

^{123}I による甲状腺機能の外部測定

— 主として基礎的検討について —

川崎医科大学 放射線科核医学

村 中 明, 伊 藤 安 彦

同 内科

松 村 茂 一, 堀 野 正 治

同 外科

松 土 昭 彦, 原 田 種 一

(昭和51年10月1日受付)

Instrumental Efficacy for Imaging ^{123}I

Akira Muranaka and Yasuhiko Ito

Division of Nuclear Medicine, Department of Radiology,
Kawasaki Medical School

Shigeichi Matsumura and Masaharu Horino

Division of Endocrinology, Department of Medicine,
Kawasaki Medical School

Akihiko Matsudo and Tanekazu Harada

Division of Endocrine Surgery, Department of Surgery,
Kawasaki Medical School

(Accepted on Oct. 1, 1976)

甲状腺の scintigraphy および摂取率の測定に広く用いられている ^{131}I は、個々の核医学施設で貯蔵可能な物理的半減期と体外測定に十分な γ 線のエネルギーを持ち、入手しやすく容易に使用できる。しかし、体外診断に不必要な β 線が放出されるため患者の被曝線量が大きい。

一方、 ^{123}I は被曝線量の軽減 およびイメージングにより適した低い γ 線エネルギーを有する点から、甲状腺の in vivo 検査の目的には理想的な核種である。しかし、 ^{123}I はサイクロトロン生産の短半減期核種であるため、本邦では1975年の後半になって臨床的に使用が可能になった。

核医学において ^{123}I が将来広く使用されることが予想されるため、 ^{123}I と ^{131}I による甲状腺 scan と摂取率の測定について、臨床的評価とともに測定機器に対する有用性を比較検討した。 ^{123}I の γ 線スペクトルの測定では、数核種の混入が認められ、時間の経過とともに長半減期の混入核種がスペクトル上に明瞭に表われた。Line-spread function の測定および Picker thyroid phantom のイメージの実験から、camera のイメージにおいては、 ^{123}I と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ はほぼ同程度の分解能を示した。scanner のイメージにおいては、 ^{123}I には $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用の低エネルギー collimator が最も適しており、 ^{131}I によるイメージと

比較すると、分解能では **Line-spread function** の半値幅で約 2 mm 改善され感度においても約 2 倍大になった。臨床例における ^{123}I と ^{131}I による甲状腺摂取率の比較では、同時投与では両者は良く一致し、相関係数 0.95 を得た。臨床例における ^{123}I の甲状腺イメージは、 ^{131}I に比し、特に摂取率が低い場合に有効であると思われた。

以上のことから、甲状腺の体外測定に ^{123}I の使用が望まれる。

Iodine-131, which has been widely adopted for scintigraphy of the thyroid gland and for measuring the thyroid uptake, has the advantages of a physical half life long enough for shelf storage by most nuclear medicine laboratories, a satisfactory principal gamma energy for external detection, and a ready availability. However, its main disadvantage is its beta emission which causes undesirable radiation exposure to the patient.

In contrast, ^{123}I is regarded as a more ideal radionuclide for the in vivo measurements because of its less radiation hazard and lower gamma-ray energy more suitable for the imaging. However, as ^{123}I is a cyclotron-product with a short half life, it became available for clinical use in Japan late in 1975.

With prospects for future use of the nuclide in nuclear medicine, comparison of ^{123}I and ^{131}I for thyroid scanning and uptakes was undertaken to evaluate instrumental efficacy for ^{123}I in conjunction with its diagnostic value. Because of the radioisotopic impurities, the spectrum of ^{123}I changed appreciable with time, as the isotopes with longer half-lives became more prominent. Using line-spread function and Picker thyroid phantom tests, there was no difference in resolution between camera images with ^{123}I and those with $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. In imaging with a rectilinear scanner, a low energy collimator made for $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -energy was suitable for ^{123}I . Compared with ^{131}I images spatial resolution with ^{123}I was improved by 2 mm in half the maximum height of the peak of line-spread functions. The sensitivity was increased by about two times that of ^{131}I . In clinical trials with simultaneous administration of ^{123}I and ^{131}I , there was a high correlation in uptake tests (coefficient of correlation 0.95). The images with ^{123}I were superior to those with ^{131}I , especially in low uptake cases.

In conclusion, ^{123}I is a radionuclide of choice for thyroid studies.

1. は じ め に

核医学診断の発展は第 1 に、優れた放射性医薬品の開発、第 2 に、検出機器・検出方法の進歩に依ると考えられる。このことは、核医学のなかで最も長い歴史を持つ甲状腺疾患の診断においても例外ではない。

in vitro test を除いたいわゆる体外計測においては、 ^{131}I が甲状腺疾患の診断に最も多く使用されて来た。しかし、その物理学的諸性質

は診療上多くの欠点を有し、特に被曝線量は甲状腺：800～1300 rads/mCi と推定されているため¹⁾ 低エネルギーで短半減期のヨウ素の使用が必要とされる。

ヨウ素の諸核種中 ^{123}I はほぼこれらの条件を満たすが、サイクロトロン生産による短半減期核種 (13 時間) のため国内での使用は不可能であった。しかし、最近アイソトープ生産用のサイクロトロンが本邦で建設され ^{123}I の使用が可能になったので、筆者らは ^{123}I による体外測定

上の有用性を主として基礎的な面より検討・評価し、若干の臨床応用を試みた。

2. 実験材料および方法

1) 使用した ^{123}I : 日本メジフィジックス社のサイクロトロンで $^{122}\text{Te}(d, n)^{123}\text{I}$ 反応により製造されたもので、カプセル (100 μCi) を使用した。

2) ^{123}I カプセル中の混入核種の検討: NaI scintillation counter と multichannel analyzer (MCA) を用いて、検定日および検定日から3日後の ^{123}I の γ 線スペクトルを求め、混入核種の同定確認を行った。

3) scintillation camera のイメージの検討: pinhole collimator を用いた scintillation camera (Nuclear chicago pho/gamma-HP) のイメージについて ^{123}I と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を比較して検討した。内径 1mm のガラスの毛細管に ^{123}I と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を封入した line source を用い、camera の位置信号を MCA に入力して line-spread function (LSF) を測定した。また、Picker thyroid phantom に ^{123}I (200 μCi)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (1 mCi) をそれぞれ封入し、そのイメージを比較した。collimator の表面から line source あるいは phantom 間の距離は 5cm に固定して実験を行った。

4) scintillation scanner のイメージの検討: Elscint 社製 5 インチ対向の whole-body scanner を使用し、前記の line source を用いた LSF および Picker thyroid phantom のイメージを ^{123}I と ^{131}I について求め、両者を比較検討した。collimator は、VC-7 (140 KeV 以下の低エネルギー用 fine focus collimator, 271 holes), VC-4 (140 KeV 以上の高エネルギー用 fine focus collimator, 265 holes), VC-9 (140 KeV 以上の高エネルギー用の depth independent の medium fine focus collimator, 85 holes) の 3 種を用いた。

5) 臨床例における ^{123}I と ^{131}I によ

る甲状腺摂取率、甲状腺イメージの比較: ^{123}I (100~200 μCi) と ^{131}I (50~100 μCi) の同時投与あるいは比較的短期間に両核種を別々に投与し、甲状腺の摂取率およびイメージを測定した症例 9 例について比較検討した。摂取率は投与後 3, 6, 24 時間で測定し、合計 26 組の測定値について、 ^{123}I と ^{131}I の測定値の相関を求めた。scan は ^{123}I では投与後 3~6 時間、 ^{131}I では投与後 6~24 時間に行った。

3. 結果

1) ^{123}I カプセル中の混入核種の検討: NaI scintillation counter を用いて得られた ^{123}I の検定日における γ 線スペクトルを Fig. 1 に示した。NaI detector のエネルギー分解能が悪いため、個々の核種を分離し定量することは困難であったが、 ^{130}I や ^{24}Na の混入を確認し得た。さらに検定日から3日後の γ 線スペクトルの測定では、短半減期核種はかなり減衰し、かわって ^{124}I (半減期: 4.15 d) などの長半減期核種がスペクトル上にはっきりと表われた。日本メジフィジックス社で公表している ^{123}I カプセル中に混入している核種とその割合は、検定日時において $^{123}\text{I} > 93.75\%$, $^{124}\text{I} < 1.0\%$, $^{126}\text{I} < 1.0\%$, $^{130}\text{I} < 3.0\%$, $^{131}\text{I} < 0.75\%$, $^{24}\text{Na} < 0.5\%$ である。 ^{123}I に比し混入核種の割合は小さいように見えるが、 ^{124}I (半減期: 4.15 d), ^{126}I (半減期: 12.8 d), ^{131}I (半減期: 8.05 d)

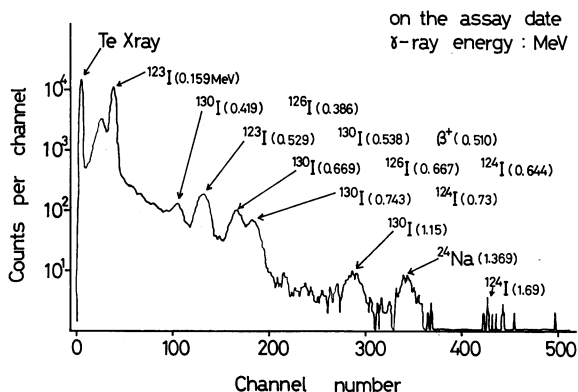


Fig. 1. Gamma ray spectrum of Iodine-123 made with scintillation counter on the assay date

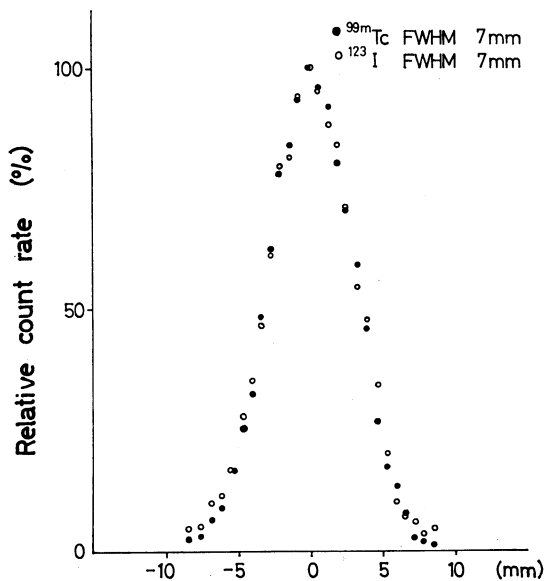
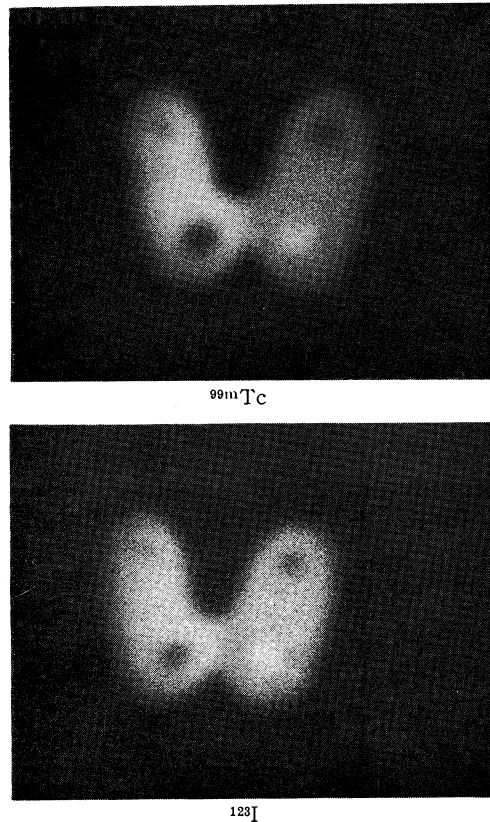


Fig. 2. Line-spread functions and images of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{123}I on pinhole collimator of scintillation camera. Images were taken with a Picker thyroid phantom. A hole in the right upper portion of the phantom was 5 mm in diameter.



の長半減期核種も含まれており、被曝線量軽減の立場からこれらの減少が望まれる。

2) scintillation camera のイメージの検討：
pinhole collimator を装着した scintillation camera を用いて測定した、 ^{123}I および $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の LSF と Picker thyroid phantom のイメージを **Fig. 2** に示した。LSF の縦軸は最大の計数率を 100 % とし相対的な計数率で表わした。両者の LSF を比較すると、 ^{123}I の方が LSF の両端で若干高く collimator の隔壁の透過の影響がみられるものの両者はほとんど一致し、半値幅は両者とも 7 mm であった。また、Picker thyroid phantom のイメージにおいても、両者とも phantom 右上の直径約 5 mm の cold area を描画し、ほぼ同程度の分解能を示した。

3) scintillation scanner のイメージの検討：
 ^{123}I および ^{131}I の line source を用いて、scintillation scanner で VC-7, VC-4, VC-9 の

3 種類の collimator を装着し測定した LSF を **Fig. 3** に示した。**Fig. 2** と同様に縦軸は最大の計数率を 100 % とし相対的な計数率で表わしてある。 ^{123}I の LSF は、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用 collimator である VC-7 を用いたときに半値幅が 5.0 mm で最も良い分解能を示した。しかも、 γ 線の collimator の隔壁の透過による back ground の上昇は最大計数率の約 3 % とあまり見られず、 ^{123}I の主な γ 線のエネルギーは 159 KeV (83.6 %) にもかかわらず、140 KeV 以下の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用 collimator が十分 ^{123}I にも使用しうると思われた。 ^{131}I の LSF においても、VC-7 を用いたときに LSF の半値幅が最も小さい 5.2 mm を示したが、 γ 線の collimator の隔壁の透過によって LSF の両端が最大計数率の約 10 % と高くなっており、かなりの back ground の上昇がうかがわれる。通常 ^{131}I を用いた甲状腺 scan に用いられる高エネルギー用の VC-4 collimator では ^{131}I の LSF の半値

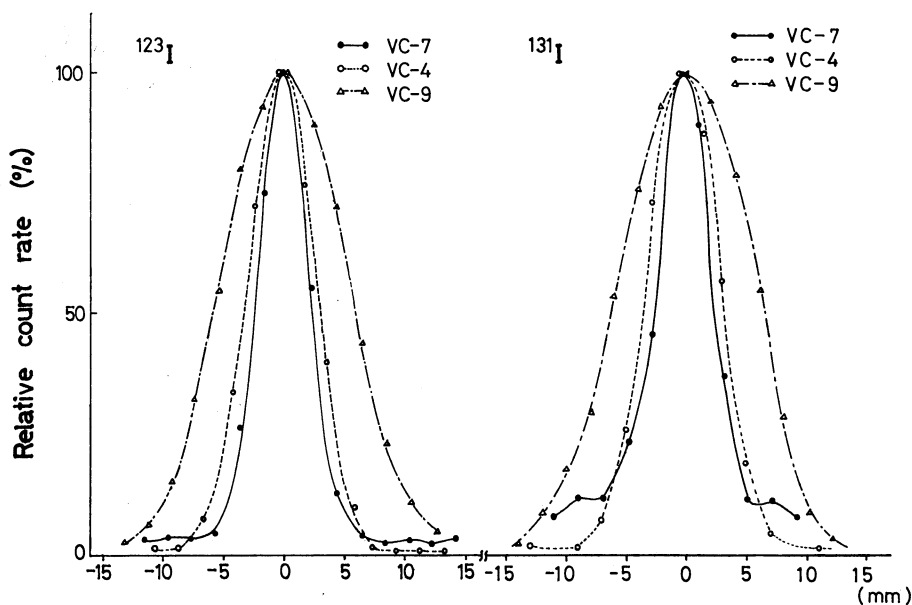


Fig. 3. Line-spread functions of ^{123}I and ^{131}I on various collimators of scintillation scanner.

Table 1. F.W.H.M. of LSF and relative sensitivity on various collimators of scintillation scanner studied with ^{123}I and ^{131}I

Collimator	F.W.H.M. of LSF		Relative sensitivity	
	^{123}I	^{131}I	^{123}I	^{131}I
VC-7 $\leq 140 \text{ KeV}$ F.D. = 7.5 cm	5.0 mm	5.2 mm	1	1.12
VC-4 $> 140 \text{ KeV}$ F.D. = 12.5 cm	6.6 mm	7.0 mm	0.66	0.55
VC-9 $> 140 \text{ KeV}$ F.D. = 11 cm	11.6 mm	12.2 mm	1.73	1.50

F. D.: Focal Distance

幅は約7mmであった。

Table. 1 にこれらの LSF の半値幅と、 ^{123}I と ^{131}I の同じ濃度の line source を用いて得られた LSF の面積から、 ^{123}I で VC-7 を用いた場合を1として求めた相対感度を表示した。高エネルギー用の VC-4 と VC-9 では、 ^{123}I を用いた場合の方が ^{131}I の場合よりも相対感度が大であったが、逆に低エネルギー用の VC-7 では ^{131}I の方が大であった。VC-9 は縦に長い

等感度曲線をもち depth independent で特殊な collimator であるが、筆者らの施設では甲状腺摂取率が低い場合に用いている。感度は他の collimator に比し大であるが、分解能は LSF の半値幅が ^{123}I , ^{131}I とも約 12 mm とかなり劣っている。

Fig. 4 に ^{123}I で VC-7 を用い、 ^{131}I で VC-4 を用いて得られた Picker thyroid phantom のイメージを示した。 ^{123}I の方が phantom の hot area および cold area をはっきりと描画している。

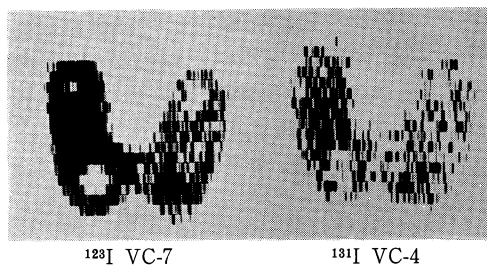


Fig. 4. Picker thyroid phantom images taken with a scintillation scanner.

4) 臨床例における ^{123}I と ^{131}I による甲状腺摂取率、甲状腺イメージの比較：臨床例にお

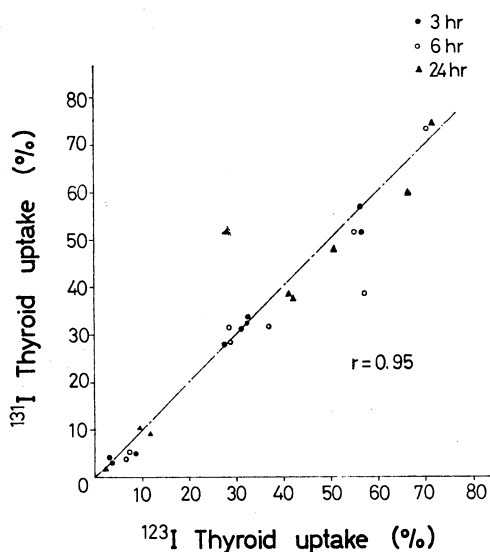


Fig. 5. Correlation between ^{123}I and ^{131}I thyroid uptakes.

ける ^{123}I と ^{131}I の甲状腺摂取率の比較を Fig. 5 に示した。 ^{123}I と ^{131}I を異なった日に別々に投与した症例では、2, 3 摂取率が一致しない例もあったが、同時投与の症例では良く一致し、全体として相関係数 0.95 を得た。症例が少ないが、 ^{123}I と ^{131}I を異なった日に別々に投与した場合には生理的条件が一定でないことも考えられ、一方同時投与では両者はよく一致することから、臨床的には両者は同一値を示すものと思われる。

臨床例における ^{123}I と ^{131}I の甲状腺イメージの比較では、両者ともほぼ同様なイメージが得られたが、摂取率が低い場合には ^{123}I の方がやや有利であった。

4. 考 按

^{123}I は物理的半減期が 13 時間と短く、しかも崩壊形式が electron capture で β 線を放出しないため、 ^{131}I に比し著しく被曝線量が軽減される。Mird 法によって計算された Na^{123}I 、 Na^{131}I の人体の被曝線量は、摂取率 25 % のとき ^{123}I ：甲状腺 13 rads/mCi、全身 0.029 rads/mCi、 ^{131}I ：甲状腺 1300 rads/mCi、全身 0.71

rads/mCi であり¹⁾、 ^{123}I の甲状腺被曝線量は ^{131}I の約 100 分の 1 に減少できる。 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ では正常で甲状腺 0.13 rads/mCi、全身 0.011 rads/mCi であり²⁾、 ^{123}I ：100 μCi 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ：1 mCi を使用した場合、 ^{123}I による被曝線量は約 10 倍大になるが全身ではむしろ減少する。しかし、実際には ^{123}I 中に長半減期の核種の混入があるため被曝線量は増加し、混入核種による甲状腺被曝線量は約 4 rads (^{123}I 100 μCi 投与の場合) と計算され³⁾、 ^{123}I 自体の被曝線量より大になる。筆者らの測定でも時間の経過とともに長半減期核種たとえば ^{124}I 、 ^{126}I の存在の割合が増加して居り、これらの核種の被曝線量に対する寄与を無視できないと思われる。しかしながら、このことを考慮に入れても ^{131}I に比し被曝線量は格段に少ないものとみなされる。

scintigraphy において、解像力を最も良くする γ 線のエネルギーは約 150~200 KeV といわれ⁴⁾、159 KeV (83.6 %) の γ 線を放出する ^{123}I はイメージングの上からも理想的なアイソトープのひとつである。pinhole collimator を装着した scintillation camera により ^{123}I と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ のイメージを比較すると、LSF および phantom 実験で両者はほぼ同程度の分解能を示した。camera の NaI crystal (厚さ $\frac{1}{2}$ インチ) に対する intrinsic peak efficiency は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の γ 線 (140 KeV) で約 93%、 ^{123}I の γ 線 (159 KeV) で約 84 % であり、感度の面でも ^{123}I は $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に比し余り劣らないと思われる。臨床的にも両者はほぼ同じイメージを描画するが、胸骨後部に甲状腺病変が予想される場合、あるいは $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の濃縮が少ない場合には ^{123}I の方が有効である⁵⁾。

^{123}I を使用した scanner のイメージの検討では、LSF および phantom 実験から、低エネルギー用 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用) の collimator を使用したとき最も良い分解能を示し、back ground の上昇も余り見られなかった。scanner の NaI crystal (厚さ 2 インチ) に対する intrinsic peak efficiency は ^{123}I の γ 線 (159 KeV) で約 100%、 ^{131}I の γ 線 (364 KeV) で約 70 % であり、同じ collimator を用い幾何学的条件が

一定であれば、 ^{123}I の方が感度が約1.4倍大になるはずである。実際には、NaI crystalを覆っているAlによる吸収、windowの設定、collimatorの隔壁の透過などによって多少の変化が予想される。筆者らの実験では、VC-4、VC-9では ^{123}I の方が約1.2倍大になったが、VC-7では逆に ^{131}I の方が約1.1倍大であった。VC-7の場合、明らかに ^{131}I の γ 線がcollimatorの隔壁を透過して、 ^{131}I の感度を増したものと考えられ、back groundの上昇を示唆する。結局、 ^{123}I でVC-7、 ^{131}I でVC-4を用いた場合、 ^{123}I の方が分解能ではLSFの半値幅で約2 mm改善され、感度においても約2倍大になる。臨床例においては、投与量、scanの時期によっても異なるため、基礎的検討より得られた成績がそのままあてはまらないかもしれないが、特に感度の面では、 ^{123}I の投与量を ^{131}I よりも多くできる事は有利であろう。

scanの時期は、 ^{131}I の場合投与後24時間頃が、それ以前に比しback groundが少なく適当であると言われてきたが、 ^{123}I の場合、半減期が13時間と短いため投与後3～6時間の方がより情報量の多い画像が得られる³⁾。また、投与後24時間では ^{124}I 、 ^{126}I などの長半減期で高エネルギーの γ 線を放出する混入核種の比率が増大し、分解能が悪くなる恐れがある⁶⁾との報告もみられるが、短半減期核種であることが良好なscanを得る上にwaiting timeを短くする最大の理由であろう。

甲状腺の摂取率の測定においては、 ^{131}I は被曝線量が大きいであるため、 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ を使用した早期摂取率の測定がIAEAから勧告されている⁷⁾。この方法は、投与後20～30分に検査を行い甲状腺のiodine trapping functionを反映するもので、被曝線量の軽減、食餌制限の必要なし、抗甲状腺剤の影響がないなどの優れた特長をもつ。しかし、甲状腺機能亢進症の診断に

適しているが、正常者と甲状腺機能低下症の鑑別は困難であり⁷⁾、また、測定方法が従来の方法にくらべやや煩雑なこともあって、完全に ^{131}I による甲状腺摂取率の測定に置き代るまでには到っていない。 ^{123}I による甲状腺摂取率の測定はこれらの欠点を補うすぐれた方法であると思われる。

^{123}I は甲状腺の体外測定に対して理想的な物理学的特性を有しているが、サイクロトロン生産の短半減期核種であるため使用できる地域に制限があり、価格も ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ にくらべ高価であり、日常の診療に広く使用できないのは残念である。広く使用できるようになることを切望する。

5. 結 語

甲状腺の体外測定における ^{123}I の有用性を主として基礎的な面から検討した。

1) ^{123}I カプセル中に ^{124}I 、 ^{130}I 、 ^{24}Na などの混入が確認された。

2) ^{123}I のcameraのイメージの検討では、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ と比しLSFおよびphantomのイメージとも同程度の分解能を示した。

3) ^{123}I のscannerのイメージの検討では、低エネルギー用($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用)のcollimatorの使用が可能であり、 ^{131}I で高エネルギー用collimatorを使用した場合と比較すると、分解能ではLSFの半値幅で約2 mm改善され、感度においても約2倍大になった。

4) 臨床例における ^{123}I と ^{131}I の摂取率の比較では、異なった日に別々に投与した場合に一致しない例もあったが、同時投与では良く一致し、全体で相関係数は0.95であった。

5) 臨床例における ^{123}I の甲状腺イメージは ^{131}I とほぼ同様であったが、摂取率が低い場合に有効であると思われる。

文 献

- 1) Dose estimate report No.5: Summary of current radiation dose estimates to humans from ^{123}I , ^{124}I , ^{125}I , ^{126}I , ^{130}I , ^{131}I and ^{132}I as sodium iodide. J. Nucl. Med., 16: 857—860, 1975.

- 2) Dose estimate report No. 8: Summary of current radiation dose estimates to normal humans from $^{99\text{m}}\text{Tc}$ as sodium pertechnetate. J. Nucl. Med., 17 : 74—77, 1976.
- 3) 三枝健二, 内山 暁, 川名正直, 国安芳夫, 多田式江, 有水 昇, 笈 弘毅： ^{123}I による甲状腺摂取率測定とシンチグラフィ。Radioisotopes, 25 : 82—88, 1976.
- 4) 平松 博, 久田欣一：シンチグラフィの基礎と臨床。金原出版, p. 14. 1970,
- 5) John E. Arnold and Steven Pinsky: Comparison of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{123}I for thyroid imaging. J. Nucl. Med., 17 : 261—267, 1976.
- 6) H. Nishiyama, V. J. Sodd, R. A. Berke and E. L. Saenger: Evaluation of clinical value of ^{123}I and ^{131}I in thyroid disease. J. Nucl. Med., 15 : 261—265, 1974.
- 7) 笈 弘毅, 三枝健二：IAEA 新勧告—甲状腺 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摂取率測定法について—。臨床放射線, 17 : 869—874, 1972.