^{123}I による甲状腺摂取率測定とシンチグラフィ

三枝健二, 内山 暁, 川名正直, 国安芳夫

多田式江, 有水 昇, 笥 弘毅*

千葉大学医学部放射線医学教室 千葉市玄鼻 1—8—1

*帝京大学医学部放射線医学教室 東京都板橋区加賀 2—11—1

1975 年12月 4 日 受理

サイクロトロン生産 ^{123}I は半減期 13.3 時間, 主ガンマ線エネルギー 159keV で, かつ甲状腺への被曝線量が ^{131}I の数十分の 1 に軽減でき, 甲状腺検査薬剤として最適な核種と考えられる。この ^{123}I と ^{131}I の臨床的比較を試み, ^{123}I の有用性について検討した。甲状腺摂取率は ^{123}I と ^{131}I の同時投与測定例から, 両者の値がよく一致することを確認した。また, シンチグラムは, ^{123}I でわずかにバックグラウンドの高い症例もみられたが, はほとんど差はなかった。シンチグラムをとるまでの時間は, ^{123}I 放射能が24時間で3時間の約 $\frac{1}{2}$ に減衰することを考慮すると, 24時間よりむしろ3(〜6)時間のほうがよい結果が得られる。 ^{123}I は ^{131}I に代わって利用すべきアイソトープと考える。

1. 緒 言

甲状腺摂取率測定およびシンチグラフィに, 従来から ^{131}I が多用されているが, 被曝線量軽減の点から, これに代わる短半減期核種が使用される傾向にある。欧米では, すでに ^{123}I がルーチンに使用されているが^{1)~4)}, 最近, わが国でもサイクロトロンで ^{123}I が生産されるようになり, これが利用できるまでに至った。 ^{123}I は半減期13.3h, 主ガンマ線エネルギー159keV (83%)で, 甲状腺検査に最適な放射性核種と考えられる。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -過テクネチウム酸もヨウ素と同じく甲状腺に取り込まれるので, 甲状腺検査に利用されているが, 有機化されない点でヨウ素とは異なる。ヨウ素は総合した甲状腺機能をよく反映する点で, 過テクネチウム酸にまさり, ^{131}I に代わって ^{123}I を使用することは意味がある。

われわれは昭和48年12月, 理研サイクロトロンで造られた ^{123}I を第一ラジオアイソトープ研究所より入手し, 初めて臨床に応用して以来, 今日まで ^{123}I の供給を受けてきた。また, 昭和50年5月からは日本メジフィジックス社も, コンパクトサイクロトロンによる ^{123}I の試験的生産を開始し, これについても入手, 使用する機会を得たので, これら ^{123}I の甲状腺摂取率測定とシンチグラフィへの利用を試み, ^{131}I との臨床的比較を行なった。以下その結果について報告する。

2. 入手 ^{123}I およびその特性

^{123}I はアンチモン (^{121}Sb 57%, ^{123}Sb 43%), テルル (^{122}Te 2.5%), ヨウ素 (^{127}I 100%) をターゲット

として, 1) $^{121}\text{Sb}(\alpha, 2n)^{123}\text{I}$, 2) $^{123}\text{Sb}({}^3\text{He}, 3n)^{123}\text{I}$, 3) $^{122}\text{Te}(d, n)^{123}\text{I}$, 4) $^{127}\text{I}(p, 5n)^{123}\text{Xe} \rightarrow ^{123}\text{I}$, などの核反応により生産されるが, サイクロトロンの規模により生産方法は異なる。理研はアンチモンターゲットによる2)の反応, 日本メジフィジックスはテルルターゲットによる3)の反応を用いて製造しており⁵⁾, ^{123}I 製品中に混入する他核種およびその割合は当然異なる。Ge(Li) 半導体検出器を用いて, 各 ^{123}I 製品のガンマ線スペクトルを求め, これから混入核種の割合を調べた。Fig. 1は理研製, Fig. 2は日本メジフィジックス製の各 ^{123}I ガンマ線スペクトルの例で, 前者は ^{121}I (半減期2hで ^{121}Te に壊変, 0.8~1.1%), ^{124}I (3.8~5.8%), 後者は ^{124}I (1.4~1.9%), ^{126}I (0.7~1.0%), ^{130}I (3.8~4.5%), ^{131}I (0.3~0.8%)の混入がそれぞれ認められた。日本メジフィジックス社の公称値は ^{124}I <1.0%, ^{126}I <1.0%, ^{130}I <3.0%, ^{131}I <0.75%である。もっとも多い混入核種は理研製で ^{124}I , 日本メジフィジックス製で ^{130}I が挙げられるが, ^{124}I は半減期4.2日とやや長いので, できるだけ混入の少ないことが望ましい。

理研製 ^{123}I は液体, 日本メジフィジックス製 ^{123}I はカプセル(100 μCi)の形で供給されたものを使用した。甲状腺摂取率測定では, カプセル相互間のバラツキが影響するので, 各ロットごとのカプセル中に含まれる放射能(計数率)を測定し, カプセルのバラツキ程度を調べた。Fig. 3は昭和50年5月から9月にかけて入手したカプセルの, ロットごとの平均値(100%)に対する割合を示したもので, 7月15日, 22日入荷分では, とくに, 1カプセルが極端にかけて離れており,

Fig. 1 Gamma ray spectra of Riken ^{123}I -sodium iodide preparation measured on the same day, 2nd and 8th day of production by Ge(Li) detector. Two contaminants ^{121}I and ^{124}I were identified.

Fig. 2 Gamma ray spectra of Nihon Medi-Physics ^{123}I -sodium iodide preparation measured on the same day, 2nd and 7th day of production by Ge(Li) detector. Four contaminant nuclides of ^{124}I , ^{126}I , ^{130}I , and ^{131}I were identified.

Fig. 3 Variety of ^{123}I capsule activities in each group of deliveries.

Fig. 4 Attenuation of ^{131}I , ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, and ^{125}I gamma rays in water phantom.

Table 1 Physical characteristics of ^{131}I , ^{123}I , and $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Nuclide	^{131}I	^{123}I	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
Half life	8.1 d	13.3 h	6 h
Decay type	β^-	E C	I T
γ -ray energy (keV)	364	159	140
Efficiency(%), 0.5in. NaI	25.7	84.4	93.3
" 1.0 "	44.8	97.6	99.5
" 2.0 "	69.6	99.9	~100

バラツキが目立つ。9月以降入荷分は比較的安定しており、おおむね $\pm 3\%$ 以内におさまっている。

また、さらに摂取率測定ではガンマ線エネルギーの違いによる吸収の影響を考慮しなければならない。 ^{131}I , ^{125}I , ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ について水中での減弱曲線から ^{131}I と他核種の減弱の程度を調べた。Fig. 4は水中1 cmの深さを100%として求めた減弱曲線で、 ^{125}I を除

く ^{131}I , ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ では極端な差はない。 ^{131}I ^{123}I とを比較してみると、深さ0.5cmで103%, 1.5cmで98.9%, 2cmで98%と0.5~2cmの範囲で5%の差であり、臨床的にはこれ以下と考えられるし、実際の摂取率測定では無視できる。 ^{123}I はTable 1に示すとおり、半減期・ガンマ線エネルギーとも ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の中間に位置し、NaI検出器に対する効率 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に近く、厚さ0.5インチ(カメラ)で84%, 2インチ(スキャナ)ではほぼ100%と計算され、 ^{131}I の26%, 70%に比べると3~1.5倍高い効率を示す。

3. 実験方法および結果

甲状腺疾患患者を対象に、ルーチンには液体またはカプセル状の ^{123}I 100 μCi (入手初期のころは200~500 μCi)を経口投与、3時間、24時間の摂取率測定と24時間のシンチグラフィを施行、一部の患者(14症例)には後日(1~2週後) ^{131}I 38~50 μCi を経口投与、同じ検査を繰り返し実施した。また、別の13症例には ^{123}I と ^{131}I の同時投与を試み、相互のデータを比較した。

3.1 甲状腺摂取率

^{123}I の摂取率測定は従来から行なわれている ^{131}I とまったく同じ方法で行なった。すなわち、フラットフィールド型コリメータをつけた2インチNaI検出器とスペクトロメータを組み合わせた測定装置および標準線源としてORINSの頸部ファントムを使用した。また、測定時のウィンドウ幅は20%に設定して行なった。

^{123}I と ^{131}I の摂取率値は投与時期の異なる14症例についてみると、Fig. 5に示すとおり、相関はあるものの($r=0.88$)、必ずしも良い一致とはいえない。これは投与時の生理的条件が同一ではなく、特に ^{123}I 投与時にヨウ素制限が十分行なわれていない状態で投与した症例も含まれており、当然の結果かも知れない。 ^{123}I と ^{131}I の摂取率を臨床的に比較するには、やはり同時投与で行なう必要がある。Fig. 6は ^{123}I と ^{131}I を同時投与した13症例の摂取率を比較した結果で、測定誤差の範囲でよく一致しており、診断的には同一値を示すと考えてよい。

3.2 シンチグラフィ

^{131}I による甲状腺シンチグラフィは、通常、アイソトープ投与後24時間で行なうが、 ^{123}I 投与の場合には半減期が13.3時間と短いため、24時間後の放射能は約28%に減衰する。そのため、むしろ早い時期に行なっ

Fig. 5 Correlation between ^{123}I and ^{131}I thyroid uptakes consecutively measured on the same patients.

Fig. 6 Correlation between ^{123}I and ^{131}I thyroid uptakes simultaneously measured on the same patients.

Fig. 7 Thyroid scintiscans of a patient with hyperthyroidism administered ^{123}I and ^{131}I simultaneously.

たほうが良いように思われるが、この点についてはあとに述べる。

使用した装置は日立製全身スキャナFSW-II(コリメータ: 3インチ焦点163孔, スキャン速度: 50~100cm

/分, スキャン間隔: 2 mm, ウィンドウ幅40~60keV) およびニュクリアシカゴ製シンチカメラ Pho/Gamma III (コリメータ: ピンホール, 蓄積カウント: 2 万, ウィンドウ幅: 20~30%) である。

3・2・1 ^{123}I ・ ^{131}I 同時投与例 ^{123}I および ^{131}I の 2 核種を同時投与した13症例についてシンチグラムを比較したが, ほぼ同程度の画像を得た。Fig. 7 に甲状腺機能亢進症のスキャン例を示すが, この例のようにいづれも大差はない。しいて違いを指摘するならば, ^{131}I ではガンマ線エネルギーが 364keV とやや高いため, 甲状腺両葉周辺部にコリメータ隔壁透過の影響がわずかに認められるし, 一方, ^{123}I では 159keV の光電ピークに高いエネルギー側の散乱が寄与し, ややバックグラウンドの増加がみられる。つぎにカメラ像で比較すると, Fig. 8 は機能低下例であるが, 核種の違いによ

Fig. 8 Thyroid scintiphotos of a patient with hypothyroidism administered ^{123}I and ^{131}I simultaneously.

るシンチグラム上の差はあまり認められない。ただ, カメラの場合はすでに述べたとおり, NaI 検出器の効率が ^{123}I と ^{131}I で 3 倍程度差があるため, ほぼ同一放射能が甲状腺に存在すると仮定した場合, ^{123}I のほうが $\frac{1}{3}$ の時間で撮像できる計算となる。実際には, ガンマ線エネルギーの違いが, NaI を覆うアルミニウムの吸収, ピンホールの辺縁部のガンマ線透過, 組織内での吸収, ウィンドウ設定幅, などに関与するため, 上の計算どおりにはならないが, 同一カウントを蓄積する時間は, ^{123}I のほうが ^{131}I に比べ明らかに短くてすむ。Fig. 8 の症例は ^{123}I 200 μCi , ^{131}I 50 μCi を同時投与しており, 24 時間後にはほぼ同程度の放射能に減衰しているが, ^{123}I での撮像時間は ^{131}I の $\frac{1}{2}$ の程度である。また, カウントの蓄積時間が短いため, 甲状腺を除く周囲のバックグラウンドカウントも全体として少

ない。この点はスキャン像と異なる。とくに, この症例のように摂取率が低い場合は, カメラ像が適していることはいうまでもないが, ^{123}I と ^{131}I ではやはり ^{123}I のほうが, バックグラウンドの少ない像が得られている。

3・2・2 スキャン像とカメラ像 従来から行なっている ^{131}I によるルーチンの甲状腺シンチグラフィは摂取率の高い症例では後日 ^{131}I 治療を行なう場合もあるので, 投与量計算の必要上, スキャナを使用, 摂取率が正常および低下の症例ではカメラを使用と, 症例ごとにより分けて行なっている。もちろん, 両方行なう場合もある。これは ^{123}I についても同じであり, スキャナあるいはカメラが用いられる。Fig. 9 は欠損の

Fig. 9 A scintiphoto and a scintiscan of the thyroid with a large cold nodule on the right lobe. ^{123}I administered and scanned 24 hours later. Note relatively better image of a scintiphoto.

ある症例の ^{123}I によるスキャン像とカメラ像を示したもので, 欠損像はいずれも同じように描記されているものの, カメラ像のほうがやや有利である。

3・2・3 シンチグラフィ実施の時期 ^{131}I では通常, 投与後24時間にシンチグラムを得ており, これは甲状腺に集積する ^{131}I 放射能が, 前日より一般に高いことから当然である。しかし, ^{123}I の場合は 3・2 で述べたとおり, 放射能が24時間で約28%に減衰するため, ^{131}I と同じ24時間のシンチグラムが, 必ずしも良いとはいえない。Fig.10 に機能亢進症の ^{123}I 投与後, 3, 6, 24時間の各スキャン像を示すが, 3 時間と 6 時間ではほとんど差は認められない。24 時間ではカウントの減少がみられ, 明らかに画質の低下が見られる。多くの症例はこの例のように, 24 時間より 3~6 時間で情報量が多く, 良いシンチグラムを得ている。このことから, ^{123}I による甲状腺シンチグラフィ実施の時期は投

Fig. 10 Consecutive scintiscans of a patient with hyperthyroidism performed at 3, 6, and 24 hours after administration of a ^{123}I capsule. An image of 24 hours is slightly inferior in quality.

与後3～6時間が適当と考える。

4. 考 察

^{123}I は甲状腺機能検査に適した物理的特性を有し、とくに患者への被曝線量が軽減できる点で、 ^{131}I に代わって利用さるべきアイソトープである。甲状腺に対する被曝線量は ^{99m}Tc を使用した場合より約10倍高いが、 ^{131}I の数十分の1～百分の1程度に軽減される。 ^{99m}Tc は甲状腺への摂取が機能正常例でも数%と低いため、甲状腺の被曝線量はもっとも低い、全身では

Table 2 Radiation dose to the adult thyroid and the whole body from ^{131}I , ^{123}I , and ^{99m}Tc

Nuclide	Activity	Absorbed dose		Reporter
		Thyroid	Whole body	
^{131}I	100 μCi	210 rad	0.36rad	Nishiyama
	"	180 (40%) (20 g)	—	Robertson
	"	152 (30%) (25 g)	—	Goolden
	"	130 (25%)	0.073	Steinbach
^{123}I	100 μCi	1.6 (30%) (25 g)	—	Goolden
	"	2.0 (40%) (20 g)	—	Robertson
	"	2.0	0.007	Evans
	"	5.0	0.006	Steinbach
^{99m}Tc	1mCi	0.2 (1.5%) (25 g)	—	Goolden
	"	0.2	0.01	Maynard
	"	0.48	0.013	Steinbach
	"	0.5	0.014	Nishiyama

逆に ^{123}I が低値を示している (Table 2)^{11)~13), 16), 17)}。 ^{131}I は甲状腺への放射線被曝がもっとも高く、これを使用する場合には投与量を10 μCi 以下に抑えるべきであるといわれており⁸⁾、この点からも ^{131}I をシンチグラフィに使用することは、今後避けていかなければならない。現在入手できる ^{123}I 製品は必ずしも純粋な ^{123}I ではなく、数種のヨウ素アイソトープがわずかに混入しているため、Table 2に示す被曝線量よりやや高くなる。これについて Nishiyama らは、 ^{123}I 2.0rad(100 μCi)に対し、 ^{124}I <1 μCi 、 ^{126}I <0.5 μCi 、 ^{130}I <3.0 μCi 、 ^{131}I <0.5 μCi の混入だけで<3.96radの増加があると計算している²⁾。

^{123}I は ^{131}I に比べ半減期が著しく短く、3～4日後には1%以下に減衰するので、短時日での繰り返し投与が可能であり、T-3 抑制試験、TSH 刺激試験など負荷試験のさいの甲状腺摂取率測定にはつごうがよい⁹⁾。甲状腺摂取率測定のうち、 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を使用する早期摂取率は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 静注20～30分後に測定する方法で、IAEA が提唱している⁸⁾。 ^{99m}Tc を使用するため、被曝線量は著しく改善され、かつ、 ^{131}I 摂取率との相関も見られるので、甲状腺機能亢進症の診断に十分利用できる優れた方法である。しかし、 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ は甲状腺に取り込まれるものの有機化されないため、甲状腺機能正常と機能低下を鑑別することはむずかしい¹⁰⁾。また、この方法は静注すること、身体バックグラウンドを差引く測定法を必要とすること、などルーチン検査としては従来の ^{131}I 摂取率測定に比べ、煩雑さが加わり、わが国ではあまり普及していない。ヨウ素による甲状腺摂取率に代わって、 ^{99m}Tc 早期摂取率だけに頼ることは異論があるところである⁹⁾。

甲状腺シンチグラフィを行なう時期は ^{123}I の場合、 ^{131}I と同じ投与後24時間が適当かどうかは検討の余地がある。甲状腺に集積する ^{123}I 放射能は投与24時間後には3時間後の約1/3に減衰するので、逆に、甲状腺摂取率が24時間で3時間の3倍以上高い値を示す症例でないと、24時間後のシンチグラムが良いという結論にはならない。この点に関して、診断の明らかな64症例の3時間、24時間における ^{123}I 甲状腺摂取率を比較した。Fig.11に結果を示すが、24時間摂取率が3時間摂取率の3倍以上を示した症例は5例(8%)に過ぎず、59例(92%)は3倍に満たなかった。このことから明らかにように、24時間後で情報量の多いシンチグラムが得られる症例は少ない。ただ、投与後2～4時間では血中放射能が高く、身体バックグラウンドが高いと一般に考えられているため、3時間後のシンチグラム

Fig. 11 Correlation between 3 hours' and 24 hours' ^{123}I uptakes.

画像も良くないと思われるが、実際の比較では24時間で得たシンチグラムのバックグラウンドと大差はなく、診断に影響をおよぼすほどは目立たない。身体バックグラウンドは尿中排泄などにより時間とともに低下するので、厳密には3時間より6時間のほうが少しよいシンチグラムが得られるかも知れないが、患者の肉体的・心理的負担を考慮すると、投与後6時間の測定はルーチン検査として望ましい方法ではない。また、24時間摂取率は甲状腺機能の亢進・正常・低下状態の診断によく利用されているが、これを3時間摂取率に置換えて鑑別できるかどうかが問題となる。この点について、Fig.11の3時間と24時間摂取率の関係をみると、3時間摂取率が25%付近で機能亢進症と正常が良く分かれている。機能低下症は例数が少ないため、正常とははっきり区別するまでに至らないが、ほぼ5～6%のあたりで分けられる。正常値と異常値の境界付近の摂取率を示す症例、あるいは ^{131}I 治療のために投与量計算を行なう症例では、24時間摂取率まで測定する必要があるが、これら症例を除けば3時間摂取率はおおむね機能状態の鑑別診断に利用できる。

最後に、価格の点であるが、 ^{123}I はサイクロトロン施設の近隣地域の利用者のみならず、遠距離地域の利用者まで包括して考えると航空便で運搬するため、その費用が ^{123}I の価格を著しく高くしていると聞いている。各地域にサイクロトロンが設置されるようになれば価格の点は解消されようが、現段階では ^{131}I の20倍程度の費用がかかる見込みで、まだ利用しにくい状態にある。しかし、今後はできるだけ早い機会に、 ^{131}I に代わって ^{123}I が利用されるよう期待する。

5. 結 論

サイクロトロンで生産された ^{123}I を甲状腺摂取率測定とシンチグラフィに使用し、従来から用いている ^{131}I との臨床的比較を試み、つぎのような結果を得た。

- 1) 入手した ^{123}I には、 ^{124}I その他二、三の混入核種が認められた。
- 2) 甲状腺摂取率を ^{123}I と ^{131}I 同時投与例について測定した結果、両者の値は良く一致した。
- 3) シンチグラムは ^{123}I と ^{131}I でガンマ線エネルギーの違いによるわずかな差はあるものの、ほぼ同程度の画像が得られた。
- 4) シンチグラフィ実施の時期は、情報量の多い画像が得られる点で、 ^{123}I 投与後24時間よりむしろ3(～6)時間のほうがよい。
- 5) 甲状腺に対する被曝線量は ^{131}I の数十分の1から百分の1程度に軽減される。

終りに ^{123}I 製品を提供していただいた第一ラジオアイソトープ研究所および日本メジフィジックス社に感謝いたします。なお、本論文の要旨は日本医学放射線学会第11回臨床シンポジウム部会、第15回日本核医学会総会において発表した。

文 献

- 1) Steinbach, H.L., et al.: Pamphlet presented as a scientific exhibit at the Society of Nucl. Med., Philadelphia (1975)
- 2) Nishiyama, H., et al.: *J. Nucl. Med.*, **15**, 261 (1974)
- 3) Robertson, J.S., et al.: *J. Nucl. Med.*, **15**, 770 (1974)
- 4) Karelitz, J.R., et al.: *J. Nucl. Med.*, **15**, 782 (1975)
- 5) 野崎 正: *Radioisotopes*, **24**, 724 (1975)
- 6) Ellis, R.E.: *Int. Comm. Radiol. Protect.*, Publication 17, New York, Pergamon Press (1971)
- 7) Goolden, A.W., et al.: *Brit. J. Radiol.*, **41**, 20 (1968)
- 8) Report of IAEA Panel: *Int. J. Appl. Radiat.*, **23**, 305 (1972)
- 9) 内山 暁, 他: *内科*, **34**, 580 (1974)
- 10) 寛 弘毅, 他: *臨床放射線*, **17**, 869 (1972)

Abstract**Use of ^{123}I for Thyroid Uptake and Scintigraphy**

Kenji SAEGUSA, Guio UCHIYAMA, Masanao KAWANA, Yoshio KUNIYASU,
Shikie TADA, Noboru ARIMIZU and Hirotake KAKEHI*

Department of Radiology, Chiba University School of Medicine, Chiba,
Japan and *Department of Radiology, Teikyo University School of
Medicine, Tokyo, Japan

Cyclotron-produced ^{123}I has short half-life (13.3 h) and an optimum gamma ray energy for scintigraphy (159 keV). It makes radiation dose to the thyroid as low as nearly one hundredth of ^{131}I . The purpose of this study is to evaluate ^{123}I for clinical use in place of ^{131}I . Thyroid uptake measurements were performed with the standard techniques at 3 and 24 hours after oral administration of radioiodine, and the thyroid scintigraphy were made by a rectilinear scanner or a scintillation camera. Thyroid uptakes of ^{123}I did not coincide so well with ^{131}I when the measurements were performed one after another, but they coincided very well when patients were given both radioiodine simultaneously and measured by the double tracer technique. Thyroid scintigrams of ^{123}I were as excellent as those of ^{131}I except a few cases showed slight increment of the background density. The radioactivity of ^{123}I in the thyroid at 3 hours decays one third in 24 hours. Of 64 patients studied, 59 or 92% showed higher count rate in the thyroid region at 3 hours than 24 hours. The thyroid scintigram using ^{123}I , therefore, is better to be made in 3 to 6 hours while the radioactivity well remains in the thyroid tissue. Iodine-123, instead of I-131, will soon be in use for the thyroid studies in our country.

(Received December 4, 1975)