シンチスキャンナーヘッドにおけるクリスタル・コリメーター 等と解像力、感度等との相互関係について (第1報)

江藤秀雄, 土屋武彦, 新発田杏子

(東京大学医学部放射線医学教室)

(昭和 33 年 9 月 17 日受理)

緒 言

γ 線を放出するラジオアイソトープを投与し、放出される γ 線を体外から測定して、ラジオアイソトープの組織における沈着分布の状態をシルエットとして得るシンチグラム法は、甲状腺疾患のみならず、肝臓やその他の臓器の疾患の診断に利用されている。それらの各臓器は、大きさ、形状、あるいは体全体に対するその臓器の沈着率などが異なるために、シンチレーション・カウンタに対する種々の物理的条件が等しくない。したがって同じシンチレーション・カウンタであっても、各臓器に対する、その性能が同じであることは期待できない。そこで筆者は、現在所有している各シンチレーション・クリスタルと、数種のコリメーターの組合せについて、クリスタルの大きさ、コリメーターの形状、**rate down ratio**と、シンチグラムにあらわれる像の状態の変化を調べ、実用価値に対する可能性および改良すべき諸問題の指針を得ることを目的として、第1回目の試みとして、点線源および平面線源について、いろいろの距離における解像力、感受性について、測定結果とシンチグラムの両面より検討した。

幾何学的考察

シンチグラムの客観性向上のために要求される解像力の改善、感受性の向上の問題には、クリスタルの大きさ、コリメーターの形と大きさに関する

問題、および放射線の強さの逆2乗の法則に従うことによって起る問題などがあげられる。図1は、コリメーターが、コーンの場合を示すが、図のように、クリスタルとコーンの関係が幾何学的に合理的な位置に点線源Sを置いて、これを同一平面上で移動させると、Ab線上に、P点 came 場合

第2図

第1図

第3図

を境として、線源からの放射線は、クリスタルに到達しなくなる。したがってSPが小さくなるほど、解像力がよくなることになる。したがって、平面線源に対しての感度について考えると、Sを中心とし、SPを半径とする円内の線源より放出された放射線が、クリスタルに入ることとなり、解像

力がよければ、クリスタルからみる線源は、小さいものとなり、計数は小さくなって見掛け上の感受性は低下したようにみられ、感受性と解像力とは、平行関係にはならない。

図1より

$$\frac{x_2}{x_1} = \frac{y_2 - y_1}{y_2} \dots\dots\dots (1) \quad y_2 - y_1 \neq 0$$

$$\frac{x_1/2 + x_2/2}{x_1/2 + x_3} = \frac{y_1}{y_2} \dots\dots (2)$$

$$(1)(2) \text{ より, } x_3 = \frac{y_2}{y_1} \cdot x_2 = \frac{(y_2 - y_1)}{y_1} \cdot x_1 \dots\dots\dots (3)$$

$x_3=0$ にすることは、実際上不可能なことがわかる。 x_3 を可及的小にするには、 x_1, x_2 を小にするか、 $y_2 - y_1$ を小にするか、あるいはまた y_1 を大きくすることになる。さらに、ここに感度の問題を考慮に入れると、解像力には限度があり、このままでは、シンチグラムの客観性は、満足すべきものではない。

線源を critical distance の内側に置くと、(図1では S' の位置) 解像力はさらに向上する。(図1では、 x_4 だけ分布範囲が狭くなる。) 反対に外側に置くと、解像力は低下する。(図1では x_5 だけ短縮される。)

以上のことから、コーンの直径 (x_2) を、可及的小にするか、あるいは y_1 を大きくしなければならない。その場合には、いずれの場合であっても、感度の低下が起る。そこで、これを補足するのに、ハニコン・コリメーターが考えられる。

クリスタルが直径1インチのもののハニコンについて言えば、コーンが7つ、図2のような切口を持ったもので、ハニコンの先から10cmのところまで各コーンの、のぞむ点が一致するようになっている。かつまた、図3に示すように $AB=CD=EF$, $BC=DE$, $ab=cd=df$, $bc=de$ であるように設計されている。そこで、これらの半影について考えてみると、簡単な幾何学的計算から、各コーンの半影は P 点で一致することがわかる。もし単なるコーンで、10cm の点を望むよ

うにしたならば、その半影は P' の点まであり、明らかに半影の増大を起すことになるから、ハニコンを使用すれば、その解像力は高まることがわかる。しかしながら、クリスタルの有効面積は非常に小さくなることと相俟って、感度の低下は免がれ得ない。

以上の幾何学的関係はあくまでも、クリスタルが、点線源をのぞみ得る範囲についての考察である。しかし、そののぞみ得る範囲内においても、例えば、 S 点のように、クリスタル全体が線源をのぞむ場合と、 P 点のように、クリスタルの一部が、やっと、のぞまれる限界点とでは、実際上、おのずからその計数が異なってくる。したがって、 S 点における計数と、 P 点に至るまでの各点での計数の比率が問題となるわけであり、それが実際上、どのような形を示すかをみるのが重要である。そこで、つぎのような実験を行った。

実 験

われわれが現在所有しているシンチスキャンナーに使用するカウンタは、クリスタルの大きさが、 $0.5''\phi \times 2.0''$, $1.0''\phi \times 0.5''$, $2.0''\phi \times 2.0''$ の3種類であり、 $0.5''\phi \times 2.0''$ および $1.0''\phi \times 0.5''$ のもののコリメーターは理化学研究所に依頼して試作したもので、 $2.0''\phi \times 2.0''$ のものは、米国リードカーチス社のハニコン・コリメーターである。それらについて表1に示すようなコリメーターの種類がある。クリスタルとコリメーターの組合せについて、おのおのの幾何学的 critical distance を計算し(表1)、それを含め、その前後と計3ヶ所 (practical distance を含む) において、おのおの点線源および円形の平面線源 ($4\text{ cm}\phi$) を用いてその感度と強度分布を検べた。さらに、その結果に基づいて、その同じ線源を用いて、critical distance および practical distance に重点を置いて、適宜、シンチグラムを作成し、クリスタル、コリメーター、線源の幾何学的関係、コリメーターの形状、スケールの選定などの諸因子と感度および解像力との関係について

表 1 点線源 (^{131}I) についての実験

クリスタルの直径	コリメーターの直径	コリメーターの先端からの critical distance	コリメーターの先端からの距離		
$0.5''\phi \times 2.0''$	0.5 cm	4.5 cm	2.0 cm	4.5 cm	6.0 cm
	0.75 cm	9.6 cm	5.0 cm	9.6 cm	15.0 cm
	1.0 cm	23.0 cm	10.0 cm	23.0 cm	
$1.0''\phi \times 0.5''$	0.5 cm	1.8 cm	1.0 cm	1.8 cm	10.0 cm
	1.0 cm	4.5 cm	2.5 cm	4.5 cm	7.0 cm
	1.5 cm	9.5 cm	5.0 cm	9.5 cm	15.0 cm
	ハニコーン	10.0 cm	5.0 cm	10.0 cm	
$2.0''\phi \times 2.0''$	2.5 cm (ハニコーン)	4.5 cm	4.5 cm	10.0 cm	15.0 cm

表 2 平面線源 (^{131}I) についての実験

クリスタルの大きさ	コリメーターの直径	コリメーターの先端からの距離		
$0.5''\phi \times 2.0''$	0.5 cm	4.5 cm		
	0.75 cm	9.6 cm		
	1.0 cm	10.0 cm	23 cm	
$1.0''\phi \times 0.5''$	0.5 cm	1.8 cm		
	1.0 cm	5.0 cm	10 cm	15 cm
	1.5 cm	9.5 cm		
	ハニコーン	5.0 cm	10 cm	15 cm
$2.0''\phi \times 2.0''$	2.5 cm (ハニコーン)	5.0 cm	10 cm	15 cm

の資料を得た。表 1, 2 には, 資料収集を具体的に記載してある。

の内部においては, さらに分布範囲が狭くなるの

結果と考察

点線源について

点線源について言うと, 強度分布の範囲が狭小であることが解像力の向上となることは, 自明のことである。その点から見れば, コーン・コリメーターの入射口が小さいほどよいことは, 理論的にもまた図 4 に示すように, 実験的にも認め得る。ここで用いたコーン・コリメーターでは, 直径 0.5 cm のもので, 線源より 5 mm 離れているところで, 中心における強度の 50% 位であるから, 2 点線源の場合, このコリメーターを用いる時, 理論的には, 両線源間距離が 1 cm 以上離れていなければ解像できないことになる。また critical distance

第 4 図

第 5 図

で解像力が, よくなることは, 実験でも証明された。このことを考慮に入れると, 臨床的には **critical distance** を最大に決定したものをを用いれば, それより浅部にある臓器のシンチグラムの作成には差支えないことになる。臨床上実用的な距離は, 大体10cm 位であるので, 一応 **practical distance** を10cmとした。(つまり **critical point-cone** 間距離 y_2-y_1 に相当する。) その場合の強度分布は図5のようになる。図5からわかるように, 比較的深層に線源がある場合, <クリスタル 0.5"φ×2.0">と<クリスタル 1.0"φ×0.5">がよく, <2.0"φ×2.0"クリスタル>はハニコンであってもクリスタルが大きく, また半影も大きくなるために, 感度がよくても, 解像力にすぐれているとは限らない。クリスタルが1"φでハニコンの場合, 5mm 外側で, 強度が, 中心の50%位となり解像力はいよい。解像力および感度の両者を考慮すると, 距離10cm では, <クリスタル 0.5"φ×2.0", コーン 0.75cm>, <クリスタル 1.0"φ×0.5", ハニコン>が, 現在所有のものでは, 解像力が最もよく, 距離5cm を許せば, 以上2組のほか, <クリスタル 1.0"φ×0.5", コーン 1.0cm>と<クリスタル 2.0"φ×2.0", ハニコン>を加えることができよう。

円形平面線源について

この線源については, 測定およびシンチグラムの作成とを行った。0.5"φクリスタルと1.0"φク

リスタルのシンチレーション・カウンターを使用したものは, ネオンランプ・フィルム法でとり, 2.0"φのものは, リードカーチス社のスキャンナーを使用してプリント法によってシンチグラムを作成した。

第 6 図

第 7 図

図6は各コリメーターが **critical distance** にある場合の強度分布である。点線源の場合と同じように<クリスタル 0.5"φ×2.0"でコーン 0.5cm,>と<クリスタル 1"φ×0.5"のハニコン>がすぐれている。この強度分布でみられる1cm 近くでの計数比の低下は平面線源が均等でなかった部分を測定したためで, これはシンチグラムによっても認めることができる。また **practical distance** (第7図) でもやはり点線源の場合と同じく<クリスタル 1.0"φ×0.5"でハニコン>がよいことを示している。これらを実際のシンチ

グラムで比較する。

(線源 $4\text{ cm}\phi$, ^{131}I) 図8はクリスタル $1''\phi$ でハニ
 コーンの場合で距離がそれぞれ A—5cm, B—

第8図

A

B

C

10cm, C—15cm でBが practical distanceで
 ある。これらの3つを比較すると A, B は線源
 の不均等性がよくあらわれているが, C でははっ
 きりしない。これは理論的考察と一致している。
 図9は同様のクリスタルでコーン 1.0 cm のもの

第9図

A

B

C

である。距離はやはり A—5cm, B—10cm, C

—15cm。図8と比較すると,その解像力が低下することがよくみられる。図10はクリスタル $2''\phi \times 2''$ でハニコーンを使用した場合であるが,前述の

第10図

A

B

ようにプリンティング法であるので中央部で計数が増大した部分の記録があまりきれいではないが,いずれにしても形状は図8の場合ほどではなく測定結果と一致している。距離は A が 5 cm, B が 10cm である。

図11は<クリスタル $0.5''\phi \times 2''$ で, コーン 0.75 cm >のもので practical distance 10cm にとったものである。A, B, C はそれぞれ rate down-ratio を, 4, 8, 16 とした。これでわかるようにやはり図8のクリスタル $1''\phi$ でハニコーンほ

どの解像力を示さない。また rate down ratio による像の変化がみられる。

これは線源の強度, scanning speed とのかねあいにより変化するものであるので, シンチグラムの客観性にとって重要な点であることはいうまでもない。しかもそれぞれの場合において決

第11図

A

B

C

定しなければならないが現在まだこれを客観的に決定する方法はない。

ハニコーンの場合、解像力は増大するがバックグラウンドに対する比が低くなるとことは、図8～図11を比較するとよくわかる。以上のことを総合すると線源が小さい場合、いいかえれば臓器が小さく比較的大量に存在する場合はハニコーンがよく、臓器が大きい場合はコーンの方がよいと考えられる。しかしながら実際には線源は立体であるのでこのような点線源、平面線源についての実験だけでは解像力を論じることはいできない。実際上で要求される立体線源および複数の線源に対する解像力、および線源の強度などとの関係について現在実験を行っている。さらに scanning

speed,あるいはさきに少しばかりふれたが rate down ratio についても問題があるので今後、これらの点についての実験をさらに行う予定である。

文 献

- 1) Joseph P. Concannon and F. Bolhuis: Studies with a Modified Collimator for Use with Scintillation Counter for Total Body Scanning, *Am. J. Roent.*, 78, (5) 885 (1957)
- 2) Miller, E. R., Scofield, N. E.: Studies with Radioiodine. IV Collimating Cones for Crystal Counters. *Radiology*, 65, 96-107 (1955)
- 3) 江藤秀雄, 土屋武彦: シンチグラム描記装置の試作とその実用化, 日医放誌, 16, 748-51 (1956)

Reciprocities between Crystal or Collimator and Resolving Power or Sensitivity in the Scintillation Counter of the Scanner

By

Hideo ETOH, Takehiko TSUCHIYA and Kyoko SHIBATA

(Department of Radiology, Faculty of Medicine, University of Tokyo)

(Received September 17, 1958)

The scintigram obtained as a silhouette of the distribution of radioisotope in the organ is well-known for diagnosis of the diseases of the thyroid and other organs like liver or brain.

The authors will report objectivity of their own scintiscanner as regards the size or shape of its collimators and the size of its scintillators, using the point and plate sources of ^{131}I .

The authors have 0.5"×2.0" crystal with cone collimators of 0.5, 1.0, 1.5 cm in diameter and the honey-cone, 1.0"×0.5"

crystal with the cones of 0.5, 0.75 and 1.0 cm, and 2.0"×2.0" crystal with the honey-cone collimator. These matters seem theoretically dependent on the geometric relation among such factors of crystals and collimators as described above, and the so-called inverse square law. The experiments were carried out on the plane, of geometrically critical distance and in and outside the same plane, including on that of the practical distance. And the scintigrams were made for the purpose.

In the conceptional point of view the smaller in size both the collimator and the crystal are, the easier resolution of scintigram will be found. The scintigram by the honey cone collimator has penumbra only $1/3$ as broad as the cone. But at the same time it is unavoidable to see the apparent sensitivity lower.

The results could be summarized that, in the case of 10cm, the cone-source distance necessary for the clinical use, $1.0''\phi \times 0.5''$ crystal-honey cone and $0.5''\phi \times 2.0''$ crystal-0.75 cm cone may be of good use, and in 5 cm distance, $1.0''\phi \times 0.5''$ crystal-1.0 cm cone and $2.0''\phi \times 2.0''$ -honey cone prove efficient for the resolution of scintigram in practical and in theory. And also it

happens the sensitivity falls fairly sharply, because the effective area of the crystal decreases. It is taken for granted that scintigrams in the plane at the critical distance or inside should be most useful for the resolution of scintigrams, and outside the same plane, that should be insufficient. This geometrical relation may be accounted for as to the area the crystal covers all the point source around. Therefore the three-dimensional source should be experimented and so should be the plural sources. In addition to the geometrical problems, the authors intend to observe the relation between the scanning speed and the rate down ratio of the recording signal for the counts.