0.2%と0%となり、前述したROI-LARGEの値と比べて小さくなった。 ^{123}I 対応型およびLEAPコリメータを使用した場合でも、設定値55%に近い値が得られており、コリメータの種類に関係なく安定した正確な摂取率値を得ることができた。

設定値が7%と低い場合は、ROI-LARGEにおいてもA法とB法の差は小さく、上述の設定値55%の結果からROI-SMALLにするとA法とB法の差は小さかったので、設定値7%のROI-SMALLの結果は省略した。

^{131}I を用いて標準線源にROI-LARGEを設定し、A法により摂取率を求めた場合、設定値30%では2装置ともに設定値よりも低く算出されたが、装置による値の差は2.6%と小さい結果を得た。一方、設定値60%では装置1と装置3の差が9.2%と大きく、装置3では

設定値よりも10.4%低く算出された。B法では54.2%と若干低めではあるが標準線源BGを補正することにより設定値に近い値を得た(Table 5)。標準線源にROI-SMALLを設定すると、A法でも装置間の差は2.3%と小さくなり、60%という設定値にも近づいた(Table 6)。

3. 考 察

今回考案した甲状腺模擬ファントムは、身近にある簡単な材料で作成でき、しかも甲状腺摂取率の値を任意に設定できることが最大の特徴である。放射性ヨウ素は甲状腺以外にも近傍の臓器として唾液腺、胃にも集積する。それらからの散乱線や ^{123}I の高エネルギーガンマ線529keVからのペネトレーションの影響^{3, 4)}が考えられたので、唾液腺と胃に相当する部位をファントムに組み込んだ。また、体BGの影響を検討する場合においてもわれわれが考案したファントムは、そのすべての臓器・組織に任意の放射能を設定することができるので、今後の甲状腺摂取率測定のためのさらなる検討を行ううえでも有用であると考えられる。

Table 5 When ROIs for the capsule were set by ROI-LARGE, the thyroid uptake rates (%) of ^{131}I were compared between method A and method B. The thyroid uptake rates were set at 30% and 60%.

Uptake rate	30%		60%	
Device	1	3	1	3
A method	25.7	23.1	58.8	49.6
B method	25.7	25.3	58.7	54.2

甲状腺摂取率測定用アプリケーションに組み込まれた摂取率計算式には、標準線源のBGを減算しない場合と減算する場合があり、装置により異なっていた。このことは大きな誤差要因となりうるので、われわれ技術者は、アプリケーション内容を熟知して使用する必要があると考える。

甲状腺機能亢進症のように摂取率が高い場合、標準線源のBGを減算しないガンマカメラシステムでは、標準線源ROIサイズを甲状腺ROIサイズのように大きくすると ^{123}I では55%が46%、 ^{131}I では60%が約50%と設定値よりも低く算出され、診断に影響を及ぼす可能性があった。また、甲状腺機能亢進症の ^{131}I 治療においては投与量の決定に17%の誤差を与える。標準線源BGを減算しないアプリケーションで摂取率が設定値より低く算出された理由は、標準線源ROI内に散乱線あるいはコリメータ隔壁を通過したガンマ線によるカウントが含まれ、摂取率計算式の分母が大きくなることによると考えられる。異なった摂取率計算式が組み込まれたアプリケーションでも、標準線源のROIサイズを標準線源よりもやや大きいサイズの4x4cmとし、BG用ROIを線源から離れた視野の端に設定することにより摂取率の装置間の変動と設定値との差を小さくすることができた。このことは、標準線源ROIサイズを小さくすることにより標準線源ROI内に含まれる散乱線あるいはコリメータ隔壁を通過したガンマ線によるカウントが小さくなり、摂取率計算式の分母が小さくなることによって結果的に摂取率が正確に算出されたためと考えられる。また、BG用ROIを小さく設定したことによって設定場所によるカウントの変動が大きくなることを防ぐためにカメラ視野の端にBG用ROIを設定した。このことも異なったアプリケーションによる摂取率の差を小さくし、設定値に近い値を得る結果となったと考える。標準線源ROIサイズと設定部位については摂取率設定値にほぼ近い値を得ていたので適切であると考えますが、最適なROIのサイズと形状、設定部位については今後さらに検討したい。また、甲状腺ROIの形状についても今後検討を加えたい。

Table 6 When ROIs for the capsule were set by ROI-SMALL, the thyroid uptake rates (%) of ^{131}I were compared between method A and method B. The thyroid uptake rates were set at 30% and 60%.

Uptake rate	30%		60%	
Device	1	3	1	3
A method	28.4	27.4	62.3	60.0
B method	28.4	27.7	62.2	60.5

^{123}I を用いた心縦隔比の検討ではコリメータの種類により35%の大きな誤差が報告⁵⁻⁷⁾されている。甲状腺摂取率の場合、コリメータ差による値のばらつきは標準線源からBGを減算するB法では標準線源ROIサイズの大小によらず5%以下であり、設定値との差は3%以下であった。甲状腺摂取率測定では体BG補正が行われ、しかも、正常値が11~40%の範囲であることから、コリメータの種類による値のばらつきは臨床問題にならないと思われる。

堀井ら⁸⁾は、LEHRコリメータを使用し標準線源カウントを画面全体とした場合の摂取率(y)と基準摂取率であるピンホールコリメータによる値(x)との関係は3時間値で $y=0.553x-1.06$ とLEHRコリメータによる値の有意な過小評価を報告している。このコリメータによる値の差を収集メインウインドウの高エネルギー側にサブウインドウを設け、このカウントに一定の係数を乗じた値をメインウインドウカウントから減算する方法が検討されている。その補正後の摂取率を回帰直線から求めると、基準摂取率を55%と仮定するとLEHRコリメータで約48%、低中エネルギー用高分解能型コリメータ(LMEHR)で約61%であり、基準摂取率55%との差が-7%と+6%となり、われわれのROI-SMALL法の3%と比べ誤差が大きい結果となっている。

アプリケーションの内容を把握し、その内容を検証し、誤差の少ない安定した検査を臨床に提供することは検査の信頼性を考えるうえで重要であると考え。さらに、装置故障時や更新時のバックアップ用にもファントムを用いた摂取率の検証は重要であると考えた。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ を使用した摂取率測定も行われており、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ での評価も必要と考えられるので、今後の課題とした。

4. 結 語

(1) 考案した甲状腺模擬ファントムは、身近にある簡単な材料で作成でき、しかも甲状腺摂取率の値を任意に設定できるため甲状腺摂取率測定の検討に

有用であった。

- (2) 標準線源カウント算出の際に標準線源からバックグラウンドを減算して算出した摂取率の設定値との差は、装置に依存せず小さかった。
- (3) 4 機種ガンマカメラシステムのうち、E.CAM/ICONとGCA-9300A/UIは、標準線源カウントからバックグラウンドカウントを減算しないアプリケーションを有していた。これらの機種では標準線源ROIサイズが甲状腺ROIのように10×8cmと大きい場合は、 ^{123}I および ^{131}I を用いた摂取率に大きな誤差を及ぼした。特に、摂取率が高い場合は、診断

に影響を及ぼす可能性が示唆された。

- (4) 標準線源にROIを設定する場合は、線源の大きさよりもやや大きい4×4cm程度が適切であり、装置に搭載されたアプリケーションによる摂取率の変動と設定値との誤差を小さくすることができた。
- (5) コリメータ種類の違いによる摂取率のばらつきは小さかった。

本研究の一部を第59回日本放射線技術学会総会にて発表した。

参考文献

- 1) 笠木寛治, 宮本信一, 竹内 亮, 他: 甲状腺シンチグラムの診断における役割. 映像情報(M), 25(2), 93-99, (1993).
- 2) Okamura K, Sato k, Ikenoue H, et al.: Reevaluation of the thyroidal radioactive iodine uptake test, with special reference to reversible primary hypothyroidism with elevated thyroid radioiodine uptake. J Clin Endocrinol Metab, 67(4), 720-726, (1988).
- 3) 本村信篤, 市原 隆, 高山卓三, 他: ^{123}I イメージングにおける高エネルギーガンマ線による散乱成分の除去法. 核医学, 36(9), 997-1005, (1999).
- 4) 小野寺晋志, 中村亜矢, 宮内博史, 他: 各機種間における ^{123}I 放出 γ 線に対するコリメータ性能比較. 日放技学誌, 56(9), 1138, (2000).
- 5) 志賀浩治, 井上 孝, 山本和人, 他: 縦隔ROI設定部位およびコリメータの種類によるMIBGの心筋縦隔取り込み比の変化. 映像情報(M), 9, 1120-1123, (1996).
- 6) 村山美保, 齋藤京子, 森 一晃: ^{123}I -MIBG心縦隔比算出におけるコリメータの影響. 核医学技術, 20(2), 89, (2000).
- 7) 齋藤京子, 森 一晃: 心筋, 脂肪酸, 交感神経機能SPECT撮像のテクニック, INNERVISION, 16(1), 51-54, (2001).
- 8) 堀井純清, 飛坂 実, 西田純一, 他: 低エネルギーコリメーターによるI-123甲状腺摂取率の測定について—TEW処理変法の検討—. 日本放射線技術学会 第56回総会学術大会 一般研究発表後抄録, 197, (2000).

図表の説明

Fig. 1 甲状腺模擬ファントム

甲状腺部に15mlのバイアルを使用し、 ^{123}I については甲状腺全体で7%と55%となる溶液を、 ^{131}I については30%と60%となる溶液を7mlずつ二つのバイアルに封入した。外部容器には家庭用タッパと家庭用バット、胃には330mlペットボトルを使用している。

Fig. 2 ROI設定方法

甲状腺部位に約10×8cmの矩形ROIを設定し、その下に体BGとして約10×2cmの矩形ROIを設定した(L)。標準線源には、甲状腺模擬ファントムと同一サイズのROIを設定した場合(M)と約4×4cmの矩形ROIを設定した場合(R)の2通りのROI設定を行った。

Fig. 3 甲状腺模擬ファントムのシンチグラム

Table 1 使用した装置名とコリメータの一覧

LEHR: 低エネルギー高分解能型コリメータ
LEAP: 低エネルギー汎用型コリメータ
Suitable for ^{123}I : ^{123}I 対応型コリメータ
HE: 高エネルギー汎用型コリメータ

Table 2 ^{123}I について摂取率を7%とした場合、標準線源にROI-LARGEを設定し、A法とB法を用いた摂取率(%)。

Table 3 ^{123}I について摂取率を55%とした場合、標準線源にROI-LARGEを設定し、A法とB法を用いた摂取率(%)。

Table 4 ^{123}I について摂取率を55%とした場合、標準線源にROI-SMALLを設定し、A法とB法を用いた摂取率(%)。

Table 5 ^{131}I について摂取率を30%と60%とした場合、標準線源にROI-LARGEを設定し、A法とB法を用いた摂取率(%)。

Table 6 ^{131}I について摂取率を30%と60%とした場合、標準線源にROI-SMALLを設定し、A法とB法を用いた摂取率(%)。