

【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. ダイバージェンス
3. コンバージェンス
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. ダイバージェンス, 3. コンバージェンス, 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。

5

1

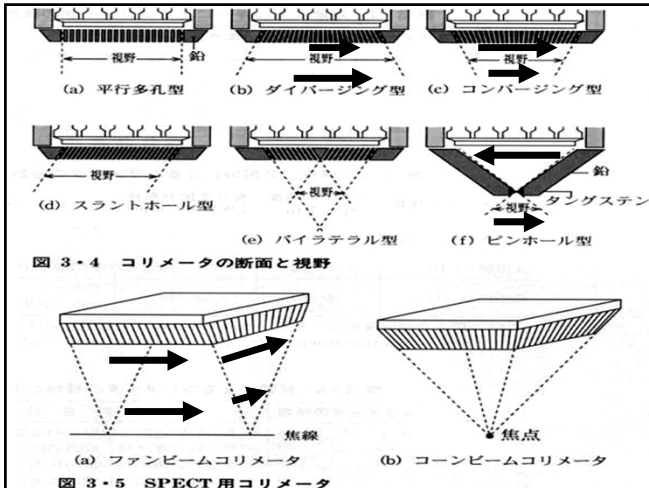
2016年 国家試験

解答 2, 3

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. コンバージェンス
4. スラントホール
5. ダイバージェンス

2



3

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 128×128 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)

4

【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. ダイバージェンスコリメータは拡大像が得られる。
3. コンバージェンス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。

5

〔注解〕 1 の記述は正しい。

2. ダイバージェンスコリメータは検出器の視野より大きい像を縮小する。

3. コンバージェンス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. γ 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。

1

6

高エネルギー γ 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 γ 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 γ 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。

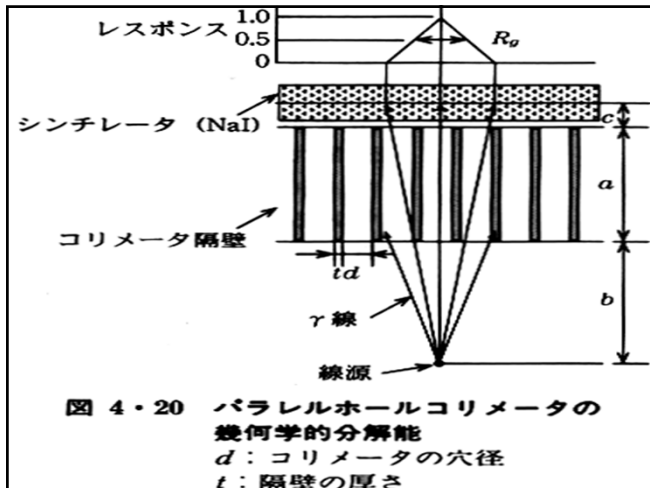
7

低エネルギー γ 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 γ 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

8



9

2015年 国家試験

解答 5

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

10

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。

11

誤差和 は、各誤差の2乗和の平方根。

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

$$f: M_1 + M_2$$

$$x_1: M_1, x_2: M_2$$

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

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

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

12

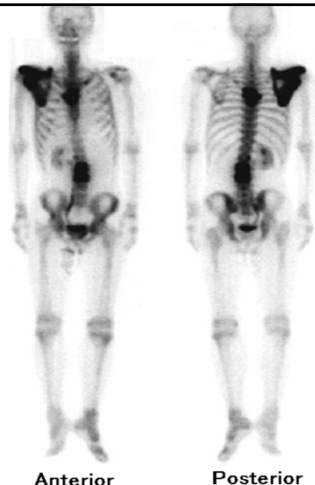
Bone scintigraphy

使用薬剤 ^{99m}Tc -MDP

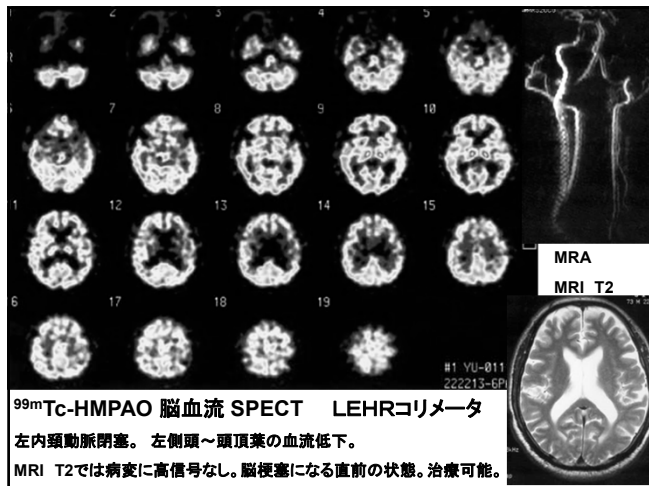
^{99m}Tc γ 線 141 keV

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。



13



^{99m}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。

14

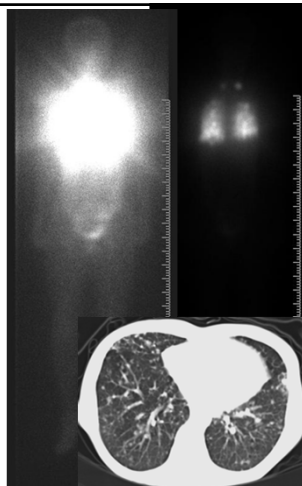
甲状腺癌の
 ^{131}I 内服治療後 ^{131}I 分布像

^{131}I は、365 keV の γ 線 と
ベータ線を放出する。

γ 線で ^{131}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}I 集積部位の
転移病変の消滅が行われる。

^{131}I で 診断と治療が同時に
行われる。



15

褐色細胞腫 骨転移

55歳男性

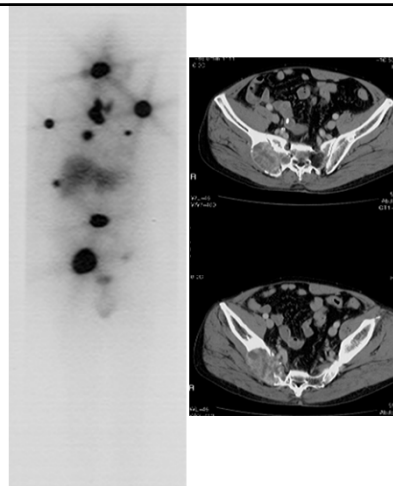
^{131}I -MIBG 16GBq
静脈注射

左腸骨に44Sv

疼痛の緩和を得た。

副作用

吐き気、白血球減少



16

【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. 画像のスムージング——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 γ 線を選別測定するが、画像のスムージングとは関係ない。

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

17

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、物理学的定量化はまだ必ずしも十分とはいえない。SPECTの定量化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ィンドウ内に混入すること (図3-20(b))、(2) γ 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。

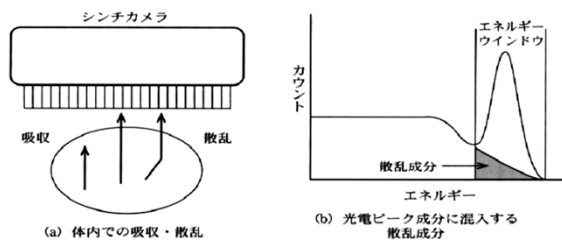


図 3-20 体内での吸収・散乱および光電ピーク成分に混入する散乱線成分

18

i) 散乱線補正^①

被写体内で発生した γ 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 γ 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

19

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 $\rho_2(r, \theta)$,

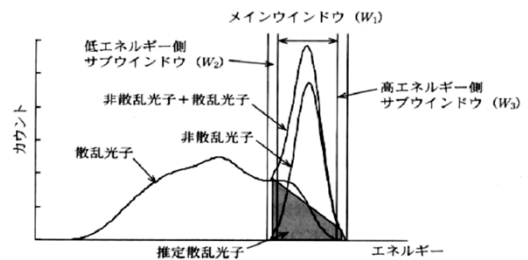


図4・48 TEW法による散乱線補正
TEW法は幾何学的には台形の面積により散乱線成分を計算し、それをメインウィンドウの投影から減算し散乱線補正をおこなう。

20

【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}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}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

21

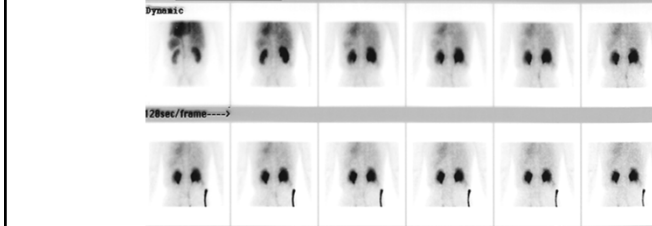
〔注解〕 a. ダイナミック収集には高感度コリメータが良い。

- d. ^{67}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}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。

3

22

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



23

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、通常スタティック(スポット)収集は当然のこと $^{99\text{m}}\text{Tc}$ や ^{67}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1.0mm, 0.5mm程度である。

24

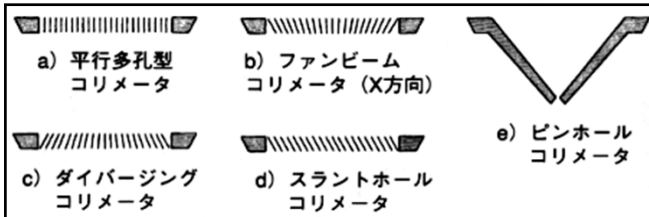


図 11-4 各種コリメータの構造

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。

25

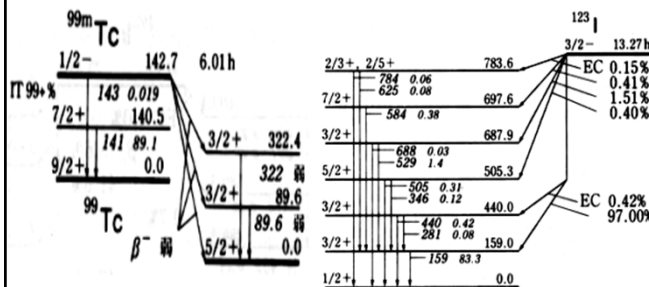
2) コンバージングコリメータ：少し小さい臓器（心臓など）を拡大して撮像するコリメータで、ダイバージングコリメータとは逆に下方へ集束した形で孔のあけられた多孔コリメータである。像に歪みができるのが欠点であるが、検出効率が増すため解像力がよくなる。

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。

26

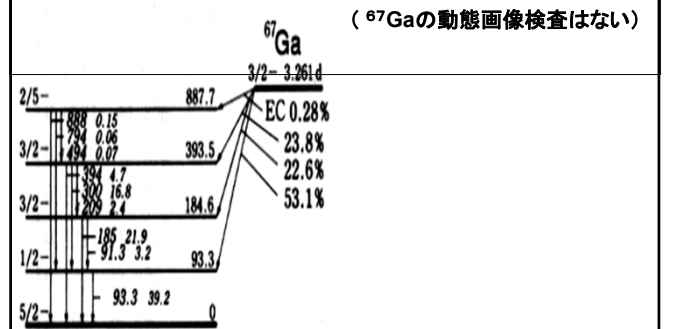
^{99m}Tc の γ 線は主に141keV、 ^{123}I の γ 線は主に159keV
160keV以下は、低エネルギー用コリメータ（薄い）

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



27

^{67}Ga の γ 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



28

【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}Ga 2. ^{99m}Tc
3. ^{123}I 4. ^{125}I
5. ^{131}I

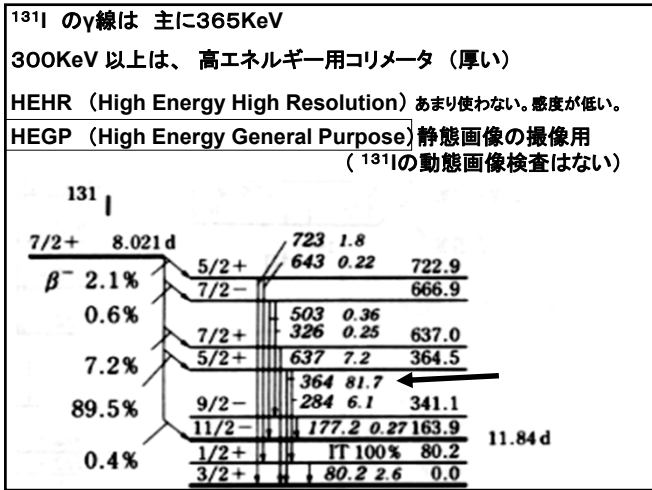
【注解】 γ 線エネルギーは、 ^{99m}Tc は140 keV、 ^{123}I は159 keV、 ^{125}I は35.5 keV、 ^{131}I は365 keVである。
1. ^{67}Ga の γ 線エネルギーは93 keV その他をもつ図のエネルギースペクトルである。

29

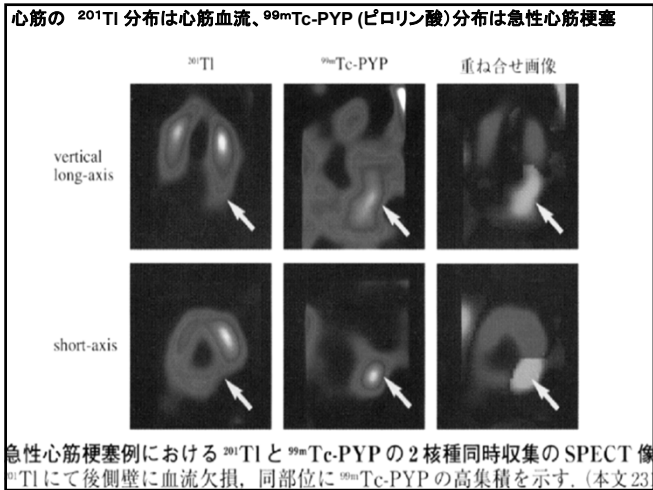
Malignant Lymphoma ^{67}Ga scintigraphy
Planar image SPECT MIP image

^{67}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

30



31



32

[²⁰¹Tl との 2 核種同時収集]
^{99m}Tc-PYP と ²⁰¹Tl 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 ^{99m}Tc-PYP: 370~740 MBq を静注し、3~4 時間後に ²⁰¹Tl を 111 MBq 静注する。その 10 分後からプレイナ像と SPECT 像を撮像する。エネルギーウィンドウは、^{99m}Tc (140 KeV) と ²⁰¹Tl (71 keV) に設定する。可能な限り **クロストーク補正** をおこなう。画像処理は、²⁰¹Tl の心軸設定に ^{99m}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 ^{99m}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。

33

^{99m}Tc のγ線は主に 141 keV、²⁰¹Tl のγ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、²⁰¹Tl (心筋血流)と ¹²³I-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	変形式	おもなβ線(またはα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 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 _a 0.0803- 20.4% Hg-K _β 0.00999- 46.0% Hg-L

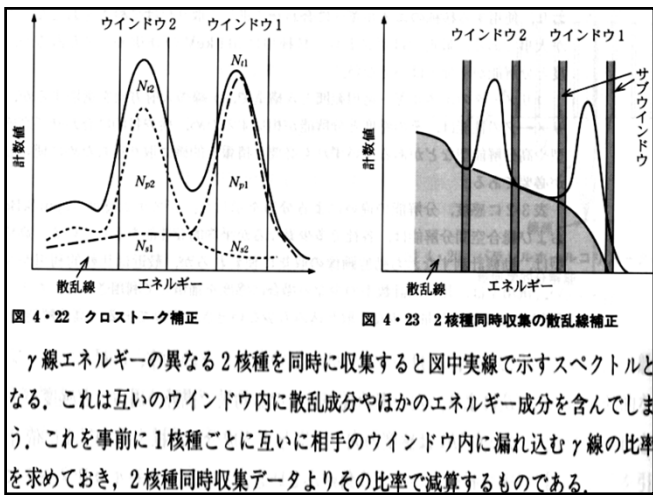
34

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γ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γ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、²⁰¹Tl, ⁶⁷Ga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²⁰¹Tlと^{99m}Tcの例と考えてもよい。二つのウィンドウをお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。図から明らかなように、互いのエネルギーによる**クロストーク**(cross talk)が生じる。

35



36

【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}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}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。

2

37

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。

38

【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}In の 2 ピーク同時収集に用いる。
 - e. ^{133}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

39

【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}In は中エネルギー用コリメータを用いる。

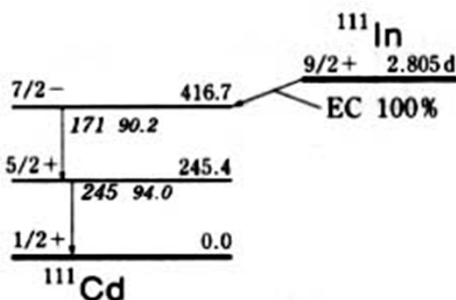
e. ^{133}Xe ガスを吸入する脳血流の測定には低エネルギー用高感度コリメータを用いる。

a, b の記述はいずれも正しい。

1

40

^{111}In (インジウム) γ 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。



41

$^{111}\text{InCl}$ Bone marrow scintigraphy 骨髄シンチグラフィ

^{111}In 171 keV, 245 keV

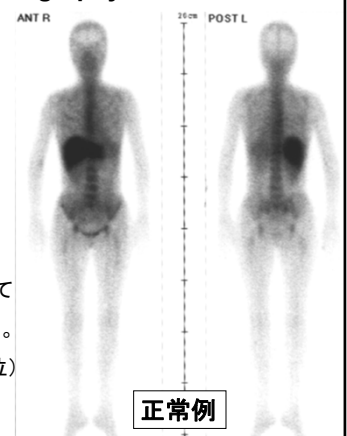
MEGP コリメータ

111 MBq投与

48~72時間後に撮像

^{111}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
骨髄に運ぶタンパク質)と結合して
造血骨髄(赤色骨髄)に集積する。
(正常では中心骨髄、四肢骨近位)

肝臓にも正常分布あり。



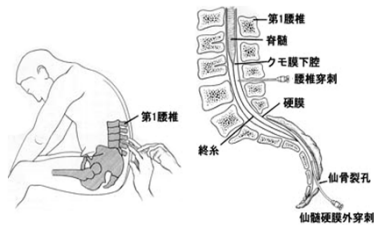
42

¹¹¹In-DTPA cisternography 脳槽シンチグラフィ

¹¹¹In 173 keV、MEGPコリメータ、半減期2.8日

¹¹¹In-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。



43

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。

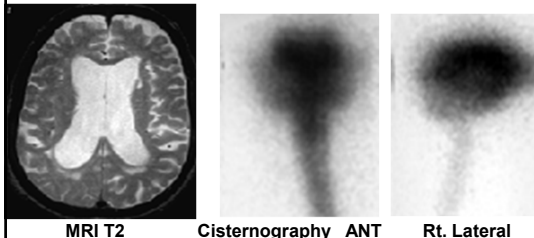
脳萎縮、脈絡叢の髄液産生能低下で生じた脳室拡大。

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。



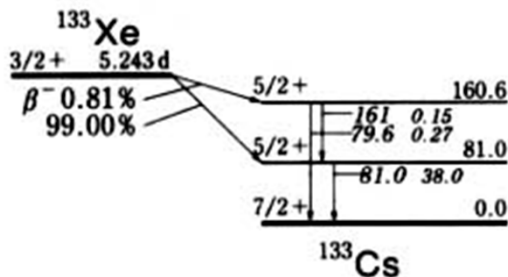
44

¹³³Xe (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。以前は脳血流量SPECTにも使われた。

γ線 81 keV 低エネルギー用コリメータ

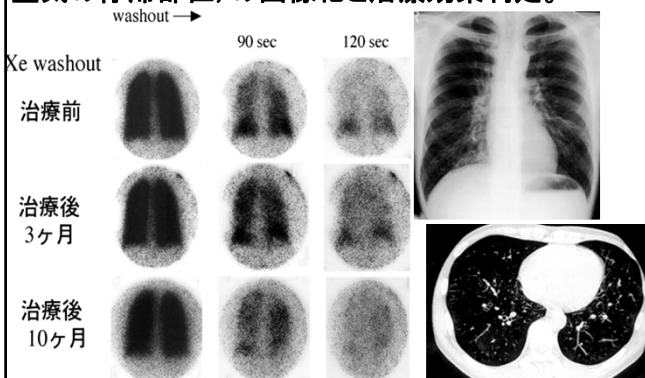
ガスなので画質が期待できない(吸入による投与は投与量が少ない)、
感度が良くないので、LEGP、LEHSを使う。



45

肺気腫 Emphysema ¹³³Xe 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。



46

【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. ²⁰¹Tl b. ¹³³Xe
c. ^{99m}Tc d. ¹¹¹In
e. ⁶⁷Ga

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

47

【注解】 a. ²⁰¹Tl の γ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. ¹³³Xe の γ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. ^{99m}Tc の γ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. ¹¹¹In の γ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. ⁶⁷Ga の γ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。

5

48