

γ 線はこの中の電子系で約2000倍に増幅され（2万ボルト印加時）光電面に像を結ぶ。これをタンデムレンズ系でとりだし、ASA3,000～10,000のポラロイドフィルムで撮影する。

〔撮影実例〕 ファントーム実験に用いた、核種、使用量、露光時間を次に示す。 ^{125}I , 2mCi 10分, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 10mCi 2分, ^{197}Hg 17.5mCi, 2分, 以上 ASA 3000, ^{133}Xe 15mCi 1分, ASA 10,000. ラッテに ^{197}Hg 200 μCi を静注し、3時間後に撮影して腎臓像をえた。露出時間は5分であった。 $^{99\text{m}}\text{Tc}_2\text{S}$, コロイド7mCi 静注後のヒト肝臓像をえた露出時間は5分であった。 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ を経口投与した場合に胃から吸収されていく過程を3, 8, 15, 22, 30, 54分と連続的に撮影した。

〔考案〕 本装置はAngerカメラに比し、より簡単で比較的安価である。X線イメージ管を用いているので、使用しうる核種は低エネルギーの γ 線をもつものであって、感度の関係から大量に使用しうる $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe などに臨床応用の可能性が高い。

本装置は現状のままでも $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe などを用いて臨床応用に供しうるものであるが、さらに感度、解像力を改善するために、イメージ管、レンズ系の改良、コリメーターの開発をすすめている。とくにイメージ管は各段式のものを用い、著しく感度を高めることに成功している。

本装置は新しいラジオアイソトープ診断装置として従来のレンチスキャナーでは行ないえなかった dynamic study に広く応用しうるものと考える。

*

20. シンチカメラについて

安河内 浩<分院>

石川大二 赤沼篤夫 林 三進
<放射線医学教室>(東京大学)

山崎統四郎
(虎の門病院)

近年、シンチスキャナーの進歩に伴ない、診断学に新しい考え方を導入され活用されているのは周知のとおりである。しかしこの方法は一回の検査に要する時間が長いという欠点がある。

この欠点は、走査という手段を使う限り避けえないものであり、その欠点を補うために fibrid scanner のごとく、そのものに改良を加えた方法もあるが、近年多くの固定形の装置が報告されている。

その1つであるシンチカメラを試作し、この数年の間の経験により多少の改良点を考えたので加えて報告した。

われわれのシンチカメラは、すでに報告したとおり、 $5'' \times 1/4''$ の $\text{NaI}(\text{Ti})$ 結晶をもったピンホール形のものである。

ピンホール形のものは、ピンホールと被験体の距離をかえて検査を行なえば大きな範囲を cover できるが、一方分解能と感度に制限がある。多孔形のものは広範囲の検査には大きな結晶を必要とする欠点がある。

記録方法は現在オッショスコープをポラロイドカメラで写す方法が主であるが、映画でとる方法もある。われわれの装置は、メモリー管を利用して一定時間影像を残しておくようにしてある。また打点は普通の輝点の他に defocusing によって部位の統計変動を補う方法も入れてある。

エネルギー依存は大体 ^{125}I より ^{131}I 程度を cover できることが望ましいが、われわれの装置は回路上 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ より ^{131}I までしか cover できない。しかし、 ^{125}I を cover できることが望ましい。

検査目的としては主として動態を形態的に表示することであり、rose-bengal による肝動態、hipuran による腎動態が主となるが、心動態を検査した報告もある。

いずれにしても現在とは異なる機構の装置であり、今後の発展が望まれている。

*

21. 体内RI分布測定方式の理論的検討

栗原重泰

(東京芝浦電気医用機器技術部)

体内 RI 分布の測定方式としてもっとも広く用いられているのは、いわゆるシンチスキャナーであり、わが国においてもすでに 150 台前後が使用されている。最近数年来、この方式の不満足な点を解決しようとして、いろいろな静止形装置が考案され、海外では臨床にも用いられ始めている。著者はこれら新しい静止方式の装置と従来のシンチスキャナーの性能を理論的に比較検討し、さらに特性の秀れた方式として期待される装置方式について報告する。

Table 1 は現在体内RI分布測定方式として用いられているもの、または開発中のものとして発表されている各種方式を示す。1 は衆知のシンチスキャナーと呼ばれるものでその歴史も古く 1951 年発表されて以来いろいろと改良され今日では広く臨床に使用されている。

Table 1. Type of Area Scanning

1. Scintillation Scanner.	1951. Cassen. Mayneord
2. Scintillation Camera.	1958. Anger
3. Positron Camera.	1958. Anger
4. Autofluoroscope.	1963. Bender
5. Spark Chamber	1964. Kellersohn
6. Image Intensifying Camera.	1963. Ter-Pogossian
7. Hybride radioisotope scanner	1966. Davis. Martone

2は1958年アメリカの Anger により開発されたもので Anger camera とも呼ばれている。ピンホールコリメータまたは多孔コリメータと大形シンチレータによる方式でその像の算出回路は独特の考案による¹⁾。

3は同じく Anger により考案されたものでボシトロンエミッタの RI 用に使用されるもので単式と複式があるが、最近のアメリカの商品では scintillation camera に附属品を加えると positron camera としても使用できる方式となっている。

4は1963年アメリカの Bender により開発された方式で多孔コリメータとモザイク形シンチレータによる検出系とライトパイプと光電子増倍管による XY 座標の読み取り方式を用いている²⁾。

5は1964年フランスの Kellersohn により開発されその後2~3の変形も発表されている方式で多孔コリメータとガス放電チュンバーを用いるもので、放射線の検出部分にまったく新しい方式を用いている³⁾。

6は1963年アメリカの Ter-Pogossian により開発された方式で多孔コリメーターと X 線の image intensifier を用いるものである⁴⁾。

7は1966年アメリカの Pavis により開発されたもので一方向のみ機械的に走査し、他の方向はカメラ方式を用いた折衷的な方式である⁵⁾。

この表の他に最近さらに2~3の方式が考案され開発されつつあるが当報告では表の 1, 2, 4, 5, 6 および最近著者らが考案した回転スリットカメラおよび多段イメージカメラについておののの特性を理論的に考察せる結果について述べることとする。

装置の特性を相互に比較する場合は従来分解能と感度を個々に取り上げて論じられることが多かったが本来分解能と感度は同一方式にあってもこの 2 つを独立して変えることはできず両者は重合する特性である。装置の性能としては短い露出時間で良好な画質のえられることは望ましい。画質を定めるのは分解能と輝点数およびコントラストがある。一般的に分解能は分離認識される 2 点

の最短距離を cm または mm として表現する。しかし像を構成する輝点の数が少ないとには、像はあいまいなものとなり、分離も装置の分解能に達しない。輝点数は装置の感度と露出時間とに比例する。感度も装置の特性であるが、分解能を一般的に重合するものである。同一の方式で感度をよく設計すれば分解能はわるくなり、またその逆も成立する。そこで総合的に装置の特性を表わす量として、感度を分解能の 2 乗で割ったものをかりに結像力と定義して結像力の相互比較により各方式の装置の特性を論ずることとする。このようにして定義せる結像力を各方式について算出すると各方式とも結像力というものは大体きまった値をもち、これを分解能と感度にどのように配分するかということは装置のコリメータの設計や操作の条件に依存している。したがって各方式の評価を行なうには結像力によって行なうことが妥当と考えるわけである。

結像力を理論的に算出するためにさらにこれを解析して考察検討してみる。先にあげた各方式とも放射線源の像を受けて検出させるために γ 線に対する放射線的なレンズとしてコリメータを使用している。すなわちコリメータが結像作用により検出部に放射線像を作った後放射線検出部としてシンチレータやガス放電などが使用されるわけである。したがって特性として幾何光学的にきまる特性と放射線検出特性とに分離することができる。以上まとめると次のとく定義することになる。

$$\begin{aligned} \text{幾何光学特性} & \left\{ \begin{array}{l} \text{幾何光学的効率} : Eg \\ \text{幾何光学的分解能} : Rg \\ \text{幾何光学的結像力} : Fg = Eg/Rg^2 \end{array} \right. \\ \text{検出特性} & \left\{ \begin{array}{l} \text{検出効率} : Ed \\ \text{分解能の劣化} : \Delta \end{array} \right. \\ \text{総合特性} & \left\{ \begin{array}{l} \text{感 度} : S = Eg \times Ed \\ \text{分 解 能} : R = Rg + \Delta \\ \text{結 像 力} : F = S/R^2 \end{array} \right. \end{aligned}$$

Table 1 に示した各方式の Eg, Rg, Fg は主としてコリメータによりきまるので以下その代表例について算出法を説明する。これらの計算はコリメータは γ 線に対し

て完全に光学的に作用するすなわち線の透過はないものと仮定して計算式は設定されている。

Anger camera に使用される場合のピンホール、コリメータの場合の計算式は、ピンホールの直径 p 、ピンホールより被検体までの距離 c 、ピンホールより検出面までの距離 b とすると分解能 Rg は被検体の一点より放射される r 線の検出面における投射像の大きさになるから $Rg = d = \frac{b+c}{b} p$ となる。幾何光学的効率は被検体の一点より放出される r 線の利用率と考えると 4π に対するピンホールの立体角と考えられるから、 $Eg = \frac{p^2}{16c^2}$ となる。

したがって幾何学的効率は $Fg = Eg/Rg^2 = \frac{b^2}{16(b+c)^2 c^2}$ となる。Anger の発表している諸元を式に入れて計算すると $Rg = 0.45$, $Eg = 5.63 \times 10^{-5}$, $Fg = 27.9 \times 10^{-5}$ となる。

シンチスキャナに用いられるハネコーンコリメータ(収束形多孔コリメータの場合の計算式は以下のとく求める。一般に多孔コリメータの場合に効率 Eg は孔ピッチを p 、孔の入口(シンチレータ例)の径を t_1 、孔の出口(患者側)の径を t_2 、コリメータの厚さを b コリメータ先端より対称物までの距離を C 、コリメータの焦点距離を f 、コリメータの孔の数を N 、対称物の大きさを A とすると、 $Eg = \frac{T_{LN} t_1^2 t_2^2 p^4}{64A b^2} \dots \dots \text{(1式)}$ ハネコーン・コリメータの場合には $t_2 = \frac{t_1 f}{b+f}$ となり、 $r = \frac{f t_1 p}{b}$ とすると、 $Eg = \frac{\pi^2 r^2 p^2 t_1^2}{256(b+f)^2} \dots \dots \text{(2式)}$ となる。

この場合の分解能 Rg はコリメーターの感度曲線 $I(\rho) = \pi^2 (\cos^4 \rho - \rho \sqrt{1-\rho^2})$ なる曲線が 2 点を走査したとき 2 点のピークが十分に分離認識しうる距離を算出して $Rg = r = \frac{f t_1 p}{b}$ とすることが適切になる。

次に平行形の多孔コリメータの場合の効率について考察すると、この場合には 1 式においてコリメータの有効面すなわちシンチレータの大きさは対称物の大きさに等しいから、 $A = p^2 N$ 、したがって、

$$Eg = \frac{\pi \pi t_1^2 t_2^2 p^2}{64b^2} \dots \dots \text{(3式)}$$

平行多孔コリメーターの分解能は Berder 方式の場合と Anger 方式の場合とでは像の作り方が異なるので同一の計算式にはならずおのの次のとく算出することができる。(算出法については紙面の都合で省略する。)

Berder 方式の分解能 $Rg \leq 2p$

Anger 方式の分解能 $Rg \leq 2.5p$

Ter-Pogossian 方式や Kellershon 方式の場合の分解能も理論的にはこれと同じになる。

次に各方式の検出特性について検討するとシンチレータを使用する方式については、クリスタルの厚さと使用する RI のエネルギーにより検出効率 Ed がきまる。NaI シンチレーターについての検出効率 Ed に関しては計算式および実験式が数多く報告されておりその数値を用いることができる。シンチレータ以外のものを検出体に用いる方式では検出効率 Ed についてのデータが不十分であるが、おののの文献より数値を取上げることとする。

検出過程において各方式とも幾何学的にきまる分解能 Rg を劣化させることになりこの値を Δ とすると Δ の要素としては、1)結晶の厚さの影響、2)光量の統計誤差によるもの、3)回路の誤差によるものなどが考えられ、これらがおのの特性分布関数として表現されれば、その convolution を求めることにより Δ を算出できるが、いずれも現段階では十分なデータがえられないので、総合的な Δ として一応 $\Delta = 0.3$ を仮定した(これは anger の検出系のみの改善実験データーを参考とした。)

以上のとく各方式について Eg , Rg , Ed , Δ , Fg , E , R および F の値を求める Table 2 のとくなる。

Positron camera および **hybrid scanner** については計算を省略したので上記に記していない。また **multistage image camera** および **rotary slit camera** については、著者等が開発中のものであるが参考までに同じ計算法による計算結果を示した。上の計算は走査以外すなわち焦点のないコリメーター方式については対称物をコリメーターより 7.6cm の位置に仮定してある。*印の数値は文献等のデーターが入手できず推定の値となっている。

以上の計算結果より次の結論をえる。

1) Anger 式のカメラは従来の走査式に比し、ピンホールで 2~3 倍多孔コリメーターで 3~10 倍の感度を有するが分解能の点で劣っており、結像力 F についてみるとほとんど同程度の性能といえる。しかし ^{99m}Tc のごとき 140KeV 位の RI を使用するときは結像力も 2~7 倍に上がっている。

2) Bender 式の **autofluoroscope** は走査式に比して感度は 3~20 倍に上っているが分解能で走査式に劣り、結像力は 2 倍が限度である。この方式で分解能を 2 倍に上げることはモゲイク 1200 個、ラットパイプ 2400、光電子増倍管 70 と膨大な装置を要する。

3) Ter-Pogossian 式のイメージ管用をいるものでは 30KeV という低いエネルギーでは感度 25 倍が期待されるが 140KeV のうちエネルギーでも走査式と大差ないも

のとなり、さらに高いエネルギーでは感度も劣る。

4) spark chamber 方式もさらにこのエネルギー依存度は大きいと考えられる。

5) 考案中の多段イメージカメラはシンチレーターと組み合わせると感度で走査式の20~40倍、結像力で10~

20倍の方式となる。

6) 同様に考案中の回転スリット式では感度で500倍、結像力500倍が期待される。

*

Table 2.

方 式	種 類	エネルギー MeV	幾何光学特性			検出特性 Ed	Δ cm	総合特性		
			Eg $\times 10^{-5}$	Rg $\text{cm} \times 10^{-5}$	Fg cm^{-2}			S $\times 10^{-5}$	R $\text{cm} \times 10^{-5}$	F
走査方式 Scintillation scanner	2" f = 5cm f = 10cm	0.36	0.76 1.57	0.41 0.82	4.56 2.36	0.79	0.3	0.60 1.24	0.7 1.1	1.2 1.0
	3" f = 5cm f = 10cm		1.72 3.59	0.50 1.00	7.28 3.59			1.36 2.83	0.8 1.3	2.1 1.6
	5" f = 10cm		14.4	1.15	10.9			10.6	1.5	4.7
Autofluoscope	a.		3.43	2	0.86	0.54	0.3	1.85	2.3	0.35
	b.		17.4	2	4.35			9.4	2.3	1.8
	c.		39.1	2.9	4.65			21.2	3.9	2.1
Scintillation camera	ピンホール a. b.	0.36	15.6 5.6	0.75 0.45	27.9 27.9	0.27	0.3	4.2 1.52	1.05 0.75	3.2 2.7
	多孔コリメータ A B		21.9 55.0	2.0 2.8	5.56 6.92			5.9 14.9	2.3 3.1	1.1 1.5
	多孔コリメータ C	0.14	38.5	1.3	22.8	0.91	0.3	35.0	2.1	7.92
		0.14 0.36	38.5	1.2	26.7	0.1*		3.9 25.1	1.2 1.2	2.7 17.3
Image intensifier		0.36	0.65							
		0.14	38.5	1.2	26.7	0.9*		3.5 2.7	1.2 1.2	24.3 1.88
Spark chamber		0.03 0.08	38.5	1.2	26.7	0.07				
		0.14	38.5	1.2	26.7	0.91		3.5 43.5	1.2 1.3	24.3 27.4
	〃	0.36	55.0	1.3	32.5	0.79		25.1	1.2	17.3
Multi stage image camera	螢光板	0.03	38.5	1.2	26.7	0.65				
		0.14	38.5	1.2	26.7	0.6		56.2	0.8	87.8
Rotary slit camera		0.36	93.6	0.8	1462	0.6				

22. RIシンチスキャニングの検出限界に関する基礎的研究

本田 昂 松平正道 久田欣一
(金沢大学放射線科)

Basic phantomについて各核種に対するpositiveおよびnegative像の検出の限界を知る目的で以下の実験を試みた。basic phantom内の各種直径の中空球体をとり

つけ^{99m}Tc, ²⁰³Hg, ¹³¹I核種を用い target to nontarget ratio の変化とともに positive 像の検出限界を周囲比放射能の変化とともに検討した。直径30cmの球体については周囲の比放射能(約10⁻¹~10⁻²μCi/ml)の5倍以上の濃度がある場合はどの深さにあってもシンチスキャニ上識別可能であるが、2.0cmの球体については最適のコントラスト条件下においてのみ識別可能である。1.0cmの球体の検出には周囲のおよそ50倍以上のRI濃度が