OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	Di/Con Collimatorの試作とその物理的特性
Author(s)	松本, 政典
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1977, 37(2), p. 168-177
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16123
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

Di/Con Collimator の試作とその物理的特性

熊本大学医学部放射線医学教室（主任：片山健志教授）
松　本　政　典

（昭和51年6月17日受付）
（昭和51年8月13日最終原稿受付）

Physical Characteristics of Experimental Low-energy Di/Con Collimator

Masanori Matsumoto
Department of Radiology, Kumamoto University Medical School, Kumamoto
(Director: Prof. Kenshi Katayama)

Research Code No.: 705
Key Words: Di/Con collimator, MTF, FWHM

A new low-energy diverging converging collimator (Di/Con collimator) was designed and constructed. The new collimator has about 4000 circular holes, 30 cm in focal length from the converging face, and 3.5 cm in thickness. In the diverging mode, the useful field of view is 27 cm at the surface and 35 cm at 10 cm from the surface, while in the converging mode, they are 22 and 14 cm, respectively.

The physical characteristics of this new collimator were compared with 4000-hole parallel-hole collimator, middle-energy diverging collimator, and two pinhole collimators ($\phi = 4.6$, 3.2 mm). The middle-energy diverging collimator has a useful field of view at the surface of 28 cm, 1200 circular holes, and 60 cm in focal length.

The values of count density (counts/cm^2), measured with ^{99m}Tc and normalized to the 4000-hole parallel collimator, were 2.35, 1.57, 0.96, and 0.27 for the diverging mode of the new collimator, converging mode, middle-energy diverging collimator, and 4.6-mm pinhole collimator, respectively. The uniformity and the linearity in both modes were good on the useful field.

Modulation transfer function (MTF) and full width at half maximum (FWHM), were obtained from the measured line spread function for ^{99m}Tc at the collimator-to-object distance from 0 to 20 cm in air.

In the converging mode, spatial resolution of the new collimator was better than the 4000-hole parallel collimator at the collimator-to-object distance from 0 to 13 cm but less so at other distances, and less than the two pinhole collimators at all distances. In the diverging mode, it was better than the middle-energy diverging collimator at the distance from 0 to 5 cm but less at other distances. However, in comparison of the data on the useful field of view, the new collimator was better than the middle-energy diverging collimator.

I. 緒　言

現在，我国においては約 300台のガンマカメラが稼働している．その大半は有効視野25cm のガンマカメラであり，大きな臓器のシンチグラフィには，視野拡大用のコリメータとしてダイバージングコリメータが利用されている．特に骨シンチグラフィや ^{67}Ga による腫瘍シンチグラフィの場合，全身のサーベイが必要であり，全身スキャナや全身カメラが有用であるが，有効視野25cm のガンマカメラを利用する場合は，全身をカバーするために十数枚のシンチホトが必要であり，イメージングに長時間を要する．しかし，患者の負担を少なくするためにはできるかぎり短時間で終る必要があり，そのためには視野拡大用のダイバージングコリメータの利用が必要となる．

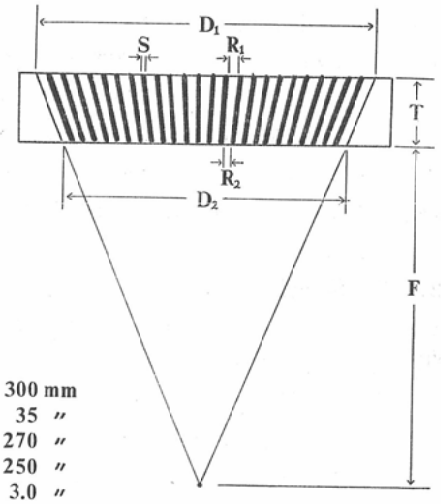
また，小児ならびに小臓器のシンチグラフィには視野が大きすぎて無駄な部分が生じるので，像を拡大し総合分解能の向上を計るためのコンバージングコリメータの開発が報告[1)2)9)11)~15)]されており，その多くは従来のダイバージングコリメータを逆にしたもの[13)14)15)]または高エネルギーγ線用[1)2)]である．

一方，シンチグラフィ用 RI 医薬品の開発はめざましく，現在では，膵臓を除くほとんどの器官のシンチグラフィが，ガンマカメラに対し最適エネルギーのγ線を放出する ^{99m}Tc 製剤によつて行なうことができるようになつた．これに伴なつて，平行多孔型コリメータとしては約15,000～20,000孔の高分解能コリメータが開発され普及しているが，ダイバージングコリメータとしては従来の 1,200孔程度のものが利用されており，我々も骨ならびに肺シンチグラフィに利用してきた．しかしながら，それは ^{198}Au や ^{131}I のγ線に対して作られており，^{99m}Tc に対しては，もつと特性の良いダイバージングコリメータの製作が必要であり，その製作も可能であろうと考えた．また，我々は ^{99m}Tc パーテクネテイトによる胃シンチグラフィの研究[4)]を行なつているが，この場合，胃の拡大像を得ることが研究の発展につながると考え，ピンホールコリメータより感度の良い低エネルギーγ線用コンバージングコリメータの必要性が大となつた．

最近，^{99m}Tc用のコンバージング[9)12)]やDiverging/Converging コリメータ[11)]の試作およびその性能に関する報告が２，３見られるが，著者も上記の理由により，Kibby[6)], Mckeighen[8)], Murphy[11)12)], Moyer[9)] 等の論文を参考にして，低エネルギー用ダイバージング兼コンバージングコリメータ（以下，Di/Con col. と略記する）の試作を行ない，1975年１月より使用を開始した．臨床応用に先立ち，この試作 Di/Con col. の物理的特性について他のコリメータと比較検討し，一応満足すべき結果を得たので報告する．

II. 幾何学的特性

試作した Di/Con col. の geometrical specification は Fig. 1 に示す通りで，厚さ35mm，孔の



F : 300 mm
T : 35 〃
D_1 : 270 〃
D_2 : 250 〃
R_1 : 3.0 〃
R_2 : 2.6 〃
S : 0.7 〃
Number of holes : 4000

Fig. 1. Geometrical specification of experimental Di/Con collimator.

直径はダイバージング（以下 div. と略記する）側で 3.0mm，コンバージング（以下 conv. と略記する．）側で 2.6mm の円形，孔と孔の間の隔壁の厚さ 0.7mm，孔の数約 4,000焦点距離30cm，そして鉛製である．

III. 実験材料および装置

コリメータ：試作 Di/Con, 4,000孔平行多孔型（4,000 par. と略記する），1,200孔ダイバージング（1,200 div. と略記する），ピンホール（ϕ= 3.2，4.6mm)

鉛バーファントム：空間分解能測定用（グリッド間隔：4.8，6.4，9.7，12.5mm)，直線性測定用

線源：直径30cm の平面線源，直径10cm および5 cm の円盤状線源，内径 0.6mm のポリエチレンチューブに RI を密封しアクリル板に固定した線状線源，点状線源．

放射性同位元素：^{99m}Tc

ガンマカメラ：GCA- 102

データ処理装置：USC- 1

IV. 実験方法

1. 直線性

直線性測定用鉛ファントムをシンチレータ面に密着し，約3 m の所に置かれた ^{99m}Tc 点状線源によりコリメータを装着しない状態での直線性を測定し，次に，Di/Con col. を装着し，コリメータ面に鉛ファントムおよび直径30cm の平面線源を密着し，div. 側および conv. 側の直線性のイメージを得た．

2. 感度均一性

シンチレータから約3 m の距離に置かれた ^{99m}Tc 点状線源によりコリメータを装着しない状態での感度均一性の測定を行ない，次いで，コリメータを装着し，直径30cm の平面線源をコリメータ面に密着して測定した．ただし，ピンホールの場合はコリメータから10cm の距離に平面線源を置いて測定した．Data はポラロイド写真を撮るとともにデータ処理装置にてプロフィルヒストグラムを求めた．

3. 有効視野

感度均一性の測定結果よりシンチレータ面での有効部分は直径24cm 程度であつたので，これを基準にして拡大縮小型コリメータの有効視野の計算を行なつた．5 cm 間隔で6本並べた線状線源を用いて，コリメータ面から種々の距離におけるイメージをデータ処理装置に 256×32のイメージマトリックスで記憶させ，各 line 間のチャンネル数より拡大縮小率を求め，有効視野を計算した．また，幾何学的に計算でも求めた．

4. 感　度

直径10cm および5 cm 円盤状線源を用い，線源とコリメータ間の距離を変化させ，空中にて全計数率を測定し，計数効率を求めた．同時に，データ処理装置に64×64で記憶させ，シンチレータ中心部の約6 cm^2（6×6絵素）当りの計数率を求め，それより単位面積当りの計数率（計数密度，counts/cm^2）を求めた．得られた data については，4,000 par. col. 面上のそれを1とし，これに対する相対値を求めた．

5. 空間分解能

鉛バーファントムを直径30cm の平面線源と密着し，コリメータを装着しない状態で固有分解能を現わす像を，コリメータを装着した状態でコリメータ面とファントムの距離を変化させてバーファントムの像を撮影した．また，線状線源およびデータ処理装置（イメージマトリックス：256×32）を用いて，コリメータ面から種々の距離におけるX軸方向の line spread function の測定を行ない，それより半値幅（FWHM）およびレスポンス関数（MTF）を計算した．

測定はすべて，140KeV，20%で行なつた．感度均一性，空間分解能のポラロイド撮影は 100万カウント，直線性の撮影は30万カウントで行なつた．実験4（感度）では，統計誤差が1%以下になるよう測定した．

V. 実験結果

1. 直線性

Fig. 2に示すように，有効視野内でX軸方向に少し歪みが認められるが，Y軸方向は良好であつた．

2. 感度均一性

Fig. 3に感度均一性のイメージおよび視野の中心X軸方向のプロフィルヒストグラムを示す．試作 Di/Con col. は 4,000 par. col. および 1,200 div. col. と同様良好であつた．ピンホールは，

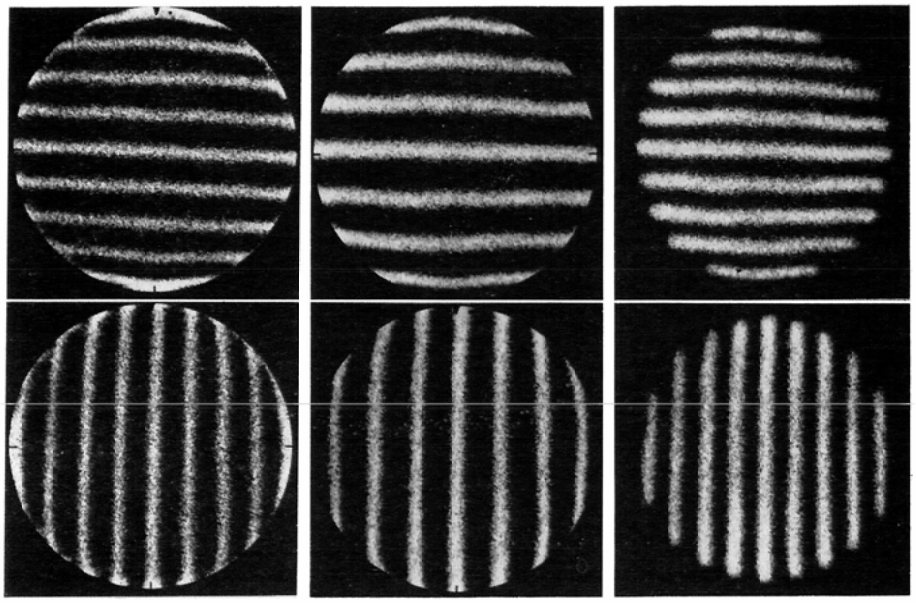


Fig. 2. Linearity of experimental Di/Con collimator.

この4者と異なり中心部の感度が最も高く，視野の周辺部で低くなつており，それは中心部の約60%程度であつた．

3. 有効視野

実験値と計算値はほとんど一致した．Fig. 4に示すように，試作コリメータの div. 側の有効視野はコリメータ面で直径27cm，コリメータ面から5，10，15cm の距離でそれぞれ31，35，39cmであり，conv. 側でそれぞれ22，18，14，11cmであつた．その他のコリメータについては Fig. 4に示す通りである．

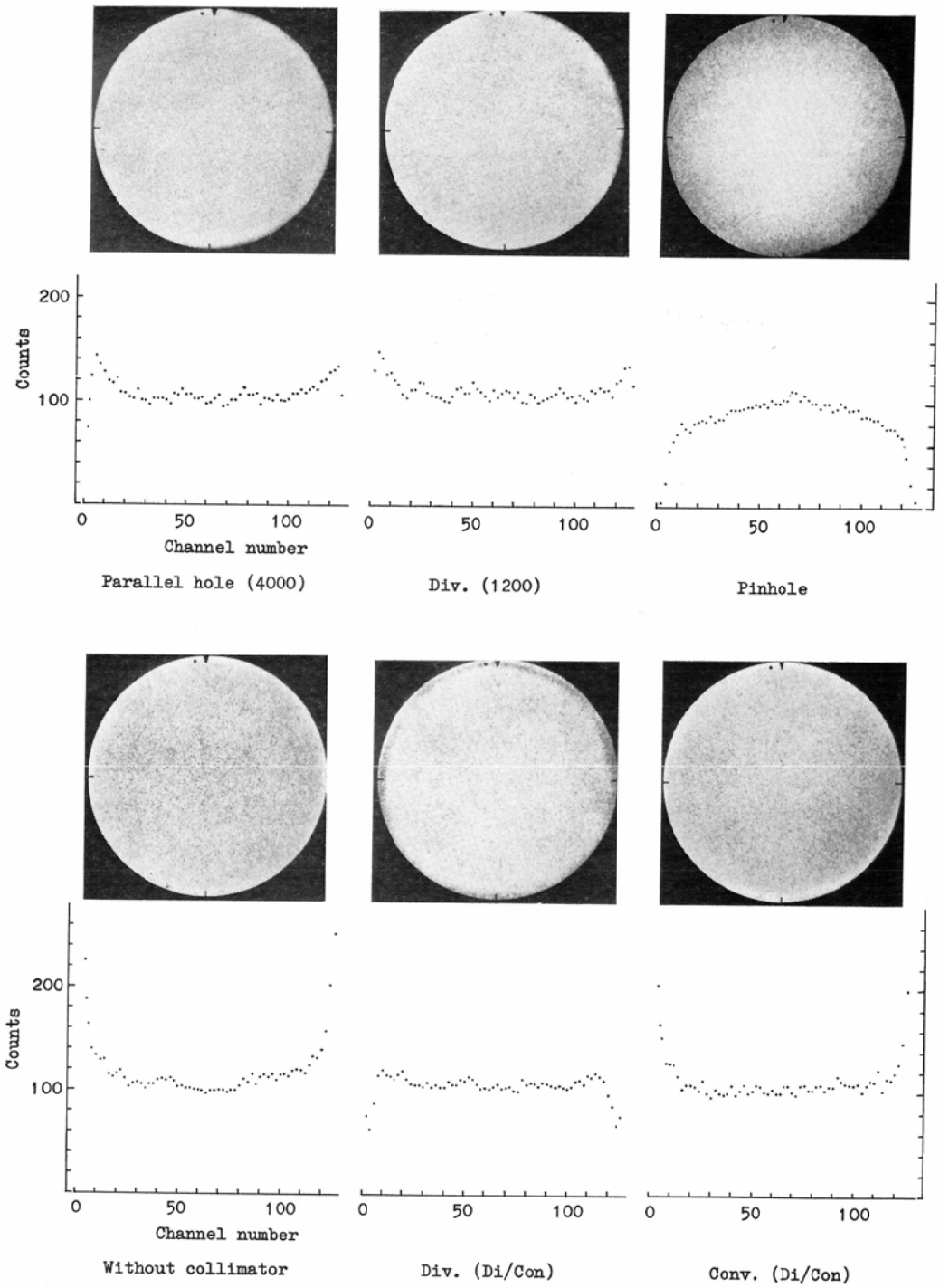
4. 感　度

相対計数効率を Fig. 5 に示す．4,000 par. col. はコリメータからの距離により計数効率の変化がほとんどなく，1,200 div. col. は徐々に減少し，ピンホールは急激に減少した．一方，試作コリメータは，div. の場合徐々に減少し，コリメータ面で4,000 par. col. の約1.7倍，1,200 div. col. の 2.7倍であり，コリメータから10cm の距離でそれぞれ 1.1，2.3倍であつた．conv. の場合，距離とともに急激に増大し，コリメータ面で4,000 par. col. の 2.2倍，10cm の距離で 4.8倍，口径 4.6および 3.2mm のピンホールのそれぞれ 7.7，13.1倍であつた．

相対計数密度（ガンマカメライメージングではこれが重要である．）は Fig. 6 に示すように，計数効率と異なつて全コリメータともコリメータからの距離による変化はほとんどなかつた．4,000 par. col. の相対計数密度の全体の平均値を1とすると，1,200 div. col. およびピンホール（4.6，3.2mmϕ）のそれはそれぞれ0.96，0.27，0.13であり，試作コリメータは，div. mode で2.35，conv. mode で1.57であつた．また，試作コリメータの div. mode では 1,200 div. col. の2.45倍，両ピンホールの 8.8，18.1倍であり，conv. mode では両ピンホールの 5.9，12.0倍であつた．試作コリメータは他コリメータに比べ高感度であつた．

5. 空間分解能

鉛バーファントムの像を Fig. 7 に，MTF を Fig. 8 に，FWHM のコリメータ面からの距離による変化を Fig. 9 に示す．試作コリメータの



Fi. 3. Uniformity of collimators.

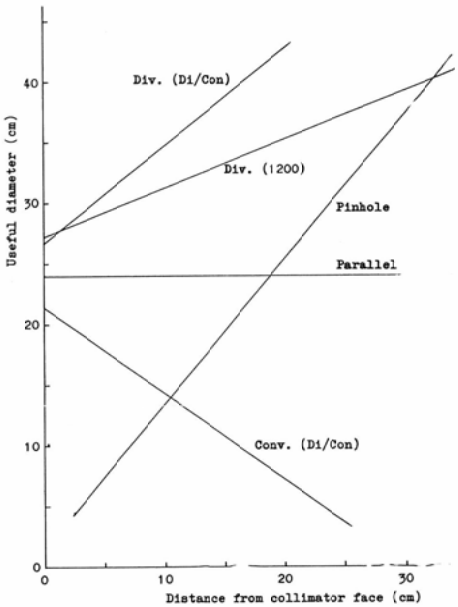


Fig. 4. Useful field of view for collimators.

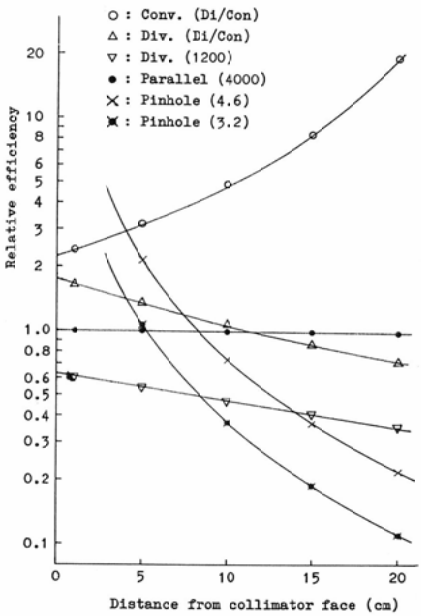


Fig. 5. Relative efficiency. Normalized to value of 1.0 for 4000-hole parallel-hole collimator face.

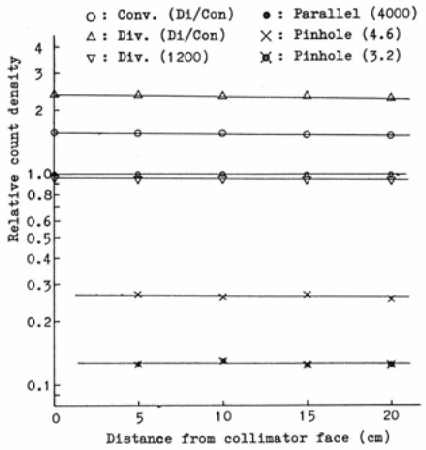


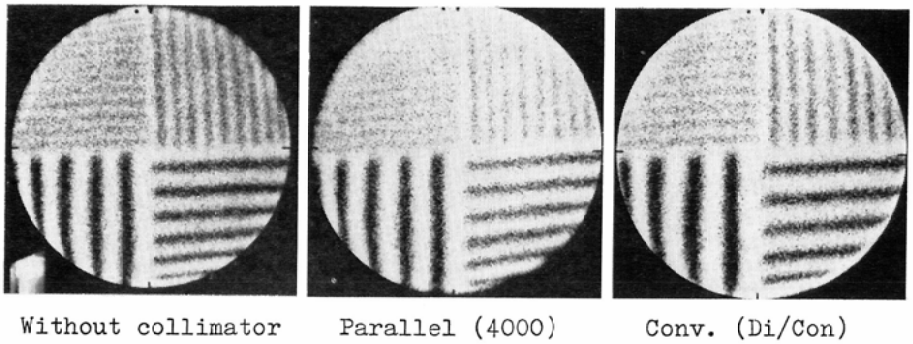
Fig. 6. Relative count density. Normalized to value of 1.0 for 4000-hole parallel-hole collimator.

conv. 使用の場合，コリメータ表面から13cm 程の所までは 4,000 par. col. より優れていた．Div. 使用の場合，コリメータ表面近くで 1,200 div. col. に見られる moire pattern は表われなかつたが，コリメータ面から離れるに従つて分解能は急速に劣化し，1,200 div. col. より劣つていた．

一方，有効視野と FWHM の関係を Fig. 10に示す．甲状腺程度の臓器に適当な直径10～15cm の有効視野では，試作コリメータの conv. よりピンホールの方が格段に優れていた．また，有効視野28cm 程度では各コリメータ間にあまり差が見られないが，40cm 程度では 1,200 div. col. より試作コリメータの方が優れており，ピンホールは更に優れていた．

VI. 考　察

本研究においては，ガンマカメラの視野拡大および像の拡大ならびに分解能の向上を目的として低エネルギーγ線用 Di/Con コリメータの試作を行ない，その物理的特性について実験的検討を行なつた．その結果，試作コリメータの特性としては次のように述べることができる．感度均一性，直線性については実用上問題は認められず良好であつた．有効視野は，初期の目的通り満足できるものが得られ，div. 側でコリメータ面から20cm



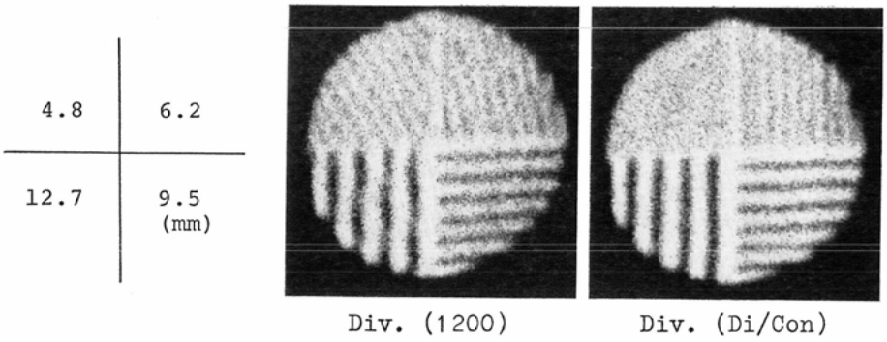


Fig. 7. Images of bar phantom at collimator face.

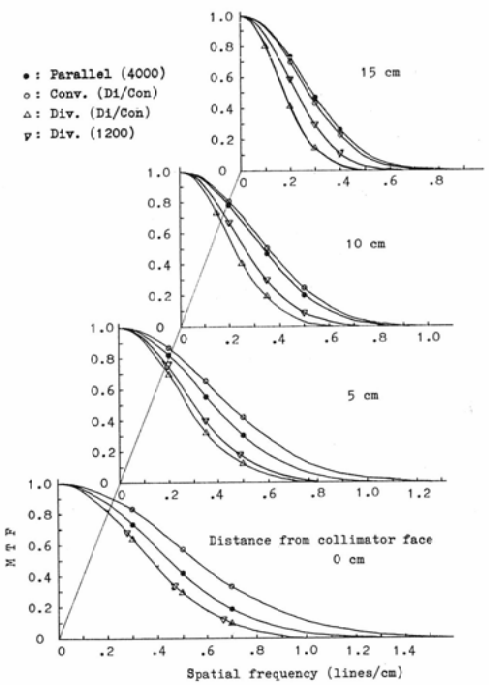


Fig. 8. Modulation transfer functions of collimators.

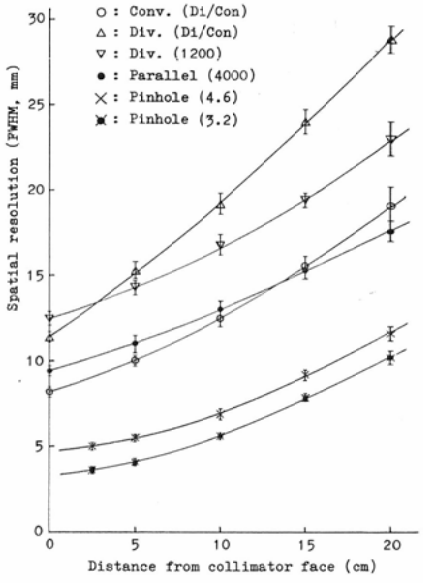


Fig. 9. Spatial resolution (FWHM) in air as function of distance from collimator face.

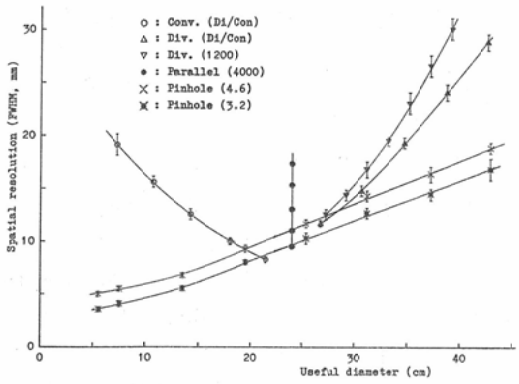


Fig. 10. Spatial resolution (FWHM) in air as function of useful field of view.

の距離で直径43cm，conv. 側10cm の距離で直径14cm の有効視野であつた．しかし，短焦点であるのでコリメータ軸方向の像の歪みが強く現われるため，厚みのある臓器の場合，イメージの読影に当つてはそれを考慮しなければならない．

感度については，コリメータ間の比較を行なう場合，そのほとんどにおいて計数効率の比較がなされている[9)~12)14)~16)]が，しかしながら，ガンマカメライメージングにおいては，計数効率（すなわち全計数値）はイメージの質を決定する因子とは必ずしもいえず，計数密度の方がより重要な因子である．そこで，この研究においては，計数効率の比較も一応行なつたが，感度に関しては計数密度を重視した．それによると，他コリメータに比べて高感度となつており，div. 側で1,200 div. col. の 2.5倍，ピンホール（4.6mm)の 8.8倍，conv. 側で4,000 par. col. の 1.7倍，ピンホール（4.6mm）の6倍であつた．空間分解能は，conv. 側で 4,000 par. col. より少し改善され，div. 側では，同一有効視野で比較した場合1,200 div. col. より良好であつた．

従つて，試作コリメータを div. で使用した場合，従来の 1,200 div. col. に比べて空間分解能を損うことなく，視野の拡大および感度の増大が実現され，臨床上，特に骨シンチグラフィにその威力を発揮し，我々のイメージング法では全身（正面および背面）像を得るのに 4,000 par. col. で約 1.5～2時間，1,200 div. col. で60分以上要するのに対し，試作コリメータでは30分弱で終了することができる[3)]．しかし，病変部が陰影欠

Table 1. Comparision with determination of characteristics of the experimental collimator by other investigators.

	Investigator	Number of holes	Thickness (mm)	Focal length (cm)	Useful field (cm)		Sensitivity[a)]	FWHM(mm)	
					0 cm	10 cm		0 cm	10 cm
Diverging	Matsumoto (Di/Con)	4000	35	30	27	35	2.5	11.4	19.2
	Murphy (Di/Con)	12000	30?	45	27	32	2.0 [b)]	MTF	
	Tetalaman	11500	?	57	28	?	2.0 [b)]	?	
	Matsumoto	1200	80	60	28	32	1.0	12.5	16.8
Converging	Matsumoto (Di/Con)	4000	35	30	22	14	1.7	8.2	12.8
	Murphy (Di/Con)	12000	30?	49	22[b)]	14[b)]	1.3 [b)]	MTF	
	Moyer Murphy	6000	63	35	21	15	0.43[b)]	7.2	8.4
	Prince Rudin Tamiya	1200	76	53	20[b)]	16[b)]	0.49[b)]	10[c)]	15[c)]
Parallel (Matsumoto)		4000	45		24		1.0	9.4	13.0

a) In divergin, relative count density to 1200-hole diverging collimator, and in converging, to 4000-hole parallel-hole collimator.
b) This valeu was caluculated from data reported by the investigator.
c) Over all resolution.

損として現われる ^{99m}Tc-MAA による肺，^{99m}Tc-colloid による肝のシンチグラフィには，空間分解能が重要であるので試作コリメータは適当でないと考える．一方，conv. の場合は，高感度であるが像の拡大による空間分解能の改善は少なく，この面では試作の目的を達し得なかつた．臨床上は小臓器および幼児のシンチグラフィに有効である．また，データ処理を行う場合，64×64のイメージマトリックスでは我々の利用しているガンマカメラに対しては粗すぎて分解能の損失をまねくため，少なくとも 100×100以上のマトリックスが必要である[7]．しかしながら，データ処理装置の記憶容量の面から制限されてイメージマトリックスの拡充は困難である．そこで，逆に conv. col. により目的の部位を拡大してやれば，イメージマトリックスを拡大したのと同じ効果を得ることができる．実際，^{99m}Tc による胃シンチグラフィの研究[5]に非常に役立つている．しかし，甲状腺については高空間分解能が要求されるため，ピンホールにとつて代わることはできなかつた．

この試作コリメータの特性について他研究者の報告との比較を Table 1に示す．ただし，使用したガンマカメラに相違があるので正確な比較とはいえない．それによると，Murphy 等の報告した Di/Con col. と比べて，試作コリメータはやや短焦点，高感度で，MTF は conv. 側でほとんど差がなく，div. 側では少し劣つていた．Conv. col. では，Moyer[9]，Murphy 等[12]の報告しているものが感度は低いが，非常に優れた空間分解能を示している．試作 Di/Con col. は製作技術の面で厚さを35mm にせざるを得なかつたため，div. としては充分な利益が得られたが，conv. としてはその主目的である空間分解能の向上があまり認められなかつた．この目的を達成するためにはやはりコリメータの厚みを増すのが最も適当と考える．

VII. 結　　語

低エネルギーγ線用 Di/Con コリメータを試作し，その物理的特性について実験的検討を行ない次の結果を得た．

試作コリメータの geometrical specification は，厚さが35mm，焦点距離30cm，4,000孔，鉛製である．

直線性および感度均一性には実用上問題はなかつた．

有効視野は，div. 側でコリメータ面および10，20cm の距離でそれぞれ27，35，43cm であり，conv. 側でそれぞれ22，14，7 cm であつた．

感度は，4,000 par. col. の計数密度 (counts/cm^2) を1とすると，1,200 div. col. およびピンホール（4.6，3.2mmϕ）のそれはそれぞれ0.96，0.27，0.13であり，試作 Di/Con col. は div. 側で2.35，conv. 側で1.57であり，他コリメータに比べて高感度であつた．

空間分解能は，conv. 側で 4,000 par. col. より少し優れており，FWHM がコリメータ面で8.0mm，10cm の距離で12.5mm であつた．Div. 側ではそれぞれ11.4，19.2mm で，1,200 div. col. の方が優れていたが，同じ有効視野で比較すると試作コリメータの方が勝つていた．

本論文の要旨は昭和50年4月，第29回日本医学放射線学会物理部会および昭和50年10月，第15回日本核医学会において報告した．

稿を終るに際し，コリメータの製作に御協力いただいた日本無線医理学研究所森瑞樹氏に心から感謝の意を表わすとともに，御校閲いただいた片山健志教授ならびに試作にあたり御助言いただいた金子輝夫助教授，藤村憲治学兄に深謝致します．

文　　献

1) 有水　昇：核医学，11 (1974)，376.
2) Dowdey, J.E. and Bonte, F.J.: Radiology, 104 (1972), 89—96.
3) 藤村憲治，松本政典，片山健志：核医学，12 (1975)，623—629.
4) 金子輝夫，松本政典，片山健志：日医放会誌，35（臨時増刊号）(1975)，43.
5) 金子輝夫，松本政典，片山健志：核医学，12 (1975)，595.
6) Kibby, P.M.: Br. J. Radiol., 42 (1969), 91—101.
7) 松本政典：Radioisotopes, 23 (1974), 529—532.
8) Mckeighen, R.E., Muehlleher, G. and Moyer, R.A.: J. Nucl. Med., 15 (1974), 328—331.
9) Moyer, R.A.: J. Nucl. Med., 15 (1974), 59—64.

10) Muehllehner, G.: J. Nucl. Med., 10 (1969), 197—201.
11) Murphy, P.H. and Burdine, J.A.: Radiology, 107 (1973), 698—700.
12) Murphy, P.H., Burdine, J.A. and Calderon, M.: J. Nucl. Med., 15 (1974), 291—293.
13) Prince, J.R.: J. Nucl. Med., 11 (1970), 369—640.
14) Rudin, S., Bardfeld, P.A. and Hart, H.: J. Nucl. Med., 12 (1971), 831—834.
15) 田宮 正，笠原文雄，斉藤 宏：Radioisotopes. 22 (1973)，31—34.
16) Telalman, M.R., Oppenheim, B.E., Hoffer, P.B., et al.: J. Nucl. Med., 13 (1972), 471—472.