

【問題 4-51】（平成 14）

倒立画像が得られるコリメータはどれか。

1. 平行多孔
2. ダイバージング
3. コンバージング
4. スラントホール
5. ピンホール

〔注解〕 5. ピンホールコリメータは単孔のコリメータで、距離に反比例して像が縮小し、倒立画像が得られる。

1. 平行多孔, 2. ダイバージング, 3. コンバージング, 4. スラントホールの各コリメータは倒立画像とならない。

得られる像が拡大するコリメータはどれか。  
2つ選べ。

1. 平行多孔
2. ピンホール
3. コンバージング
4. スラントホール
5. ダイバージング

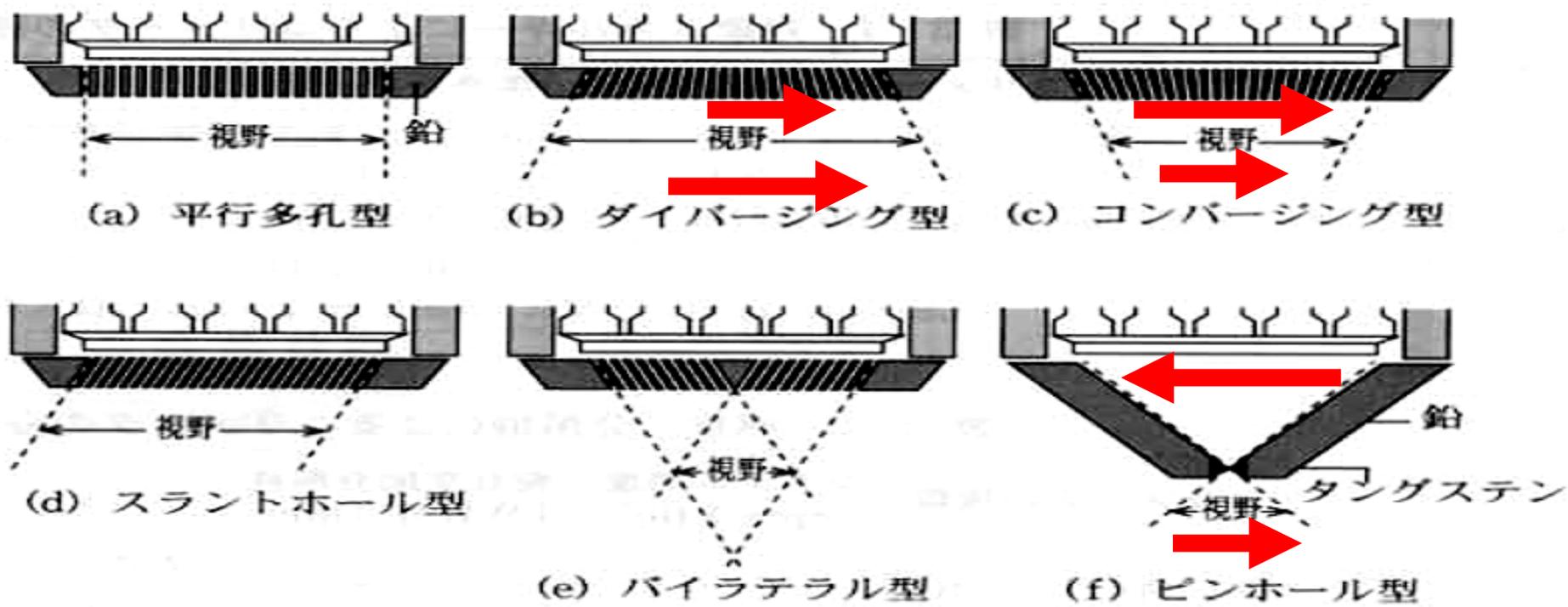


図 3・4 コリメータの断面と視野

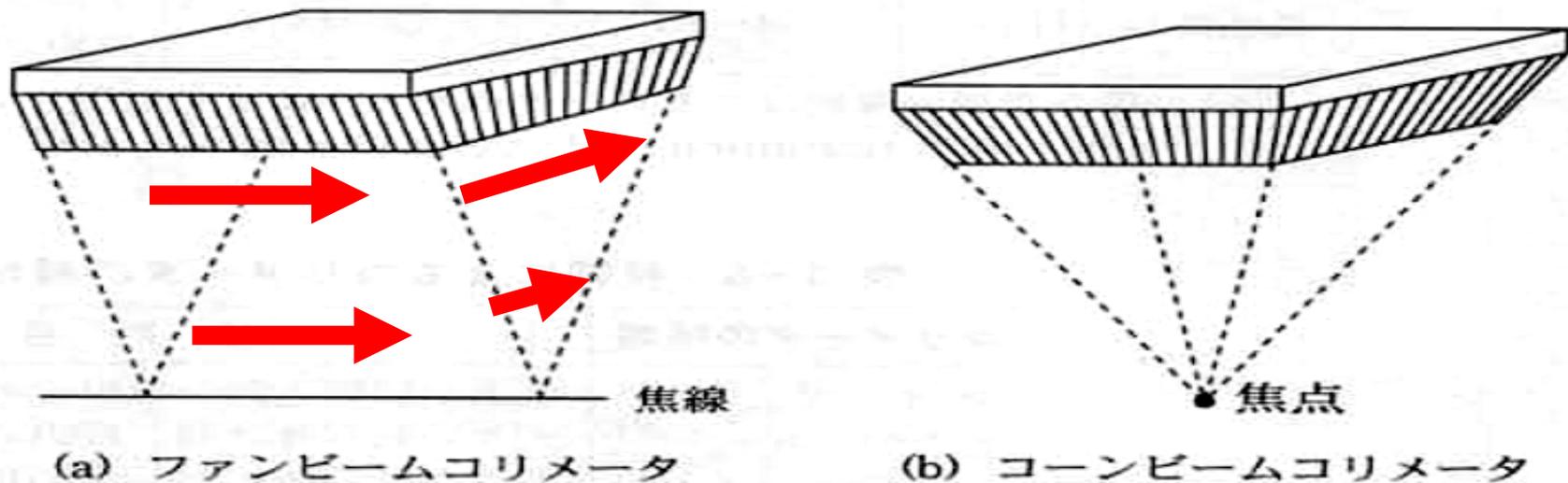


図 3・5 SPECT用コリメータ

# 2005年国家試験

問題 60 視野 50 cm のガンマカメラで 2 倍拡大撮影する場合、  
収集マトリックスを  $128 \times 128$  とすると、  
ナイキスト周波数(cycles/cm)はどれか。

1. 5.12    2. 2.56    3. 1.28    4. 0.64    5. 0.32

## 解答 2

1/2波長が1画素長の振動が、ナイキスト周波数。  
(波長が2画素の振動が、ナイキスト周波数。)

128 画素に 25cm の像が入るので、  
1画素は、 $(25/128)$  cm

ナイキスト周波数の波長は、 $2 \times 25 / 128 = 50 / 128$  cm  
ナイキスト周波数は、逆数の  $128 / 50 = 2.56$  (/cm)

**【問題 4-53】 (平成 11)**

ガンマカメラのコリメータについて正しいのはどれか。

1. ファンビームコリメータはカメラの回転軸に直角な方向に焦点をもつ。
2. ダイバージングコリメータは拡大像が得られる。
3. コンバージングコリメータは実物大の像が得られる。
4. ピンホールコリメータは大きな部位の撮像に有効である。
5. 平行多孔コリメータは低エネルギー用ほど孔数が少ない。

〔注解〕 1の記述は正しい。

2. ダイバージングコリメータは検出器の視野より大きい像を縮小する。

3. コンバージングコリメータは小さな臓器を拡大する。

4. ピンホールコリメータは先端に1個の孔があり結晶面へ倒像が映像され、甲状腺シンチグラフィなど比較的小さな部位の像の拡大が可能である。

5.  $\gamma$ 線のエネルギーの大きいものほどコリメータの孔の数を少なくし壁厚を厚くする。逆にエネルギーの低いものは孔の数を多くする。

高エネルギー $\gamma$ 線の RI 画像を撮像するときには  
コリメータを突き抜ける $\gamma$ 線を減らすために  
厚いコリメータを使用する。

厚いコリメータに小さい穴をあけた場合には  
穴を通過できる $\gamma$ 線量が非常に少なくなるので  
厚いコリメータには 大きい穴をあける必要がある。

小さい穴を多数あけたコリメータは鮮明な画像を得るが  
(高分解能型コリメータ)、高エネルギー用の高分解能型  
コリメータは非常に感度が低くなり、あまり用いられない。

低エネルギー $\gamma$ 線の RI 画像を撮像するときには  
薄いコリメータで十分に $\gamma$ 線を遮蔽できる。

低エネルギー用コリメータは薄いので、  
高分解能型コリメータがよく使用される。

小さい穴を多数あけた高分解能型コリメータは  
鮮明な画像が得られる。

低エネルギー      160 keV 以下

中エネルギー      160~300 keV

高エネルギー      300 keV 以上

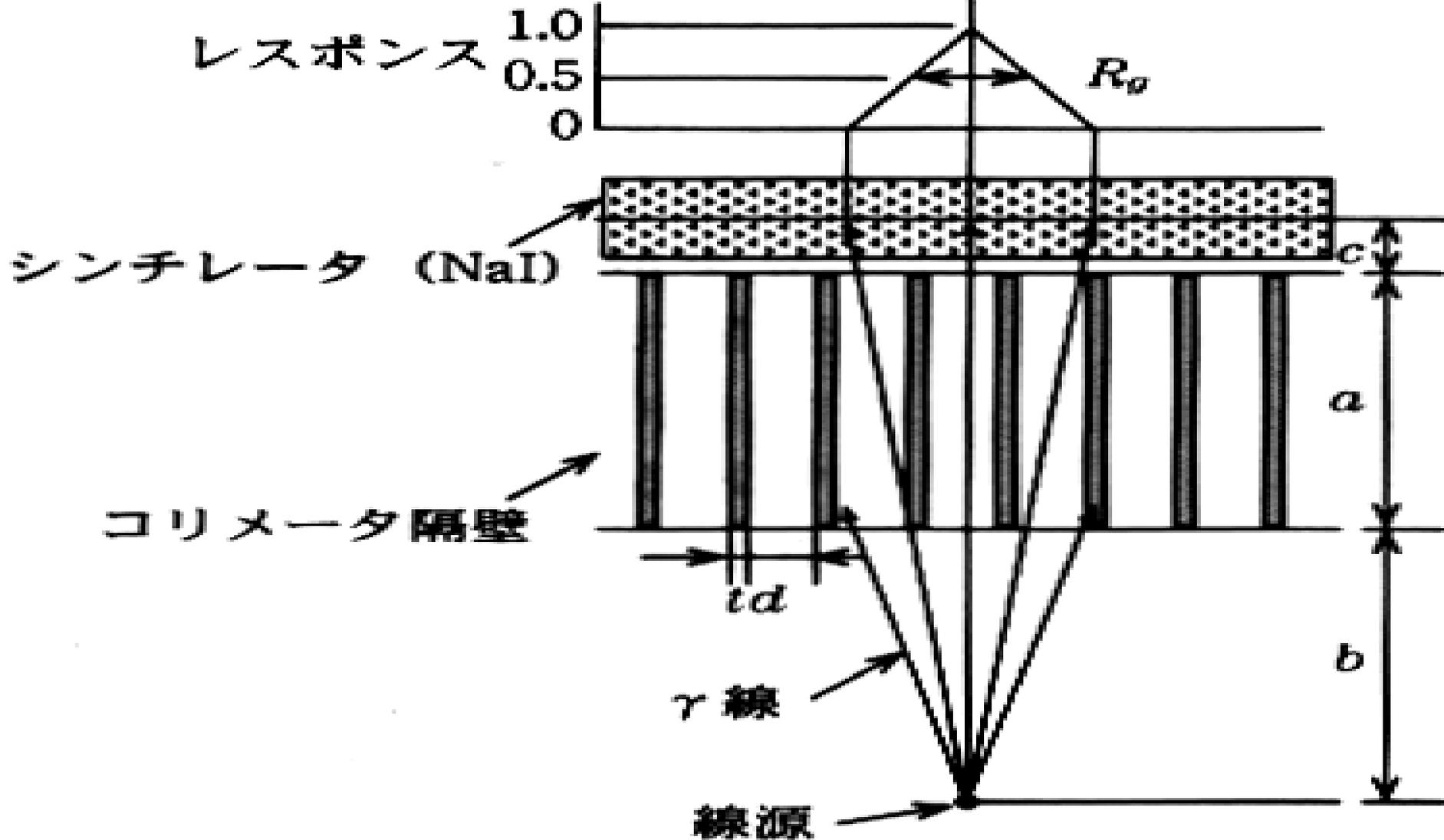


図 4・20 パラレルホールコリメータの幾何学的分解能

$d$  : コリメータの穴径

$t$  : 隔壁の厚さ

パラレルホールコリメータの総合空間分解能  $R_s$  の関係式で正しいのはどれか。ただし、コリメータの分解能を  $R_g$ 、シンチレーションカメラの固有空間分解能を  $R_i$  とする。

1.  $R_s = \frac{R_g}{R_i}$

2.  $R_s = R_g R_i$

3.  $R_s^2 = R_g R_i$

4.  $R_s^2 = R_g^2 - R_i^2$

5.  $R_s^2 = R_g^2 + R_i^2$

誤差の伝搬法則と同様の考え方をする。

カメラの総合分解能(システム分解能)  $R_s$ は  
コリメータの分解能(幾何学分解能)  $R_g$ と、  
カメラの固有分解能  $R_i$ との関数である。

分解能とは、物体の真の位置と、撮像された  
位置とのずれ(=誤差)とも解釈できる。

従って、 $R_s$  は  $R_g$  と  $R_i$  の誤差和になる。

誤差和 は、各誤差の2乗和の平方根。

$$\bullet (M_1 \pm \varepsilon_1) \pm (M_2 \pm \varepsilon_2)$$

$$f: M_1 + M_2$$

$$x_1: M_1, x_2: M_2$$

$$\sigma_1: \varepsilon_1, \sigma_2: \varepsilon_2$$

$$\sigma^2 = \left( \frac{\partial(M_1 + M_2)}{\partial M_1} \cdot \varepsilon_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial(M_1 + M_2)}{\partial M_2} \cdot \varepsilon_2 \right)^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2$$

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) \pm (M_2 \pm \varepsilon_2) = (M_1 \pm M_2) \pm \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}$$

# Bone scintigraphy

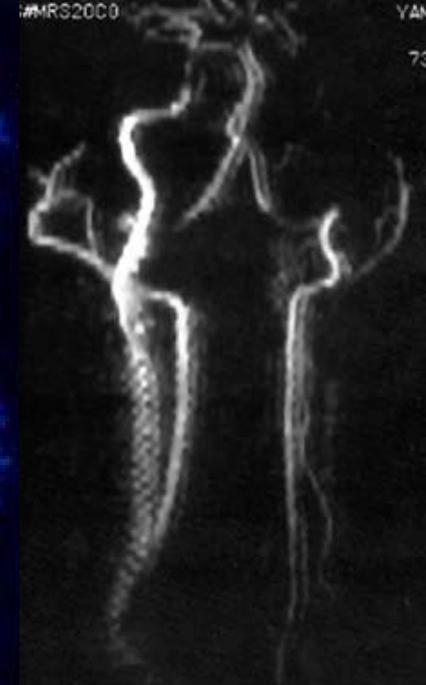
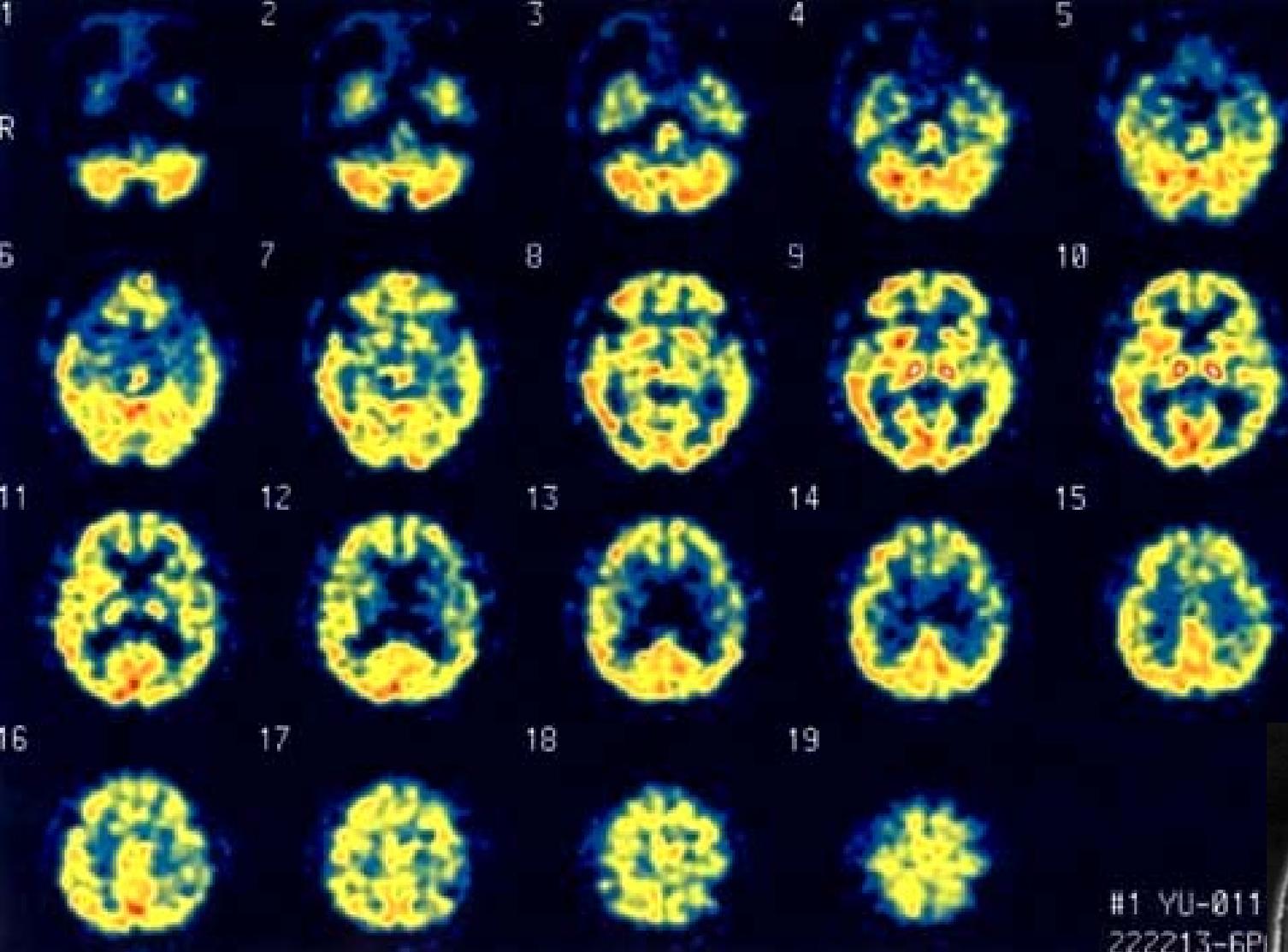
使用薬剤  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP

$^{99m}\text{Tc}$   $\gamma$ 線 141 keV

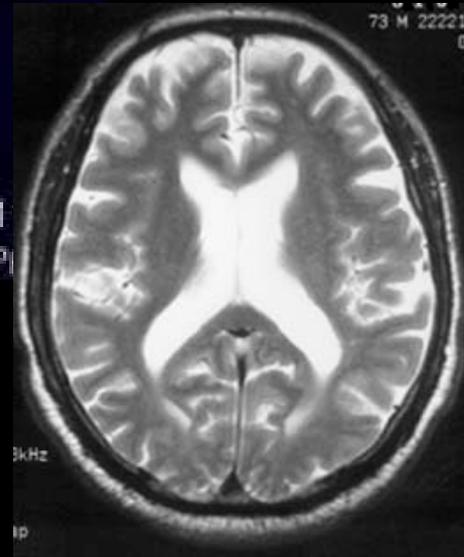
低エネルギー高分解能型  
コリメータ (LEHR) で撮像

リン酸の分布図。  
骨転移に強く分布。





MRA  
MRI T2



#1 YU-011  
222213-6PI

**$^{99m}\text{Tc}$ -HMPAO 脳血流 SPECT LEHRコリメータ**

左内頸動脈閉塞。 左側頭～頭頂葉の血流低下。

MRI T2では病変に高信号なし。脳梗塞になる直前の状態。治療可能。

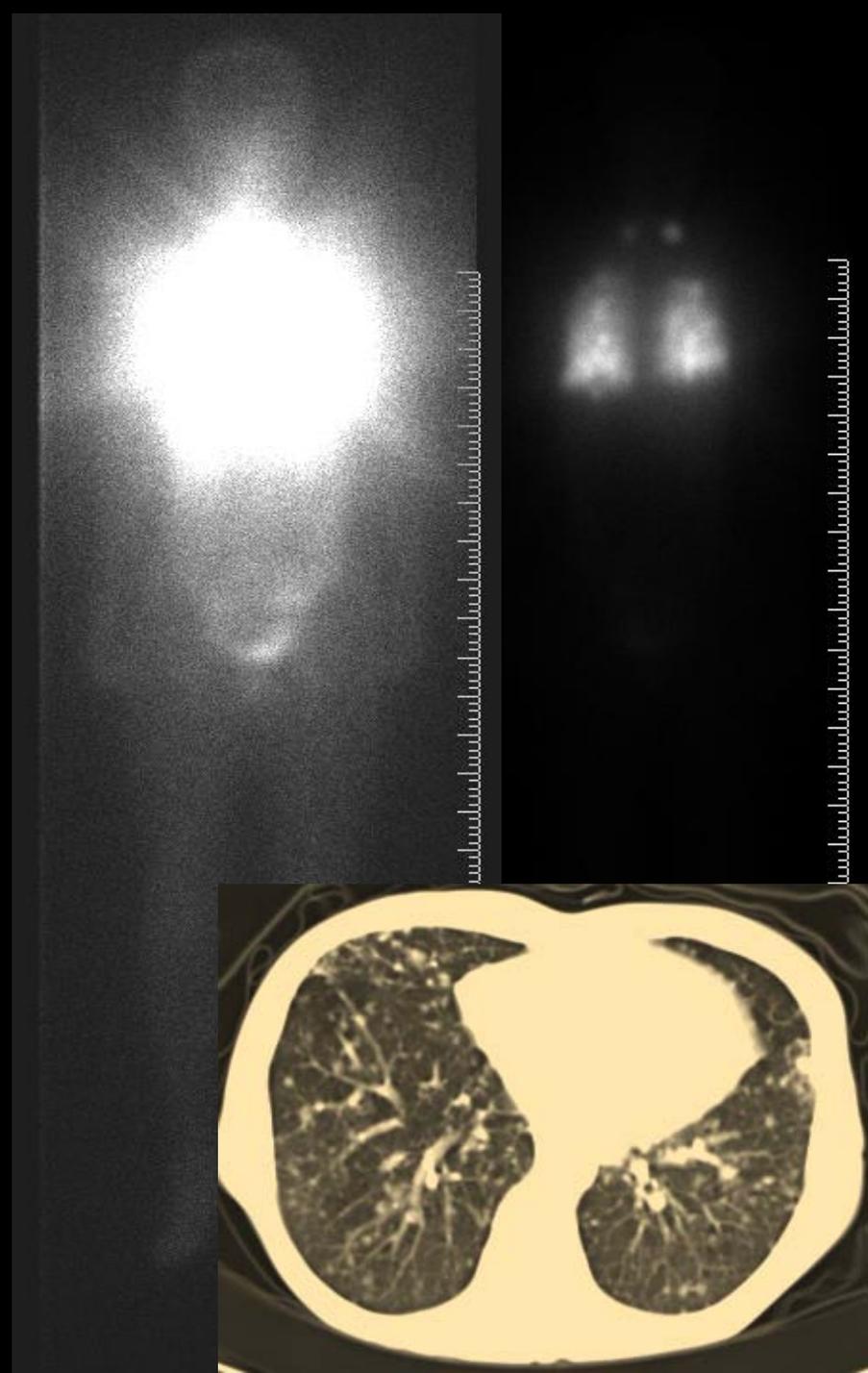
# 甲状腺癌の $^{131}\text{I}$ 内服治療後 $^{131}\text{I}$ 分布像

$^{131}\text{I}$  は、365 keV の $\gamma$ 線 と  
ベータ線を放出する。

$\gamma$ 線で  $^{131}\text{I}$  の体内分布が  
撮像できる(高エネルギー用  
コリメータ HEGP を使用)

ベータ線で、 $^{131}\text{I}$  集積部位の  
転移病変の消滅が行われる。

$^{131}\text{I}$  で 診断と治療が同時に  
行われる。



# 褐色細胞腫 骨転移

55歳男性

$^{131}\text{I}$ -MIBG 16GBq

静脈注射

左腸骨に44Sv

疼痛の緩和を得た。

副作用

吐き気、白血球減少



【問題 4-50】 (平成 14)

関係のない組合せはどれか。

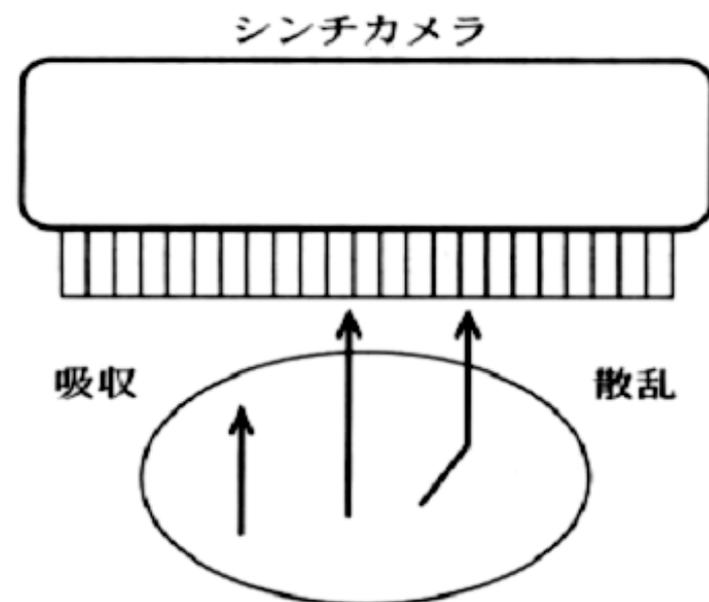
1. 散乱線除去——コリメータ
2. 核種のエネルギー——減弱係数
3. 画像のスモーキング——波高分析器
4. 散乱補正——TEW (triple energy window) 法
5. 統計誤差——収集カウント

〔注解〕 3. 波高分析器は入射  $\gamma$  線を選別測定するが、画像のスモーキングとは関係ない。

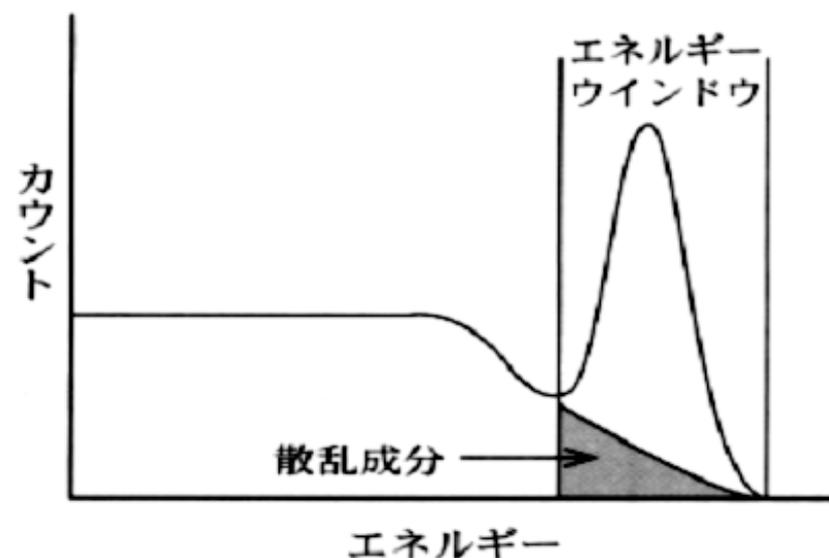
1. 散乱線除去, 2. 核種のエネルギー, 4. 散乱補正, 5. 統計誤差は、それぞれ関係がある。

### 3・4・5 SPECT装置の各種補正

SPECTは定性的にはその評価は臨床的に認められているが、物理学的定量性はまだ必ずしも十分とはいえない。SPECTの定量性を阻害している原因は、(1)体内において発生したコンプトン散乱線(図3・20(a))があらかじめ設定していたSPECT装置のエネルギーウインドウ内に混入すること(図3・20(b))、(2) $\gamma$ 線の体内組織による減弱(図3・20(a))、および(3)空間分解能の悪さである。対象臓器にもよるが、通常投影データは減弱により、1/2から1/5程度に減少し、一方、散乱線により数十%増加するといわれている。



(a) 体内での吸収・散乱



(b) 光電ピーク成分に混入する散乱成分

図 3・20 体内での吸収・散乱および光電ピーク成分に混入する散乱線成分

## i) 散乱線補正<sup>㉗</sup>

被写体内で発生した $\gamma$ 線コンプトン散乱線（図3・20(a)）のエネルギーが設定エネルギーウィンドウ内であれば、この散乱線は本来の1次線の投影データに加算される。その量は $\gamma$ 線のエネルギー、および減弱係数分布などに依存する。これまでに報告されている代表的な散乱線補正方法を以下に示す。このうち現在最もよく使われているのは**TEW法**である。

dual energy window subtraction (DEW) 法

dual photopeak energy window (DPEW) 法

deconvolution 法

triple energy window (TEW) 法

#### iv) TEW 法

TEW 法はメインウィンドウ (ウィンドウ幅  $W_1$ ) のほかに、二つの狭いサブウィンドウ (ウィンドウ幅  $W_2, W_3$ ) をメインウィンドウをはさんで上下に設定する。メインウィンドウ内の散乱線成分はメインウィンドウ幅と二つのサブウィンドウのウィンドウ幅の違いを考慮し、二つのサブウィンドウからの投影  $k_2(r, \theta)$ ,

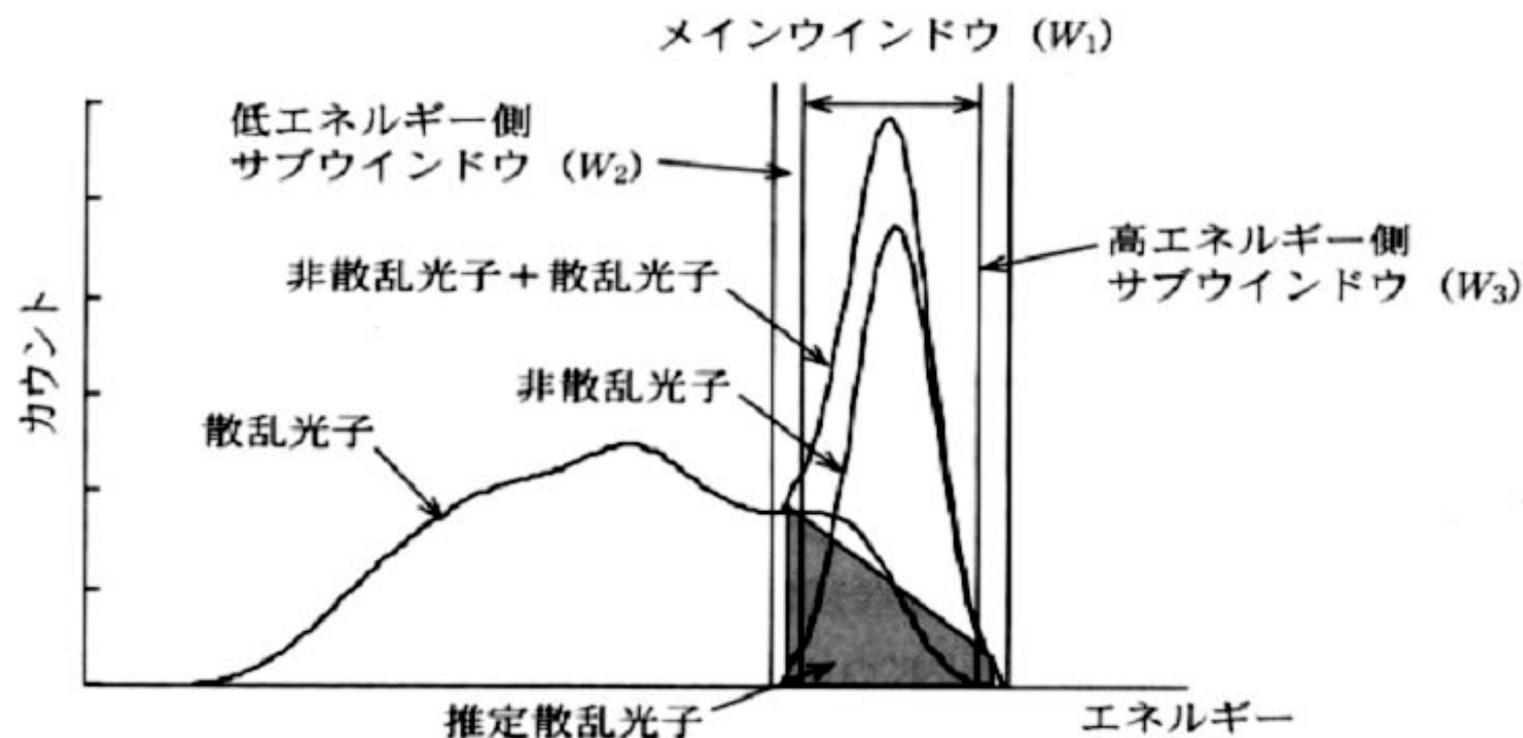


図 4・48 TEW 法による散乱線補正

TEW 法は幾何学的には台形の面積により散乱線成分を計算し、それをメインウィンドウの投影から減算し散乱線補正をおこなう。

【問題 4-52】 (平成 14)

ガンマカメラのコリメータ選択で正しいのはどれか。

- a. ダイナミック収集には高分解能が良い。
- b. ピンホールコリメータは小臓器の撮像に用いる。
- c. ファンビームコリメータは SPECT に用いる。
- d.  $^{67}\text{Ga}$  シンチグラフィには低エネルギー用を用いる。
- e.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  と  $^{201}\text{Tl}$  の 2 核種同時収集に中エネルギー用を用いる。

- 1. a, b      2. a, e      3. b, c
- 4. c, d      5. d, e

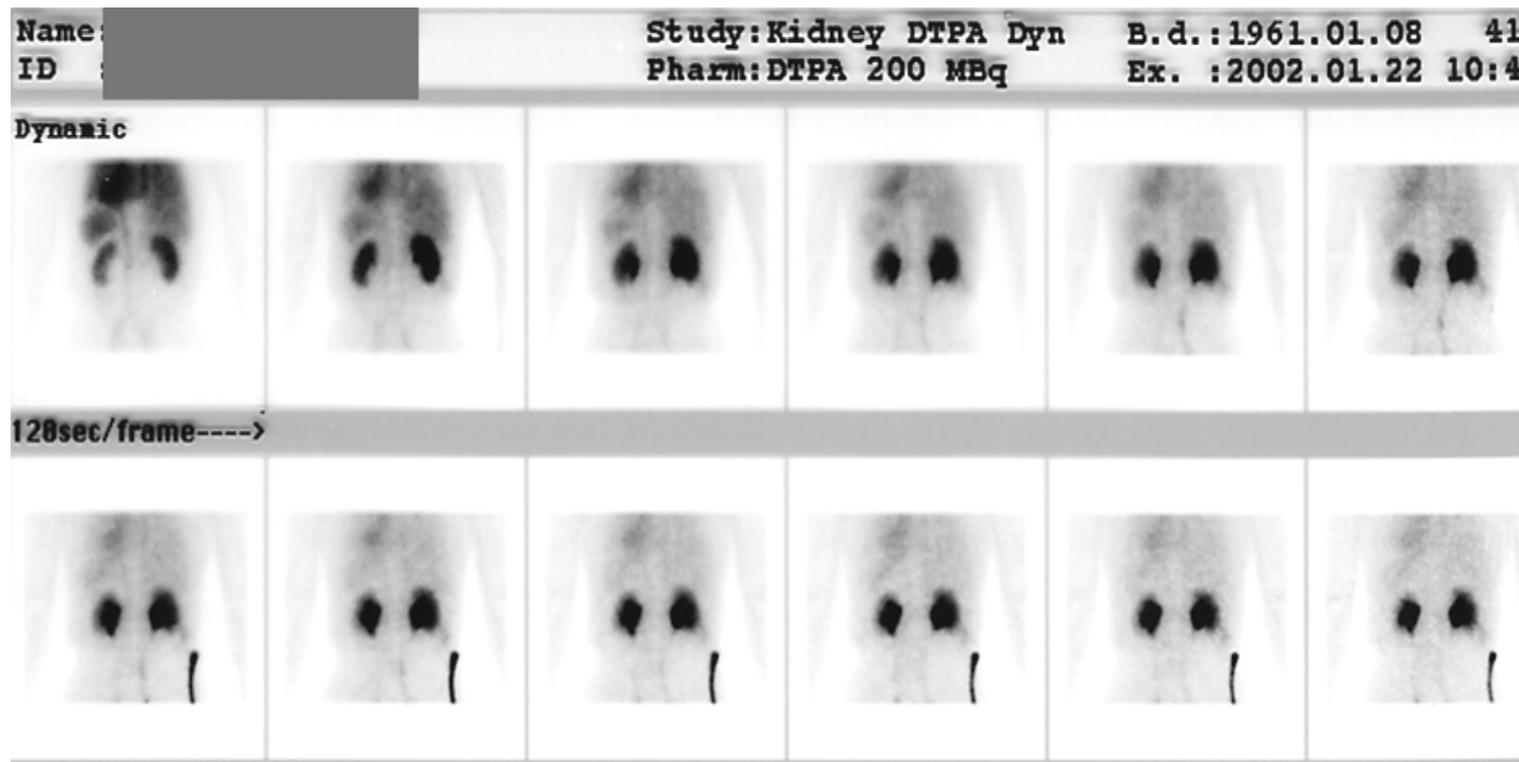
〔注解〕 a. ダイナミック収集には高感度コリメータが良い。

d.  $^{67}\text{Ga}$  シンチグラフィは中エネルギー用コリメータを使用する。

e.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  と  $^{201}\text{Tl}$  の 2 核種同時収集に低エネルギー用コリメータを使用する。

b. ピンホールコリメータ, c. ファンビームコリメータの記述はいずれも正しい。

動態画像 (dynamic image) の収集とは体内の核種分布変化を時間を追ってとらえるもので、あるサンプリング時間ごとに1枚の画像をつくる。サンプリング時間は、検査内容によって50ミリ秒から1分程度に設定する。特殊な検査では、さらに時間を変えて撮ることもできる。収集時間が短いので高感度型や汎用型のコリメータが使われ、収集マトリックスは、64, 128などが一般的である。得られた複数の画像 (フレーム) から TAC (time activity curve) などの解析処理をおこない診断情報とする。



静態画像 (static image) とは時間情報のない画像であり、具体的には検出器を被検者のある部位に固定して、一定時間の収集をおこなった後に得られる画像である。ある時間の被検者体内に投与された核種の分布をみることができる。静態という意味合いでは、通常のスティック (スポット) 収集は当然のこと  $^{99m}\text{Tc}$  や  $^{67}\text{Ga}$  を用いた全身像のイメージングも静態といえる。一般的に高分解能な画像を要求し、高分解能型コリメータが使われ 2~10 分程度の収集時間を費やす。全身の場合には 15~30 分を要する。収集マトリックスは、通常 512, 1024 が使われ、そのときの画素サイズは 1.0 mm, 0.5 mm 程度である。



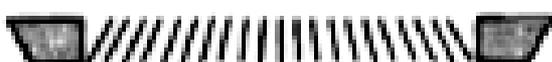
a) 平行多孔型  
コリメータ



b) ファンビーム  
コリメータ (X方向)



e) ピンホール  
コリメータ



c) ダイバージング  
コリメータ



d) スラントホール  
コリメータ

図 11-4 各種コリメータの構造

7) ピンホールコリメータ：鉛製の円錐形コリメータで、頂点に1個の孔がある。ピンホールカメラの原理で、コリメータからの距離により拡大・縮小ができ、近距離では拡大され解像力がよい。像の歪み、低感度、周辺部での感度低下が欠点である。甲状腺シンチグラフィなどで使用される。

2) **コンバージングコリメータ**：少し小さい臓器（心臓など）を拡大して撮像するコリメータで、ダイバージングコリメータとは逆に下方へ集束した形で孔のあけられた多孔コリメータである。像に歪みができるのが欠点であるが、検出効率が増すため解像力がよくなる。

5) **ダイバージングコリメータ**：カメラの検出器径が小さかった時代に視野拡大のために使われたコリメータで、ファンビームコリメータの逆に下方に広がった形で孔があけられた多孔コリメータである。

$^{99m}\text{Tc}$  の $\gamma$ 線は主に141keV、 $^{123}\text{I}$  の $\gamma$ 線は 主に159KeV

160KeV 以下は、 低エネルギー用コリメータ (薄い)

LEHR (Low Energy High Resolution)

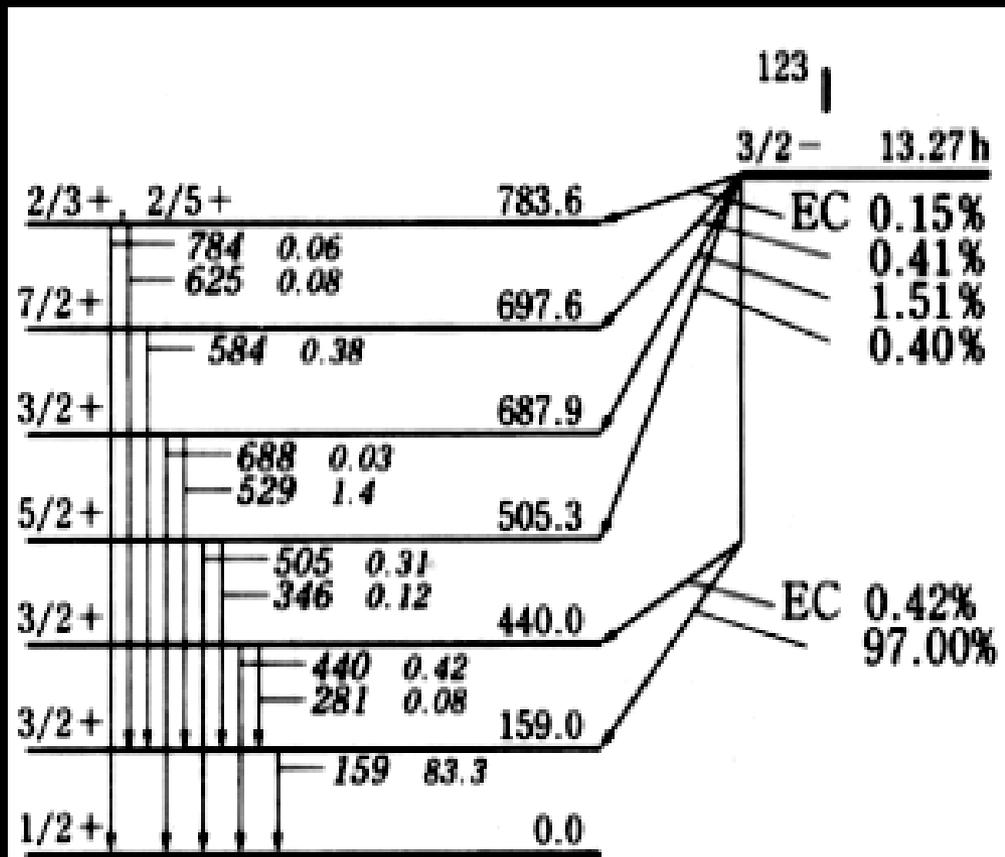
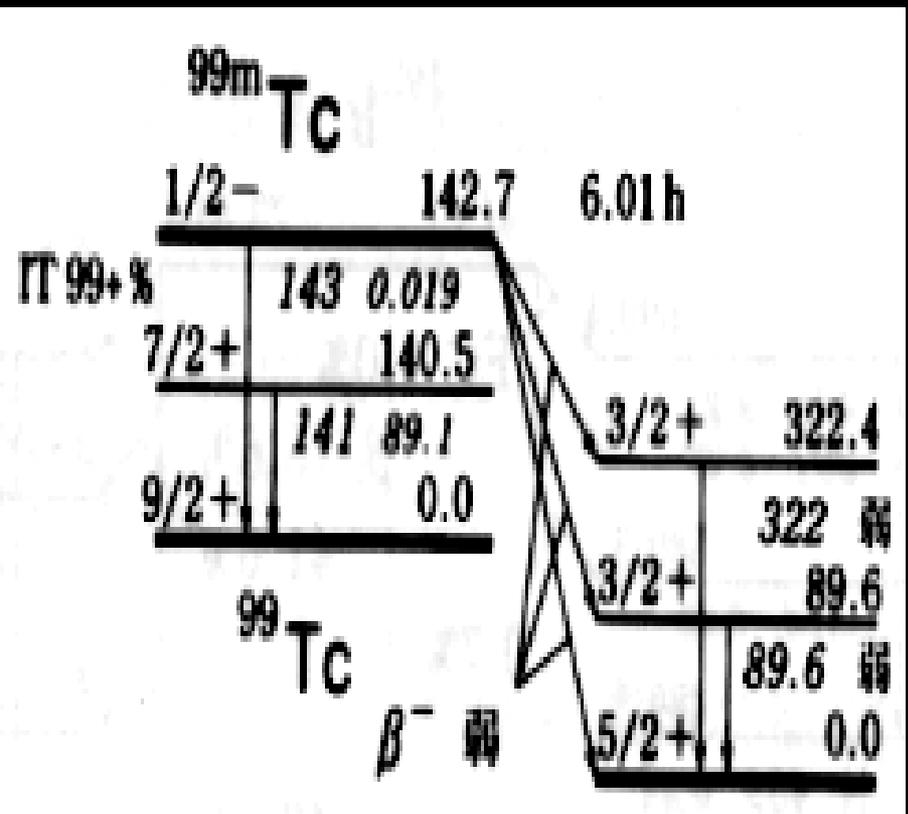
静態画像の撮像用

LEGP (Low Energy General Purpose)

動態画像の撮像用

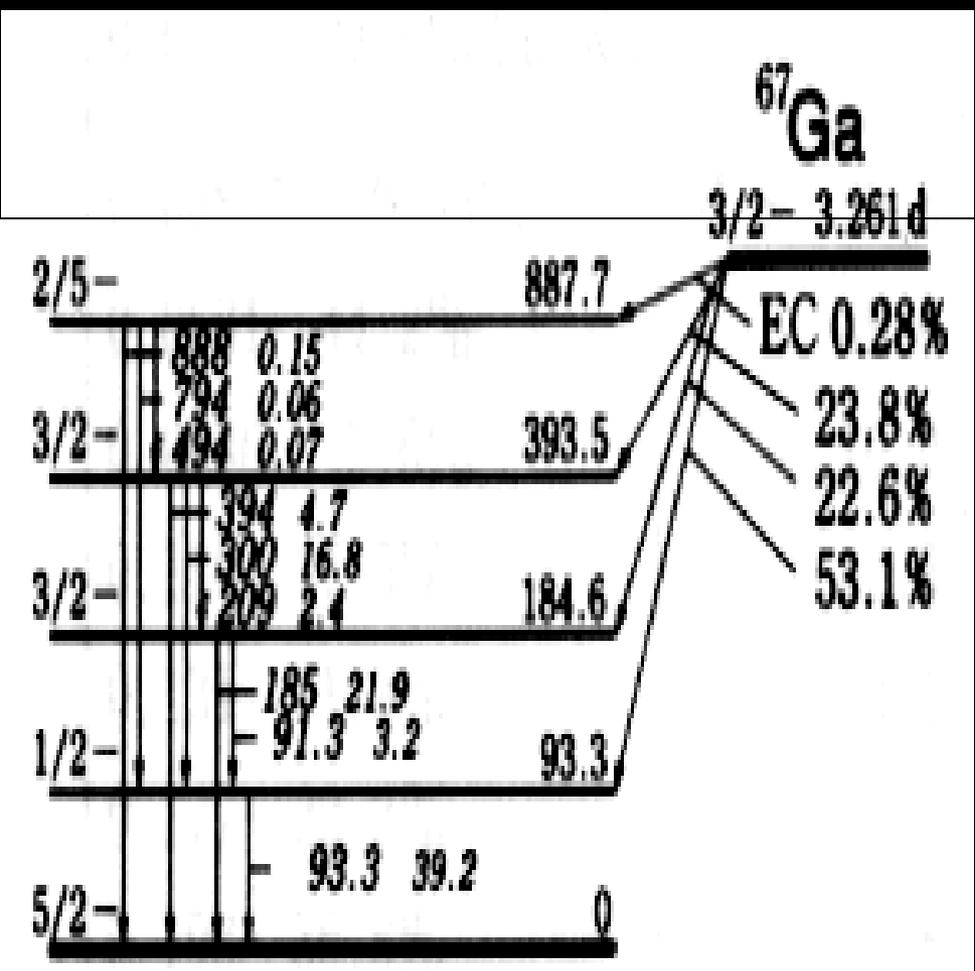
LEHS (Low Energy High Sensitivity)

動態画像の撮像用



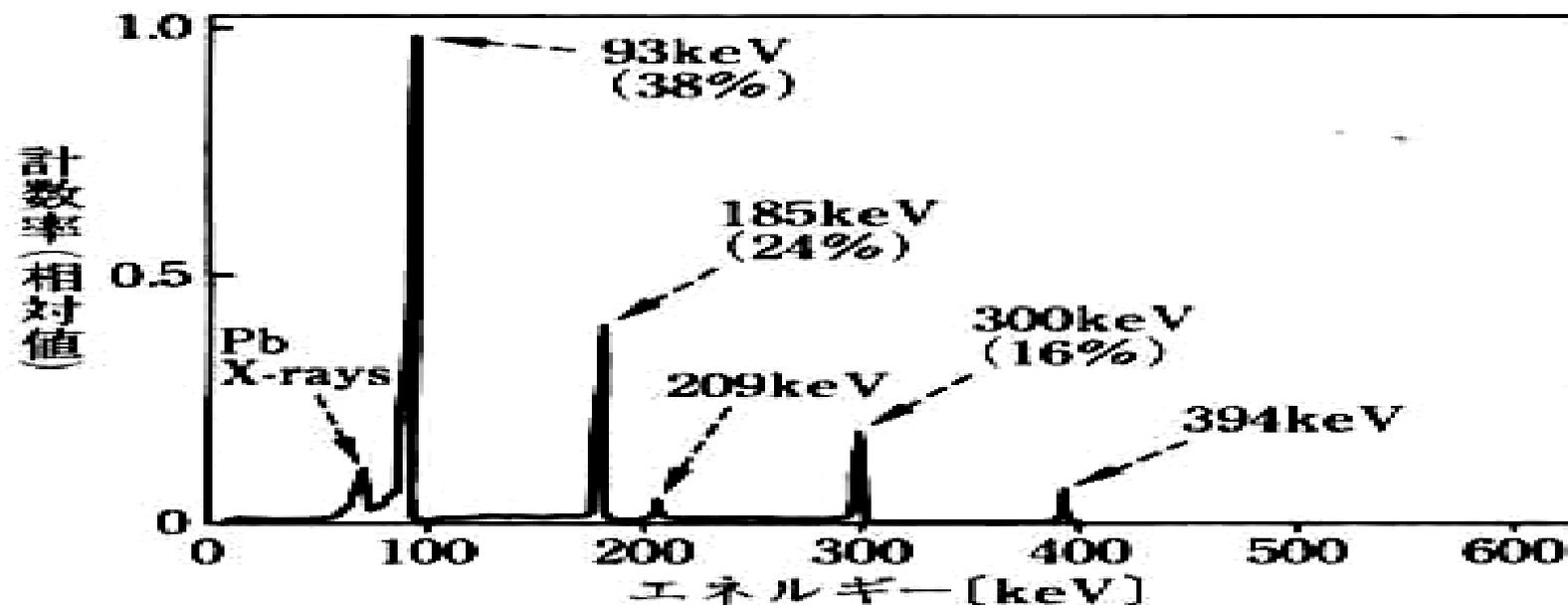
$^{67}\text{Ga}$  の $\gamma$ 線は93、185、300 keV の3ピークを撮像に使う  
 160KeV 以上、300keV以下は、 中エネルギー用コリメータ  
 MEHR (Middle Energy High Resolution) あまり使わない。感度が悪い  
 MEGP (Middle Energy General Purpose) 静態画像の撮像用

( $^{67}\text{Ga}$ の動態画像検査はない)



【問題 4-7】 (平成 13)

図のエネルギースペクトルを持つ核種はどれか。



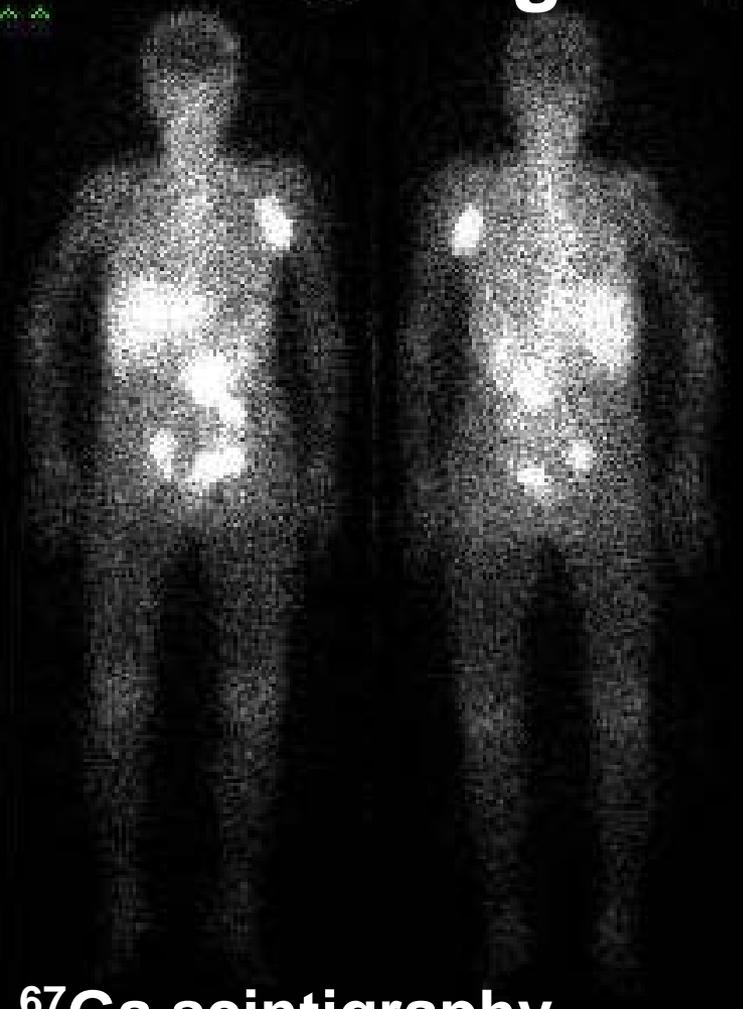
- 1.  $^{67}\text{Ga}$
- 2.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$
- 3.  $^{123}\text{I}$
- 4.  $^{125}\text{I}$
- 5.  $^{131}\text{I}$

〔注解〕  $\gamma$ 線エネルギーは、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は140 keV、 $^{123}\text{I}$ は159 keV、 $^{125}\text{I}$ は35.5 keV、 $^{131}\text{I}$ は365 keV、である。

1.  $^{67}\text{Ga}$ の $\gamma$ 線エネルギーは93 keV その他をもつ図のエネルギースペクトルである。

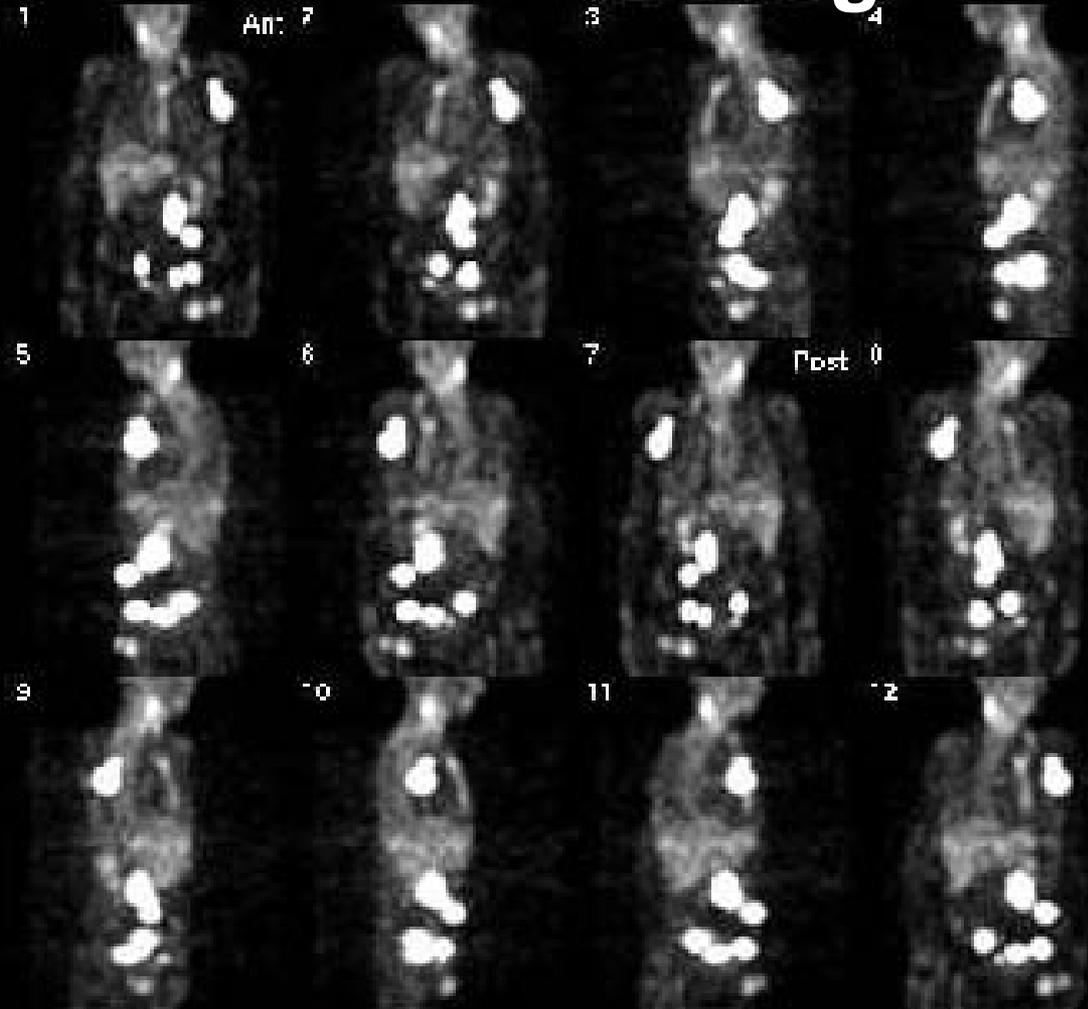
# Malignant Lymphoma

## Planar image



# $^{67}\text{Ga}$ scintigraphy

## SPECT MIP image



## $^{67}\text{Ga}$ scintigraphy

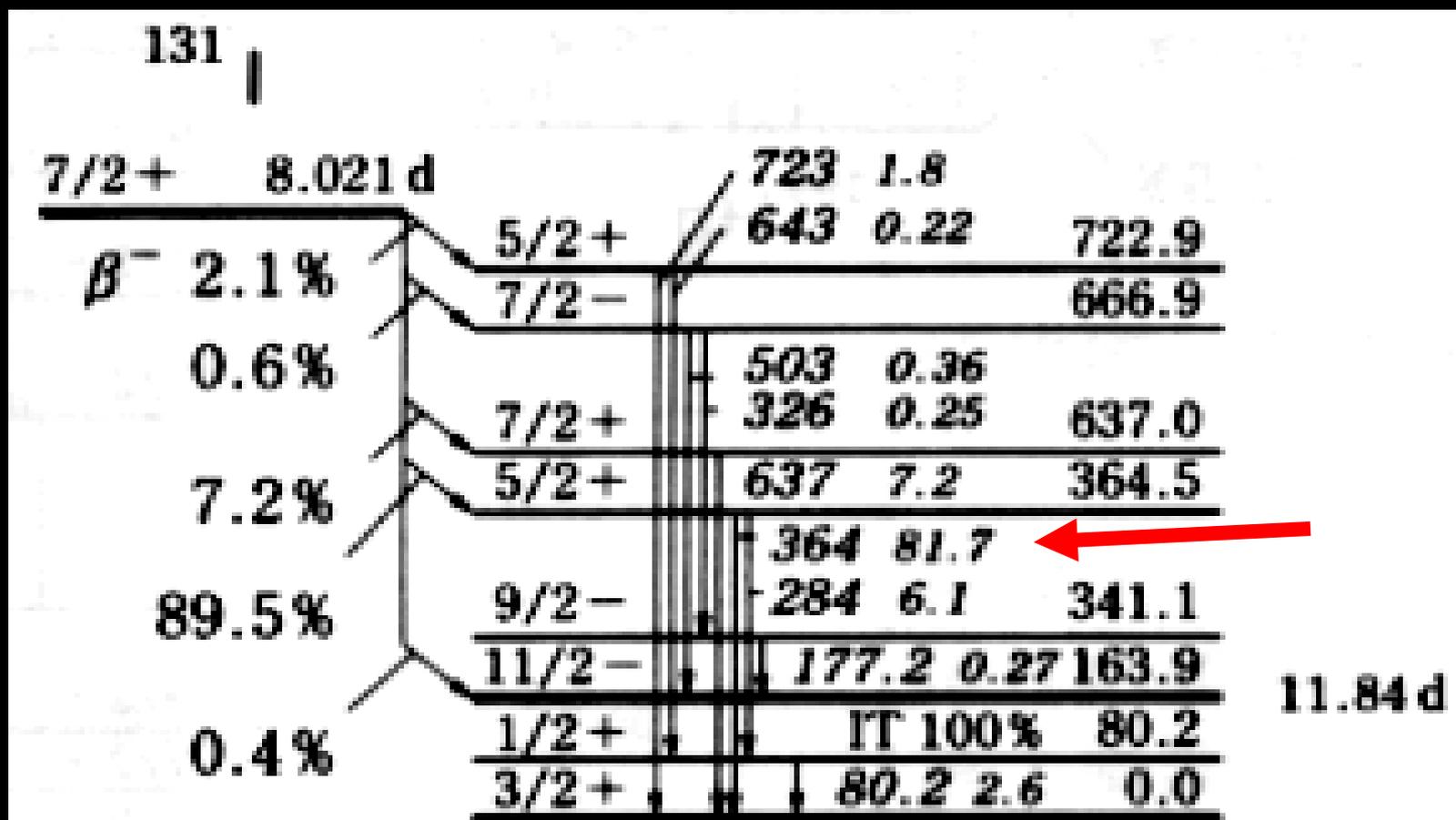
- 93、185、300 keV の 3ピークを撮像に使う
- 中エネルギー用コリメータ MEGP

# $^{131}\text{I}$ の $\gamma$ 線は 主に365KeV

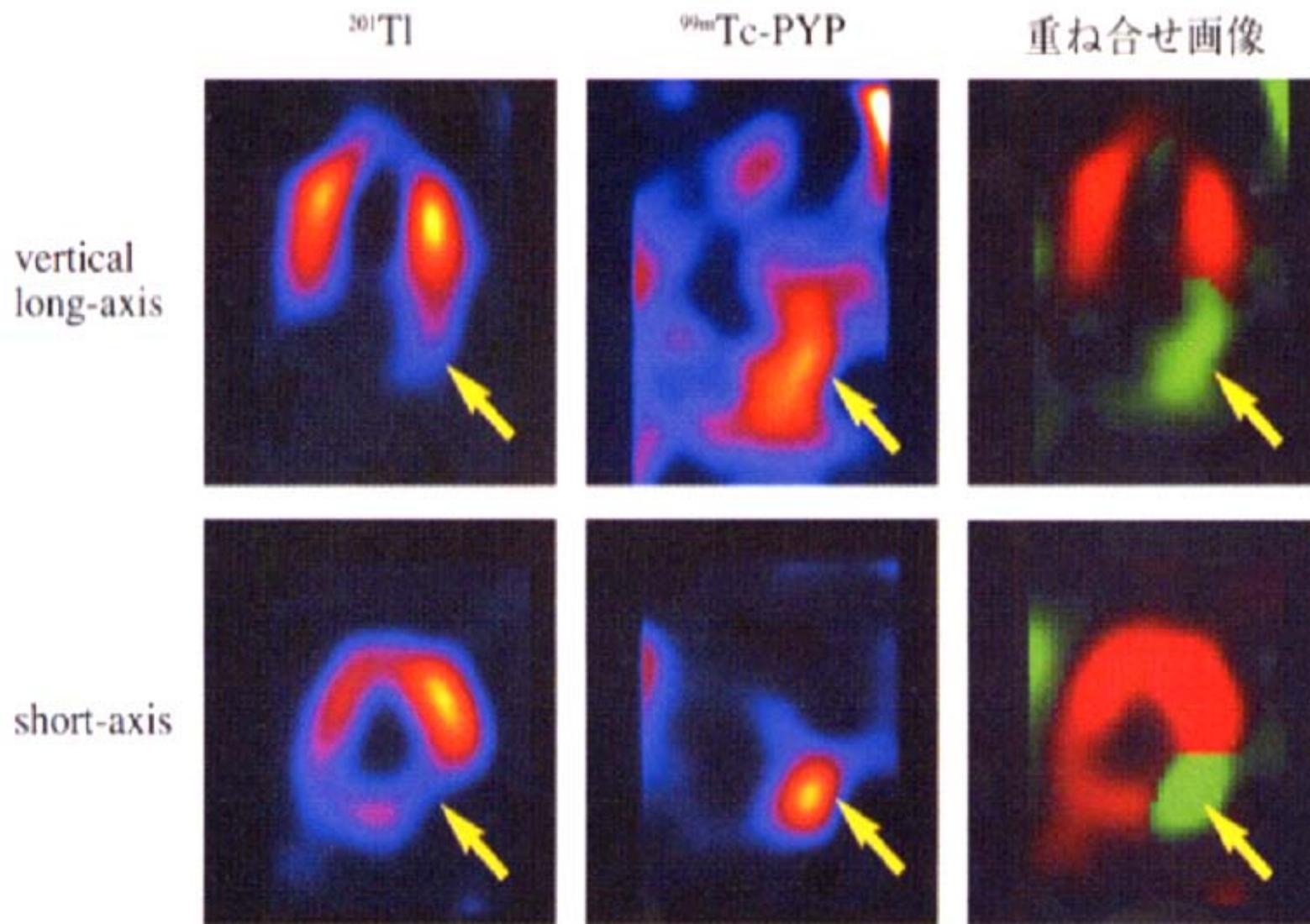
300KeV 以上は、高エネルギー用コリメータ (厚い)

HEHR (High Energy High Resolution) あまり使わない。感度が低い。

HEGP (High Energy General Purpose) 静態画像の撮像用  
( $^{131}\text{I}$ の動態画像検査はない)



# 心筋の $^{201}\text{Tl}$ 分布は心筋血流、 $^{99\text{m}}\text{Tc-PYP}$ (ピロリン酸) 分布は急性心筋梗塞



急性心筋梗塞例における  $^{201}\text{Tl}$  と  $^{99\text{m}}\text{Tc-PYP}$  の2核種同時収集のSPECT像  
 $^{201}\text{Tl}$ にて後側壁に血流欠損, 同部位に  $^{99\text{m}}\text{Tc-PYP}$ の高集積を示す. (本文231)

## [<sup>201</sup>Tl との 2 核種同時収集]

<sup>99m</sup>Tc-PYP と <sup>201</sup>Tl との 2 核種同時収集により、空間的・時間的に対応した情報が得られる。まず <sup>99m</sup>Tc-PYP : 370~740 MBq を静注し、3~4 時間後に <sup>201</sup>Tl を 111 MBq 静注する。その 10 分後からプレーナ像と SPECT 像を撮像する。エネルギーウィンドウは、<sup>99m</sup>Tc (140 KeV) と <sup>201</sup>Tl (71 keV) に設定する。可能な限りクロストーク補正<sup>®</sup>をおこなう。画像処理は、<sup>201</sup>Tl の心軸設定に <sup>99m</sup>Tc-PYP を重ね合わせるにより、両者同一スライスでの画像を作成する。これにより同じ断面での比較が容易におこなえる。

### iv) 臨床的意義

急性心筋梗塞では、発症後数時間における <sup>99m</sup>Tc-PYP による検出率は低く、最も検出率が高いのは発症から 1~3 日目である。この時期における、心電図や血液生化学検査での判定がむずかしい急性心筋梗塞症例の梗塞巣の同定に有用である。

$^{99m}\text{Tc}$  の $\gamma$ 線は主に 141 keV、 $^{201}\text{Tl}$  の $\gamma$ 線は主に 71 keV

同時収集が可能。ともに160keV以下。低エネルギー用コリメータ。

その他、 $^{201}\text{Tl}$  (心筋血流)と  $^{123}\text{I}$ -BMIPP (脂肪酸; 心筋障害で低下)との同時収集も臨床でよく実施される。

核種	半減期	壊変形式	おもな $\beta$ 線(または $\alpha$ 線)のエネルギーと放出割合	おもな光子のエネルギーと放出割合
$^{201}\text{Tl}$	72.91 h	EC	100%	0.0306- 0.25% 0.0322- 0.26% 0.135- 2.6% 0.167- 10.0% 他 0.0708- 73.7% Hg-K <sub>a</sub> 0.0803- 20.4% Hg-K <sub><math>\beta</math></sub> 0.00999- 46.0% Hg-L

## 4.3.5 2核種同時収集法

使用する核種は、それぞれ特定のエネルギーの $\gamma$ 線をもつので、そのピークにウィンドウを設定すれば必要な $\gamma$ 線情報（シンチグラム）が得られる。しかし、光電ピークは一つとは限らず、 $^{201}\text{Tl}$ 、 $^{67}\text{Ga}$ のように複数のピークをもつ核種もある。それらのピークに複数のウィンドウを設定して計数率を増やすことがおこなわれる。

一方、複数の核種を同時あるいは僅差時間内に投与して同時に2核種の収集も可能である。図4.22に2核種同時収集のスペクトルの一例を示す。具体的には $^{201}\text{Tl}$ と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の例と考えてもよい。二つのウィンドウをおのおののピークに設定し、同時に収集をおこなうことで2核種の画像が同時に得られる。図から明らかのように、互いのエネルギーによるクロストーク<sup>⑩</sup> (cross talk) が生じる。

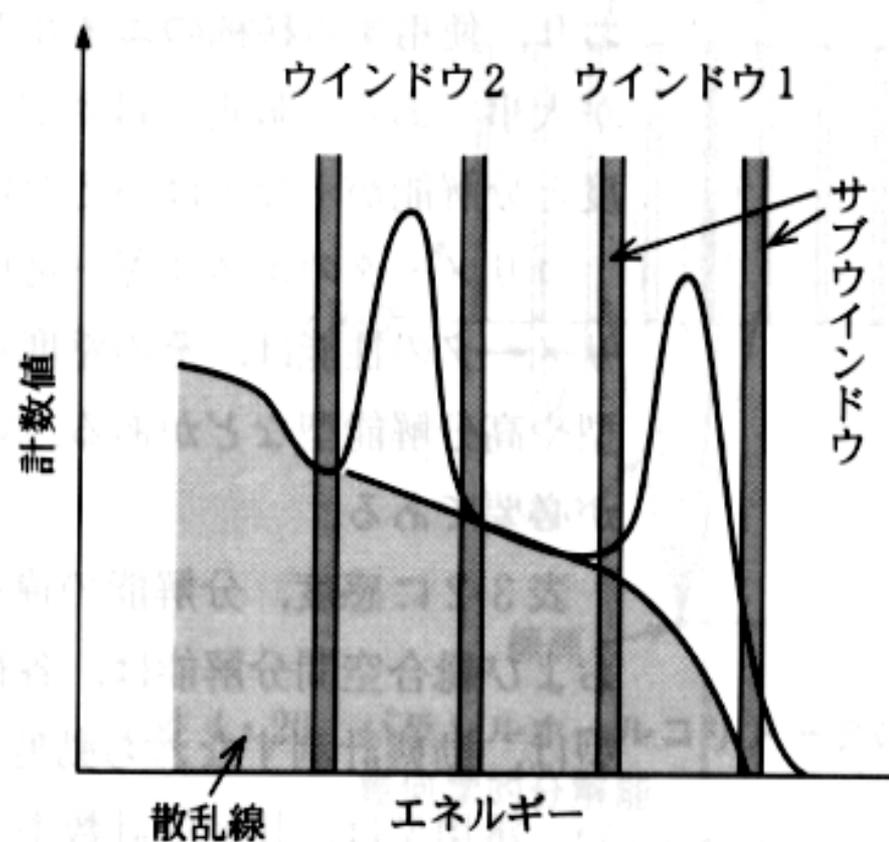
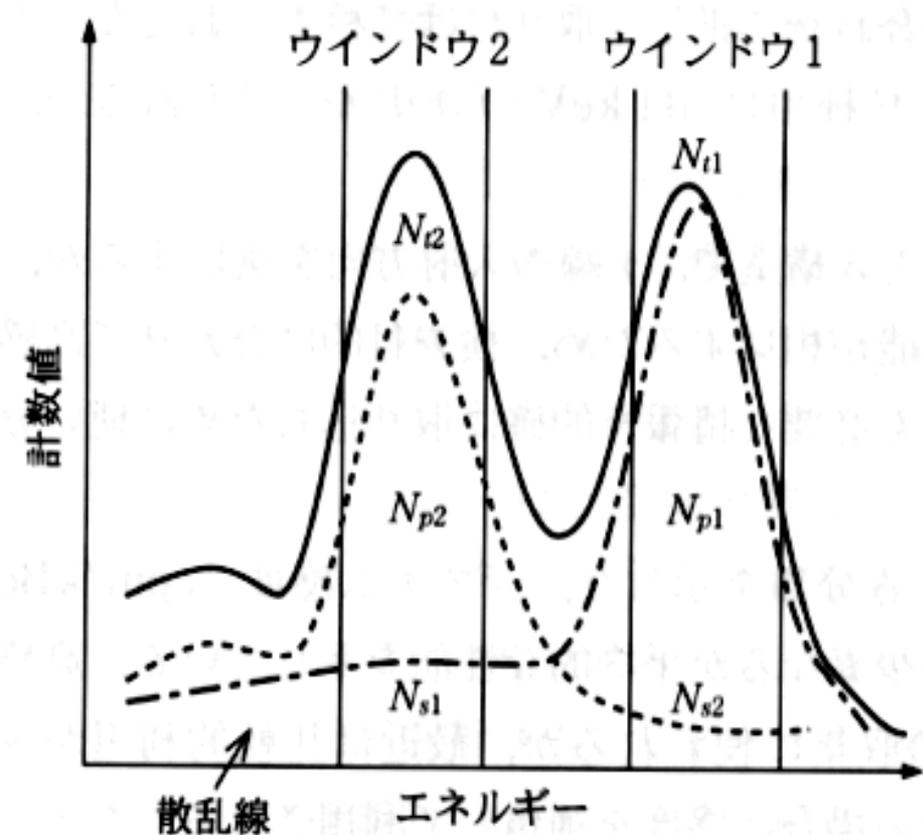


図 4・22 クロストーク補正

図 4・23 2核種同時収集の散乱線補正

$\gamma$ 線エネルギーの異なる2核種を同時に収集すると図中実線で示すスペクトルとなる。これは互いのウィンドウ内に散乱成分やほかのエネルギー成分を含んでしまう。これを事前に1核種ごとに互いに相手のウィンドウ内に漏れ込む $\gamma$ 線の比率を求めておき、2核種同時収集データよりその比率で減算するものである。

【問題 4-54】（平成 10）

コリメータについて正しいのはどれか。

- a. 総合分解能に影響を与える。
  - b. 使用した核種のエネルギーに対応させる。
  - c. 計数率が低い場合は高分解能型を使用する。
  - d.  $^{131}\text{I}$  には低エネルギー汎用型を用いる。
  - e. 隔壁の材質に鉛が用いられる。
1. a, b, c                      2. a, b, e  
3. a, d, e                      4. b, c, d  
5. c, d, e

〔注解〕 c. 計数率が低い場合は高感度用コリメータを使用する。

d.  $^{131}\text{I}$  には高エネルギー汎用型を用いる。

a, b, e の記述はいずれも正しい。

高分解能型コリメータ (HR) High Resolution  
孔径が小さい。画質は良いが、感度が悪い。

高感度型コリメータ (HS) High Sensitivity  
孔径が大きい。感度は良いが、画質が悪い

汎用型コリメータ (GP) General Purpose  
高分解能型と高感度型の中間の孔径。

低エネルギー用コリメータ (LE) Low Energy  
鉛厚が薄い。隔壁(孔と孔の間隔)が薄い。

高エネルギー用コリメータ (HE) High Energy  
鉛厚が厚い。隔壁が厚い。

【問題 4-55】 (平成 13)

低エネルギー用高分解能コリメータで正しいのはどれか。

- a. 高感度型より画像の分解能が良い。
- b. 高エネルギー用より隔壁が薄い。
- c. 汎用型より計数効率が高い。
- d.  $^{111}\text{In}$  の 2 ピーク同時収集に用いる。
- e.  $^{133}\text{Xe}$  ガスを吸入する脳の検査に用いる。

- 1. a, b      2. a, e      3. b, c
- 4. c, d      5. d, e

(注解) c. 低エネルギー用高分解能コリメータは汎用型より計数効率が低い。

d.  $^{111}\text{In}$  は中エネルギー用コリメータを用いる。

e.  $^{133}\text{Xe}$  ガスを吸入する脳血流の測定には低エネルギー用高感度コリメータを用いる。

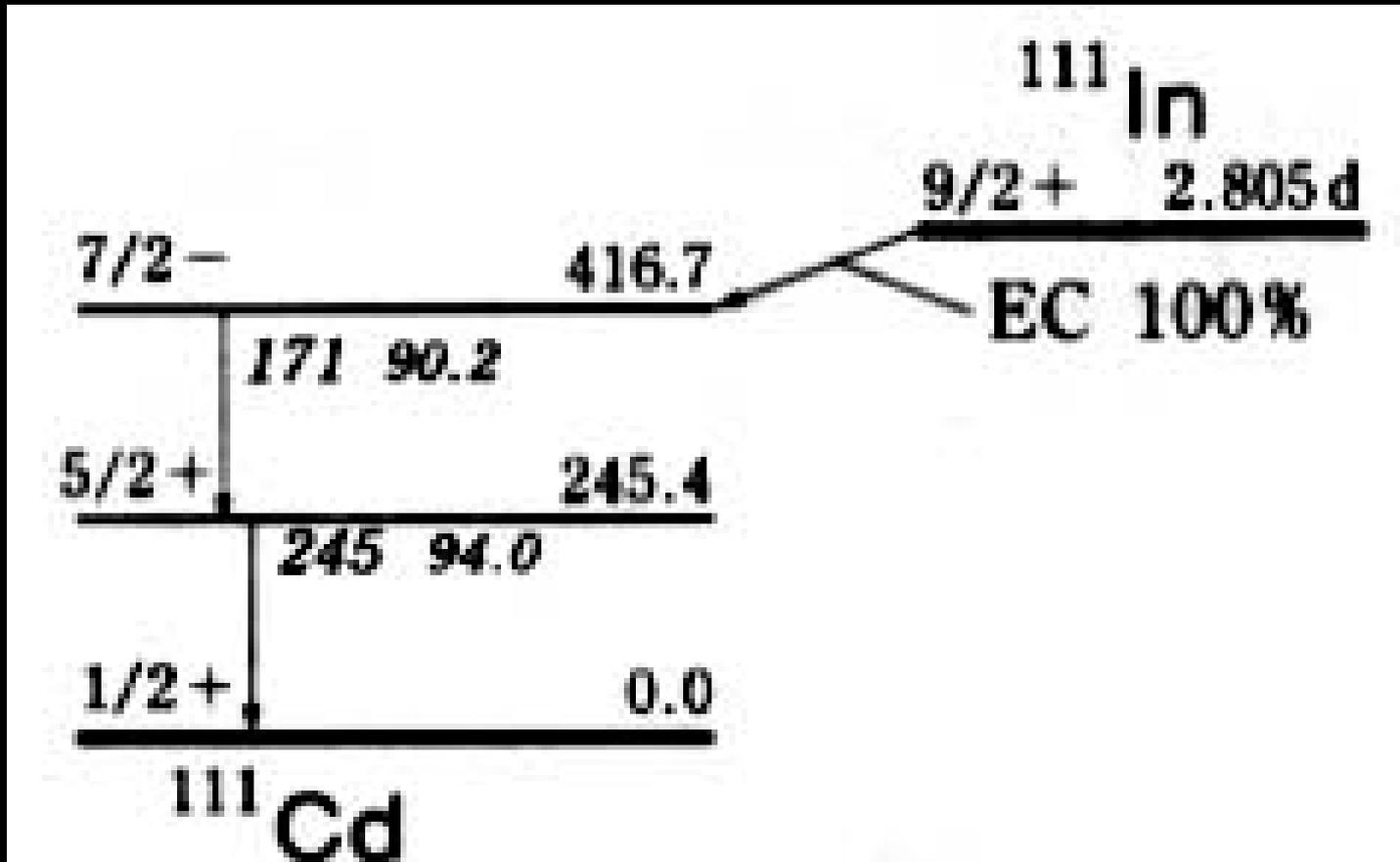
a, b の記述はいずれも正しい。

$^{111}\text{In}$  (インジウム)  $\gamma$ 線 171 keV と 245 keV の 2 ピーク。

160 keV 以上 300 keV 以下なので、中エネルギー用コリメータ

$^{111}\text{InCl}_3$  (インジウムクロライド) は 骨髄シンチグラフィ、

$^{111}\text{In}$ -DTPA は脳槽シンチグラフィに用いる。



# $^{111}\text{InCl}$ Bone marrow scintigraphy 骨髓シンチグラフィ

$^{111}\text{In}$  171 keV, 245 keV

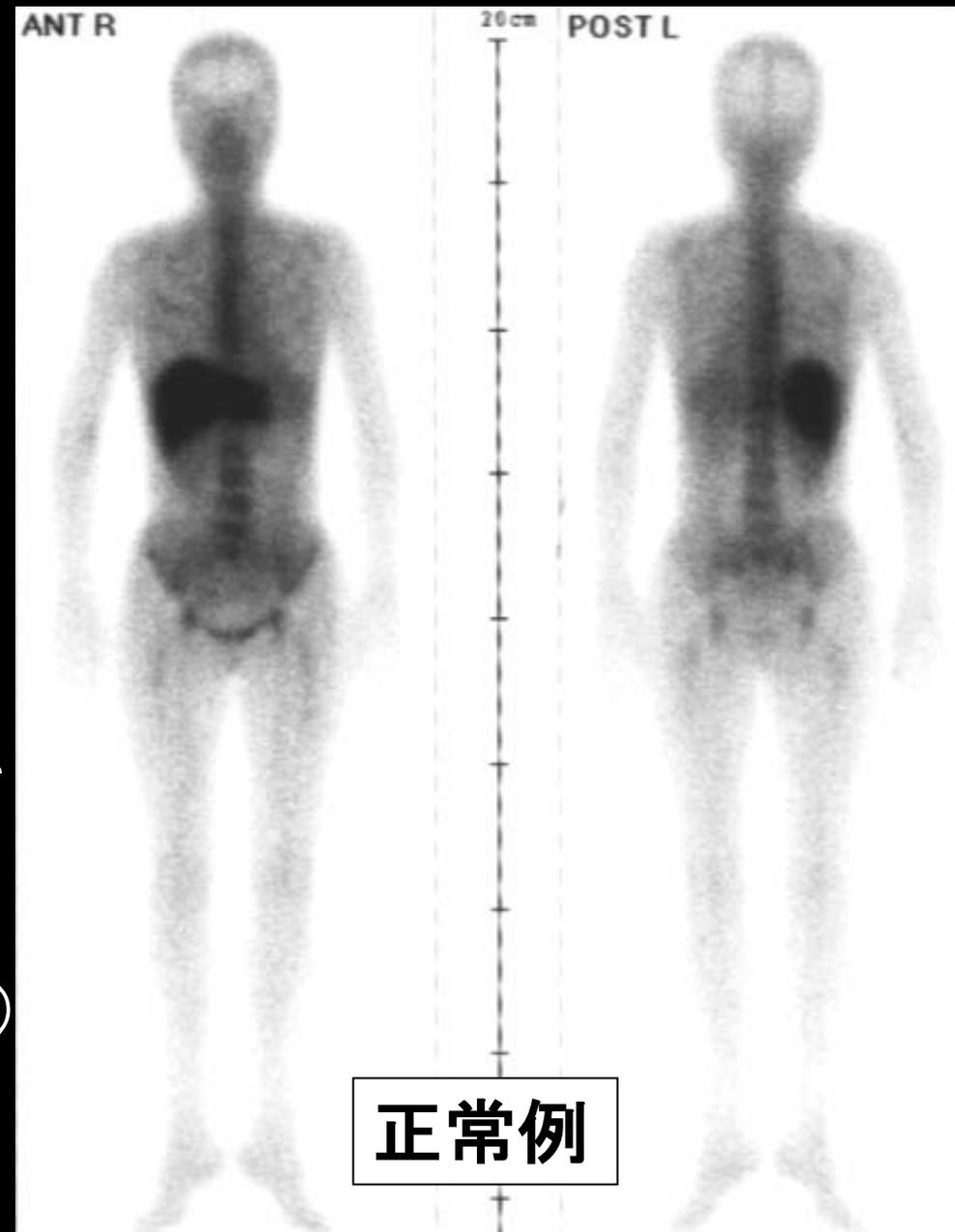
MEGP コリメータ

111 MBq投与

48~72時間後に撮像

$^{111}\text{In}$ は、Feと類似の分布を示し、  
血液中のトランスフェリン（鉄を  
骨髓に運ぶタンパク質）と結合して  
造血骨髓（赤色骨髓）に集積する。  
（正常では中心骨髓、四肢骨近位）

肝臓にも正常分布あり。



正常例

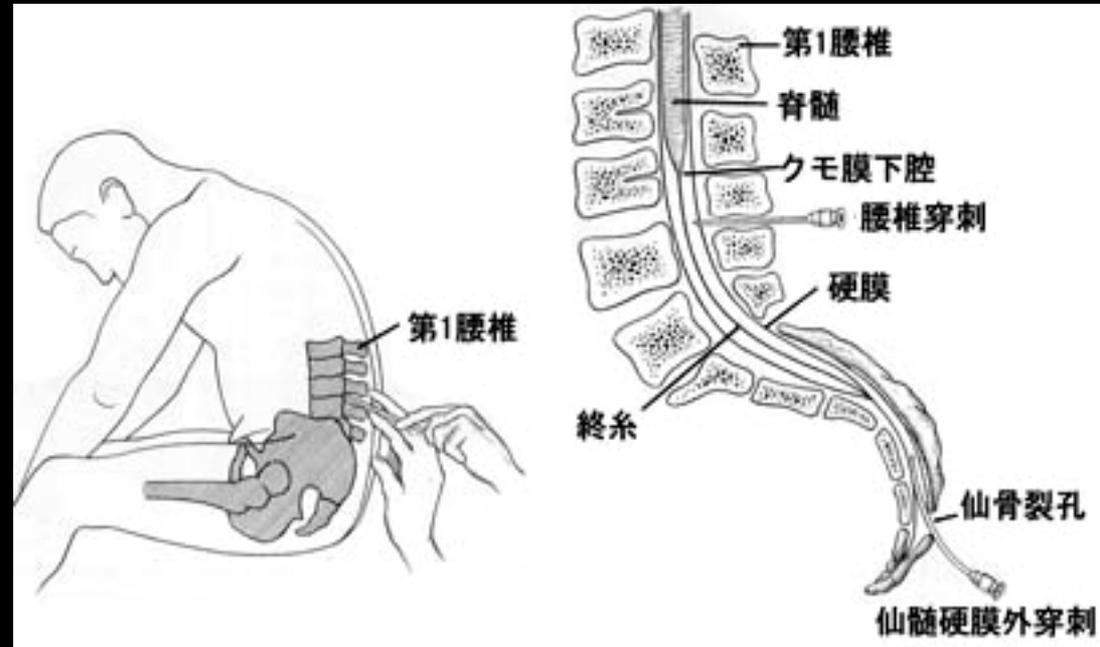
# $^{111}\text{In}$ -DTPA cisternography 脳槽シンチグラフィ

$^{111}\text{In}$  173 keV、MEGPコリメータ、半減期2.8日

$^{111}\text{In}$ -DTPAを脊髄腔に 37MBq 注入(腰椎穿刺)。

注入直後に腰椎背面撮像(穿刺が成功したか確認)

3, 6, 24, 48 時間後に頭部正面、側面を撮像。



# 正常圧水頭症 (NPH : Normo-pressure hydrocephalus )

水頭症だが、側脳室髄液の圧力は高くない。

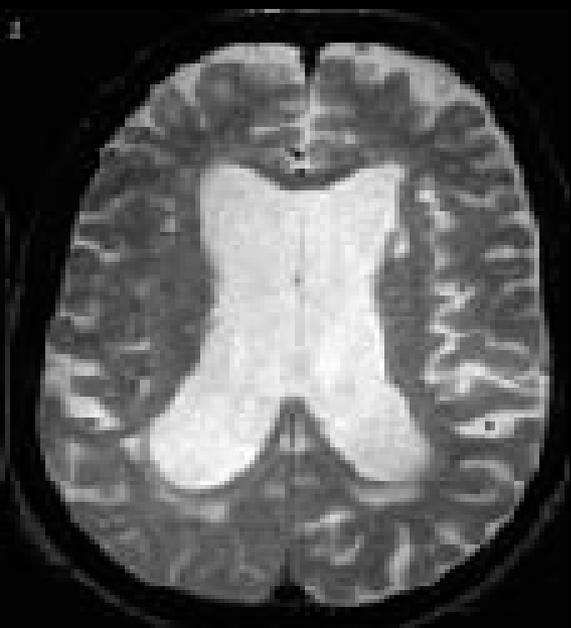
脳萎縮、脈絡叢の髄液産生能低下で生じた脳室拡大。

**Cisternography**で、側脳室が描画される。

緊急の治療は不要。

Cisternographyで、側脳室が描画されない水頭症は危険。

すぐ治療しないと脳が圧迫されて脳ヘルニアの危険あり。



MRI T2



Cisternography ANT



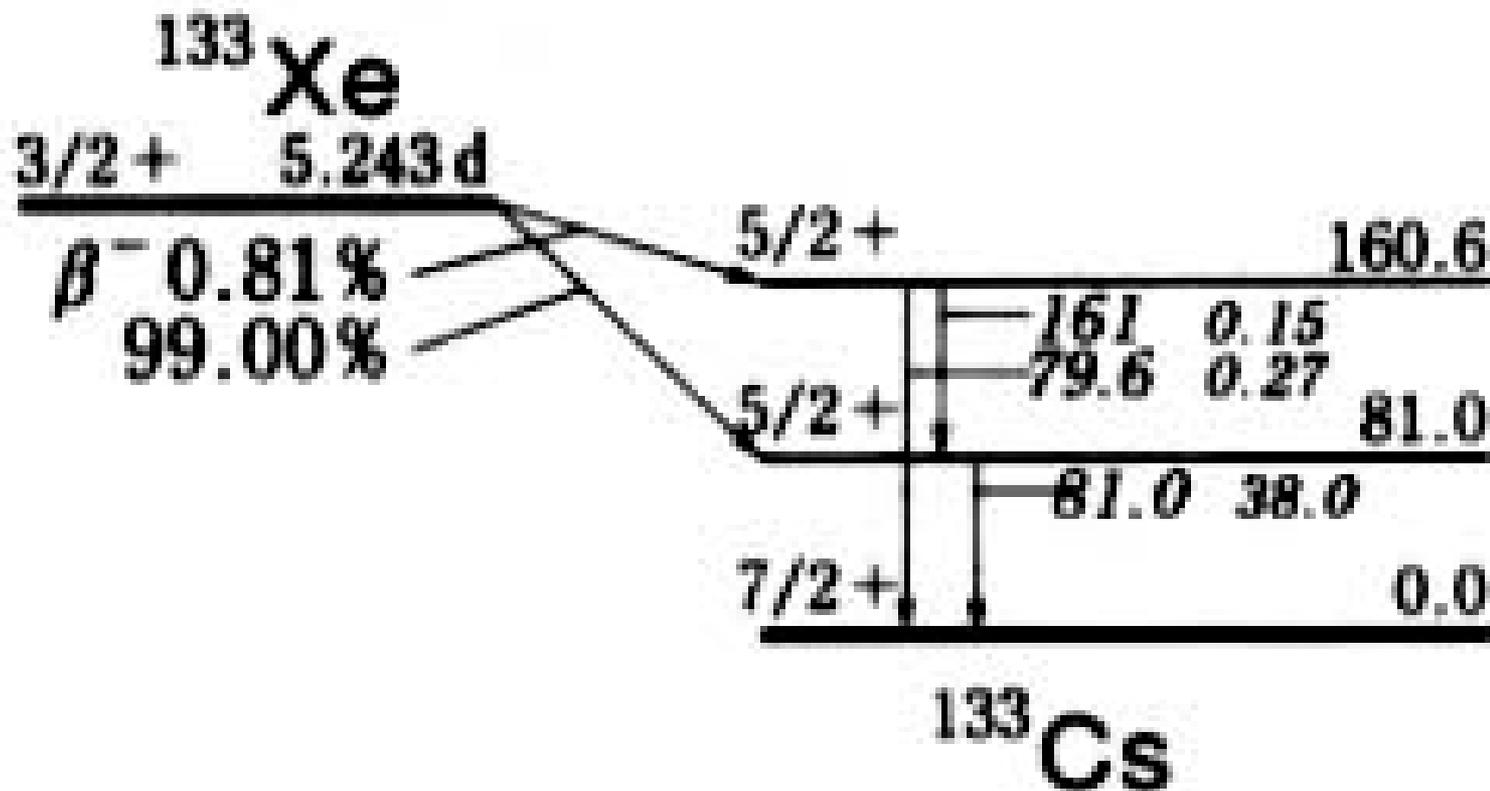
Rt. Lateral

$^{133}\text{Xe}$  (ゼノン、キセノン) 放射性希ガス。不活性放射性ガス。

肺換気シンチグラフィに用いる。以前は脳血流定量SPECTにも使われた。

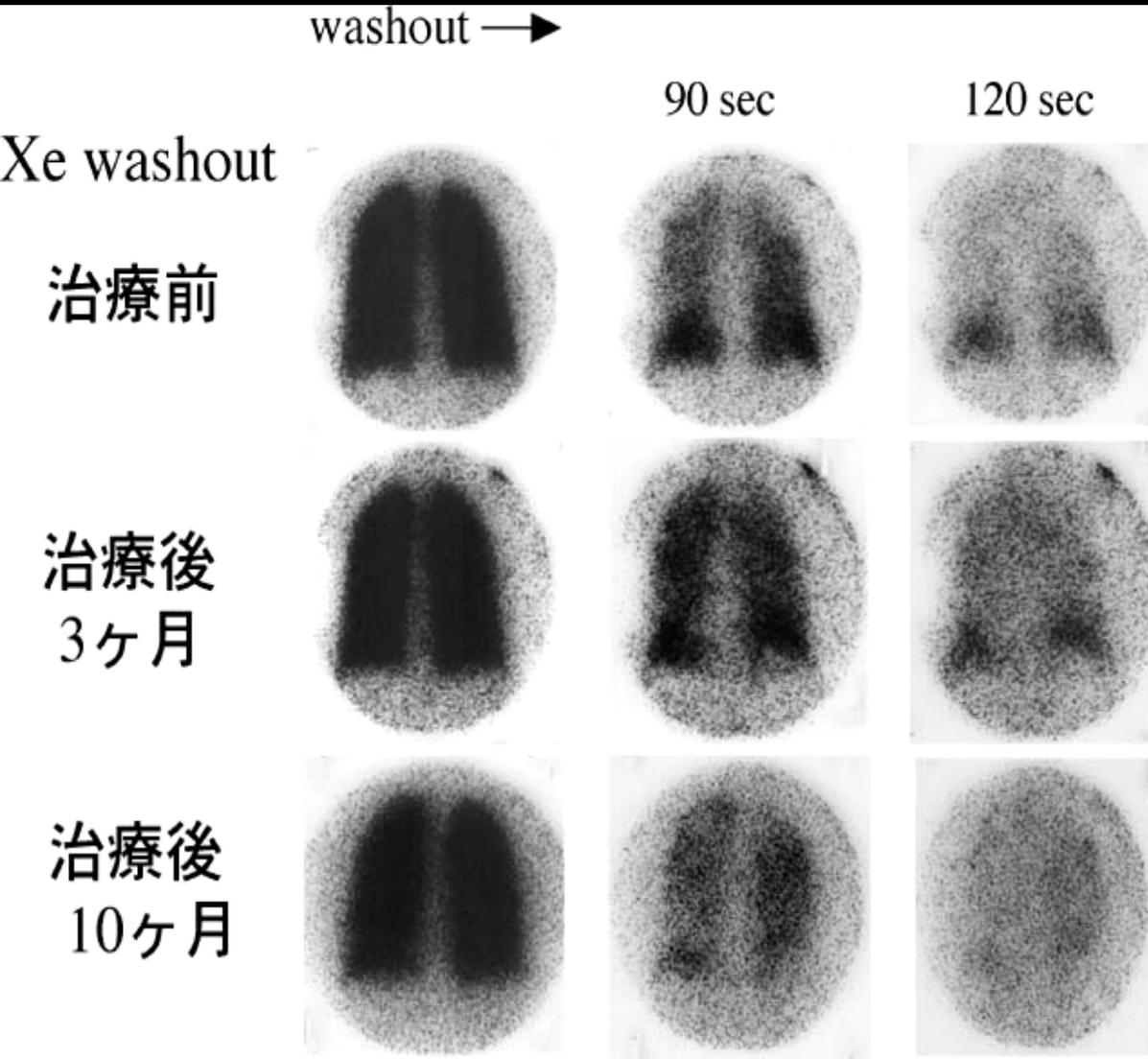
$\gamma$ 線 81 keV 低エネルギー用コリメータ

ガスなので画質が期待できない(吸入による投与は投与量が少ない)、感度が良くないので、LEGP、LEHSを使う。



# 肺気腫 Emphysema $^{133}\text{Xe}$ scintigraphy LEGP

吸気が肺野内に停滞する。死腔(呼吸に使われない空気の停滞部位)の画像化と治療効果判定。



**【問題 4-57】** (平成 10)

中エネルギー用コリメータの使用が必要な核種はどれか。

a.  $^{201}\text{Tl}$                       b.  $^{133}\text{Xe}$

c.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$                       d.  $^{111}\text{In}$

e.  $^{67}\text{Ga}$

1. a, b                      2. a, e                      3. b, c

4. c, d                      5. d, e

〔注解〕 a.  $^{201}\text{Tl}$  の  $\gamma$  線エネルギーは 0.14 MeV, 0.17 MeV なので低エネルギーコリメータを使用する。

b.  $^{133}\text{Xe}$  の  $\gamma$  線エネルギーは 0.08 MeV なので低エネルギーコリメータを使用する。

c.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  の  $\gamma$  線エネルギーは 0.14 MeV なので低エネルギーコリメータを用いる。

d.  $^{111}\text{In}$  の  $\gamma$  線エネルギーは 0.17 MeV, 0.25 MeV なので中エネルギーコリメータを用いる。

e.  $^{67}\text{Ga}$  の  $\gamma$  線エネルギーは 0.19 MeV, 0.30 MeV なので中エネルギーコリメータを用いる。