

期末試験 令和4年1月12日(水) 10:30
選択問題100題
配布プリントに載せた問題 + α

すでに、ホームページに解答用紙と問題用紙(ダミー)がダウンロードできる状態にしています。ダウンロードできない場合は、使用ブラウザのメニューバー「ツール」で、「閲覧履歴の削除」「閲覧履歴の削除」を行い、ブラウザのメニューバ「表示」で「最新の情報に変更する」を行って下さい。

1

2004年 国家試験 解答 1
【問題 65】 ^{18}F -FDG による PET 検査の適応となるのはどれか。

a. 悪性リンパ腫
 b. 心筋梗塞
 c. てんかん
 d. 肺塞栓症
 e. 水腎症

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

2

FDG-PET の 健康保険適用疾患

1. てんかん
2. 虚血性心疾患
心サルコイドーシス
3. 悪性腫瘍 (早期胃癌を除く)
(病理診断で悪性病変と確定した症例に限る)
4. 血管炎 高安動脈炎など
(平成30年から)

3

2015年 国家試験 解答 3
 甲状腺機能亢進症の ^{131}I 内照射療法における甲状腺線量推定に必要でないのはどれか。

1. ^{131}I 投与量
2. 甲状腺重量
3. 尿中 ^{131}I 排泄量
4. 甲状腺 ^{131}I 摂取率
5. 甲状腺 ^{131}I 有効半減期

RI の内照射治療の効果推定に必要な項目は、RI の投与量と有効半減期と、標的臓器や病変の重量と RI 摂取率。

4

2007年 国家試験 解答 5
非密封放射性同位元素治療 (RI 内用療法) に用いるのはどれか。

1. ^{51}Cr
2. ^{99}Mo
3. ^{111}In
4. ^{123}I
5. ^{131}I


^{131}I 、 ^{89}Sr が治療に使用可能。内服治療に適する核種の条件は、

1. 病変に特異的に集積する。
2. 病変に長く停滞する。
3. 病変以外の組織には停滞しない。
4. ベータ線を放出する。
5. 物理的半減期が長い。

5

前立腺癌骨転移患者の疼痛緩和に対するラジウム223 (^{223}Ra) の投与治療。
商品名：ゾーフィゴ (2016年に承認)
 ^{223}Ra の物理的半減期は 11日。
 アルファ線を放出し骨転移組織を消滅。
 アルファ線は組織内では 0.1mmしか飛ばない。
 ガンマ線を放出しないので、患者の体表面から放射能はほとんどない。
 すぐ一般公衆へ退出できる。外来治療が可能。
 ^{223}Ra を4週間おきに静脈注射(最大6回まで)。
 1回(約3~6MBq) で68万円。

ラジウムがカルシウムと類似の性質を持ち、骨に集積することを利用して、前立腺癌の骨転移の疼痛緩和に効果がある。



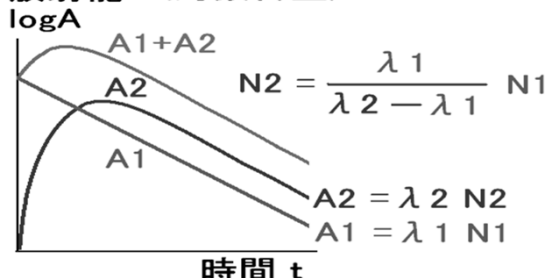
前立腺癌 骨転移
 骨シンチグラフィ
 体内のリン酸の分布像

6

過渡平衡の例 $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc} - ^{99}\text{Tc}$

^{99}Mo (モリブデン) の半減期は 66時間。
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (テクネチウム) の半減期は 6時間。

放射能 A (対数目盛)



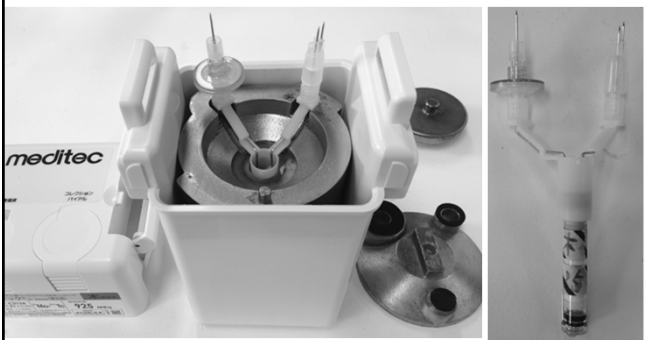
7

空バイアルを挿入するとミルクキングが始まる。
 バイアルの目盛り3mLまで水が満たされたら
 バイアルをシールドごと抜く。



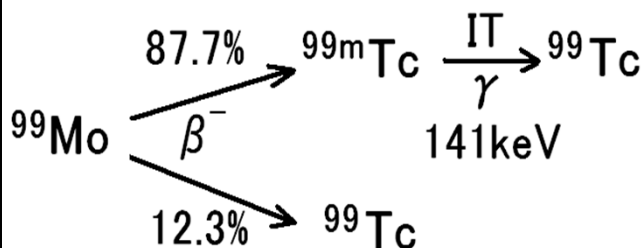
8

厚い鉛容器の中に、モリブデンを蒸着した金属箔の筒(カラム)が入っている。
 その中に生理食塩水を通して、テクネチウムを溶出する。



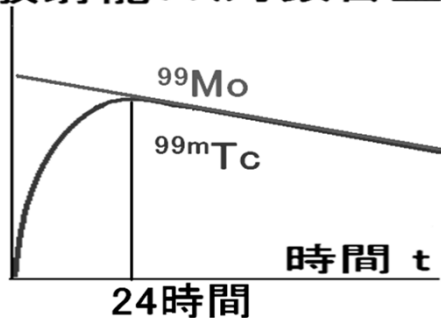
9

^{99}Mo の分岐比: 87.7% が $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に β -崩壊し、
 残りは直接 ^{99}Tc に β -崩壊する。



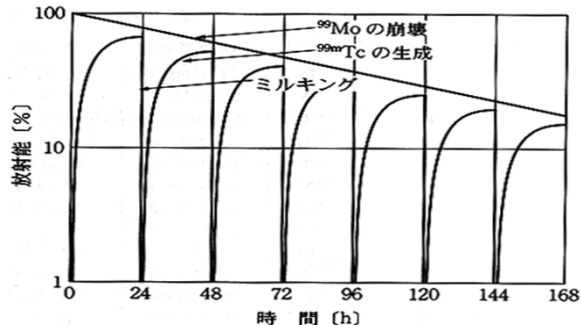
10

^{99}Mo から $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に β 崩壊する割合(分岐比)を
 考慮すると、実際には $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能は、
 理論式の87.7%に下がり、 ^{99}Mo の放射能を
 超えない。放射能 A (対数目盛)



11

$^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ 過渡平衡状態のカラムは、
 24時間後に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射能が最大になるので
 毎日(24時間おきに) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を抽出できる。
 これを乳牛の搾乳に例えてミルクキングという。



12

2016年 国家試験

解答 4

PET 薬剤の合成で正しいのはどれか。

1. ^{17}O を用いて標識化合物の合成を行う。
2. ^{15}O は標識化合物の合成が不可能である。
3. ^{18}F - FDG はフルクトースの誘導体である。
4. 標識合成は短時間で効率良く行わなければならない。
5. ^{18}F - FDG の合成方法には $^{18}\text{O}^-$ イオンを用いるイオン法がある。

PET用のRIIは、陽電子放出核種で、半減期が短い。

13

2016年 国家試験

解答 2

腎臓の糸球体でろ過されるが、尿細管では分泌も再吸収もされない放射性医薬品はどれか。

1. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - DMSA
2. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - DTPA
3. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - ECD
4. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - MAG3
5. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - MIBI

14

腎動態検査(レノグラフィ) 前処置: 30分前に250ml飲水

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA

糸球体から尿へ濾過される。糸球体濾過率(GFR)の測定。

高度腎不全症例のGFR定量、乳幼児には不適。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3、 $^{131\text{I}}$ -OIH (馬尿酸)

糸球体および近位尿細管から尿へ排泄される。

有効腎血漿流量(ERPF)の測定。

腎実質への集積量がDTPAより高い。

高度腎不全症例のERPF定量、乳幼児に適する。

腎静態検査

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA 腎皮質に集積。尿へ排泄されない。前処置不要。

VUR等による腎盂腎炎後の瘢痕形成の経過観察に適する。

15

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA (di mercapto succinic acid)

腎実質の近位尿細管と遠位尿細管に集積。排泄されない。

投与量185MBq/50kg (小児に多い検査)

投与前後の注射器を撮像。投与カウントを算出。

静脈投与2時間後に背面像を撮像し、左右腎にROIを設定し、各腎臓に、投与量の何%摂取されたかを算出。(正常は、左右ともに約20%、両腎合わせて40%以上)

さらにLPO, RPOを撮像し、SPECT撮像。

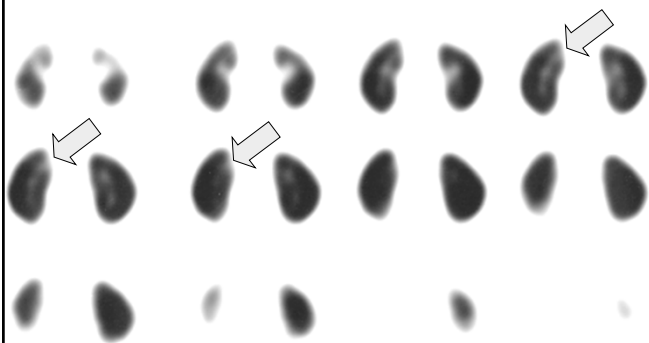
機能している腎実質の形状および腎実質機能、分腎機能の定量評価が可能。

前処置は不要。

16

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA SPECT

VUR (vesico-ureteral reflux : 膀胱尿管逆流症)に伴う腎盂腎炎後の瘢痕



17

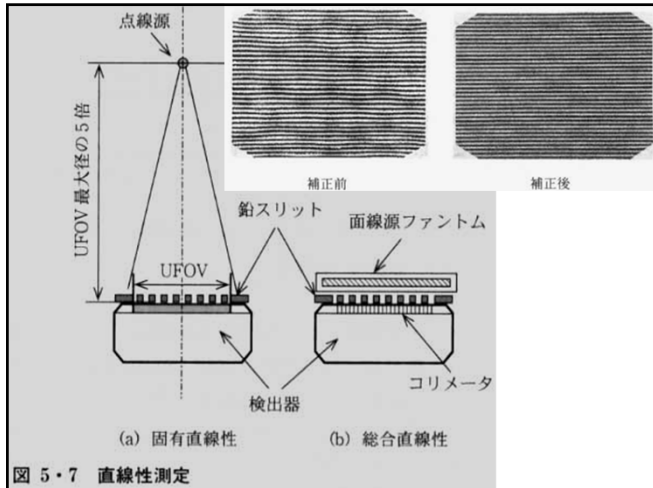
2016年 国家試験

解答 3

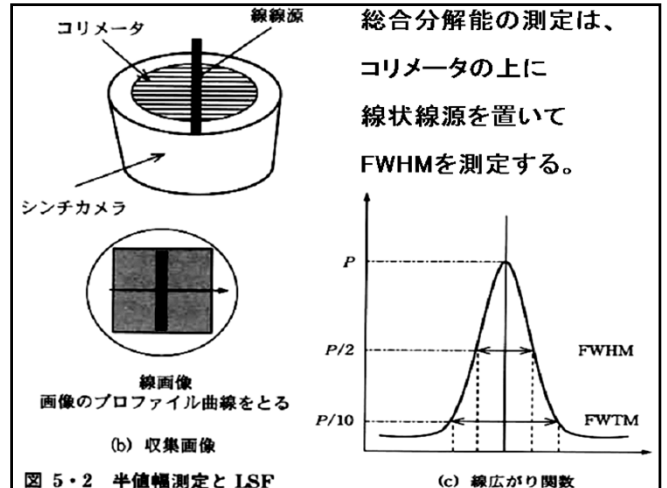
ガンマカメラの性能とその評価に使用するものとの組合せで正しいのはどれか。

1. 総合直線性 ————— 線線源
2. 総合分解能 ————— 面線源
3. 固有空間分解能 ————— 点線源
4. 固有計数率特性 ————— パーファントム
5. 固有エネルギー分解能 — スリットファントム

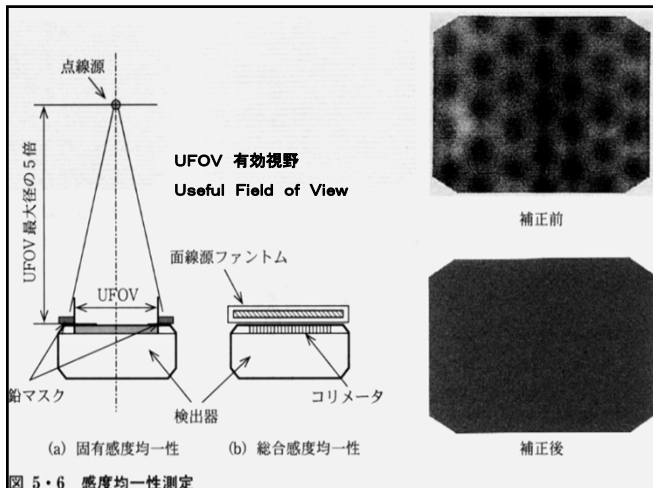
18



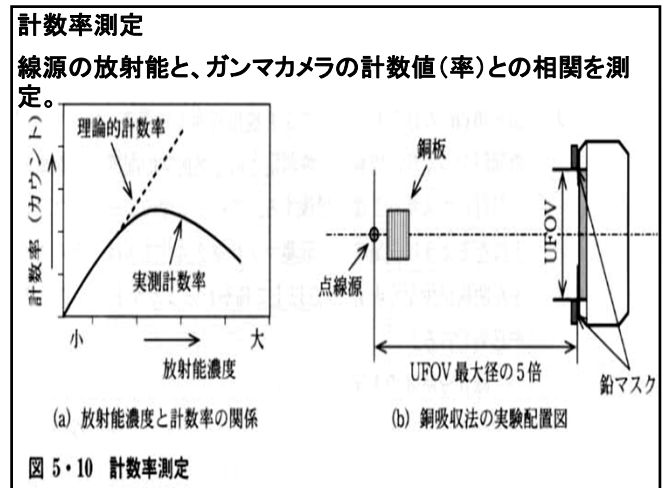
19



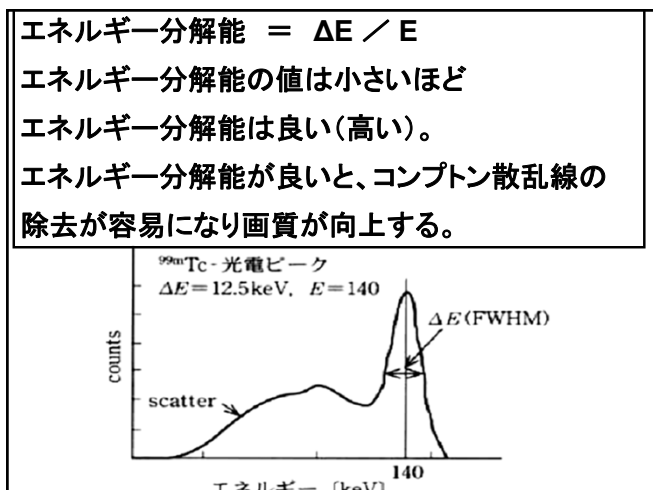
20



21



22



23

表 3.6 おもな PET 検出器用シンチレータ

シンチレータ	NaI (NaI: Tl)	BGO (Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂)	LSO (Lu ₂ SiO ₅ : Ce)	GSO (Gd ₂ SiO ₅ : Ce)	BaF ₂
実効原子番号	51	74	66	59	54
密度 (g/cm ³)	3.7	7.1	7.4	6.7	4.9
減弱係数 (cm ⁻¹)	0.34	0.92	0.87	0.66	0.48
発光量 (相対値)	100	10	75	18	8
光の減衰時間 (nsec)	230	300	40	30~60	0.8
エネルギー分解能 (%)	8	18	12	8	—

(注) 減弱係数は 511 keV の消滅放射線に対する値。
 密度の高い(重い)結晶ほど、高エネルギーγ線と相互作用を
 起こしやすい(線減弱係数が大きく、光りやすい。感度が高い)。
 光の減衰時間が短い結晶ほど数え落しが少ない(計数率直線性がよい)。
 数年前のPETには、BGOが使用されていたが、
 最近のPETには、GSO、LSOが使用されている。

24

2016年 国家試験 解答 2

SPECT のデータ収集で正しいのはどれか。

1. 360度収集は180度収集よりも定量性が低い。
2. 収集カウントが4倍になるとSN比は2倍になる。
3. 円軌道収集は近接軌道収集よりも空間分解能が高い。
4. ピクセルサイズはシステム分解能の2倍以上とする。
5. ステップ収集では検出器の静止時にデータは収集されない。

25

180度収集

360度収集

360度収集の心筋SPECT像の方が、下壁の描画が良く、定量性が保たれている(吸収アーチファクトが少ない)が、撮像時間が長いので体動アーチファクトを受けるリスクは増える。

26

信号/雑音比、S/N比、Signal/Noise Ratio
 計数値 n に含まれる統計雑音は、 \sqrt{n}
 S/N 比 = n / \sqrt{n}
 n が4倍になれば、 \sqrt{n} は2倍になるので
 S/N 比は2倍になる。

システム分解能の半分の画素長で収集する。
 システム分解能とは、
 装置が弁別できる2点間の最小距離(FWHM)。
 例えば、システム分解能が4mmの装置では
 2mmのピクセルサイズで収集しなければ
 4mm波長のデジタルデータは得られない。
 (AD変換のサンプリング定理)

27

心筋SPECTの円軌道収集
 患者中心軸とカメラの距離を一定にしてSPECTデータ収集
 心筋SPECTの近接軌道収集
 患者体表とカメラの距離をセンサーで最小に保ちSPECTデータ収集

心筋SPECT近接軌道収集

①位置決め ②データ収集の開始 ③45度状態 ④データ収集の終了

■近接軌道 ■円軌道

円軌道 分解能補正なし
 近接軌道 分解能補正なし
 近接軌道 分解能補正あり ※減弱補正あり

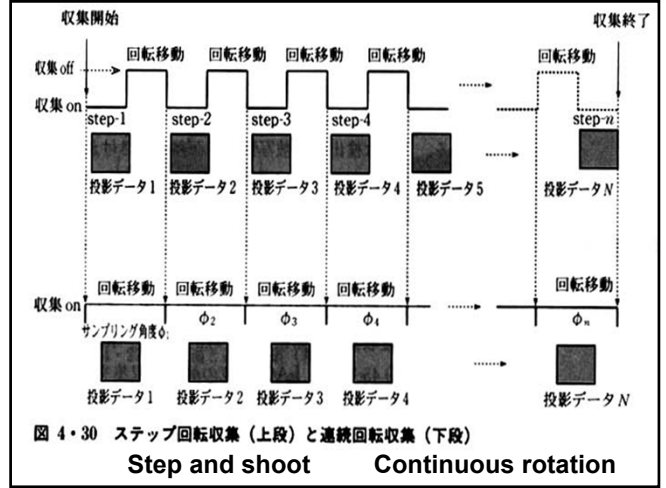
28

iii) 回転収集方法

収集方法は基本的にシンチカメラと同じである。違いは検出器が回転移動している点だけである。SPECT画像の代表的な収集法には、**ステップ回転収集**と**連続回転収集**がある。図4・30に示すようにステップ回転収集は、検出器がある一定のサンプリング角度(ϕ)ごとに静止して収集をおこない、被写体の体軸の周りを回転する収集方法である。あらかじめ設定した収集時間が終われば次のステップへと回転する。検出器が回転しているときはデータ収集はおこなわないので時間的にロスが生じ検査時間がやや長くなる。連続回転収集は、検出器が被写体の体軸の周りを連続回転してデータ収集する。この連続回転収集の特徴

は、連続してデータ収集をおこなうためにステップ回転収集に比較して効率良くデータ収集ができる。しかし、サンプリング角度が大きくなる場合には、画像の位置情報が大きくずれ画像ひずみが生じて画像のボケが生じやすくなる。ただし、短時間で早期の動態を検査する場合には空間分解能よりも感度が優先されるので、この連続回転収集法が多く使われている。

29



30

2016年 国家試験

解答 4

ダイナミック収集によって算出する指標はどれか。

1. Na¹²³I を用いた甲状腺摂取率
2. ¹⁸F - FDG を用いた SUVmax
3. ¹²³I - MIBG を用いた心縦隔比
4. ^{99m}Tc - ECD を用いた局所脳血流量
5. ^{99m}Tc - MAA を用いた右左シャント率

31

平成26年 国家試験

解答 4, 5

^{99m}Tc 標識脳血流シンチグラフィ製剤と Patlak plot (パトトラックプロット) 法を用いた局所脳血流の定量に必要な手技はどれか。2つ選べ。

1. 静脈採血
2. 1点動脈採血
3. 持続動脈採血
4. SPECT
5. 動態プラナー撮影

32

¹²³I-IMPは、2コンパートメントモデルに従うが、k₂は小さいとみなし、下記の式による概算値が脳血流量に使用される。

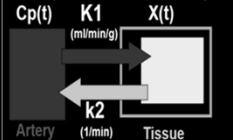
この¹²³I-IMPによる脳血流量定量法をオートラジオグラフィ法 (ARG法) という。

脳血流量 CBF (Cerebral Blood Flow)

CBF (mL/100g/min)

$$= \frac{\text{脳SPECT (30分後像) による脳組織放射能 (Bq/100g)}}{\text{動脈血漿放射能曲線の30分間の積分値 (min \cdot Bq/mL)}}$$

2 Compartment model analysis



$$\frac{dX(t)}{dt} = K1 Cp(t) - k2 X(t)$$

k₂=0 とみなし、上の式を積分すると

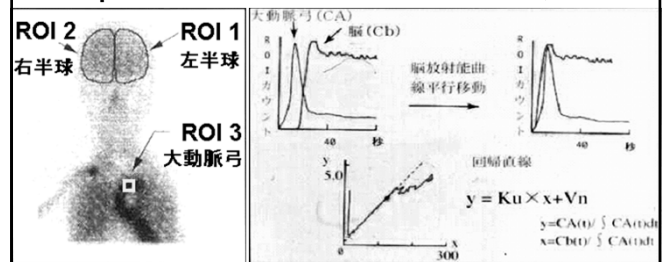
$$X(T) = K1 \int_0^T Cp(t) dt$$

$$K1 \hat{=} CBF = X(T) / \int_0^T Cp(t) dt (T=30min)$$

33

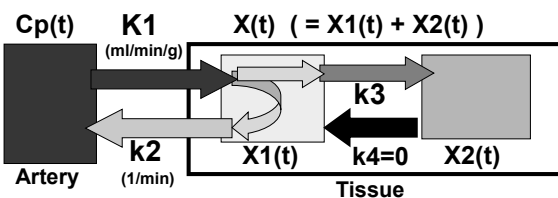
^{99m}Tc-HMPAO、^{99m}Tc-ECD ともに、IMPとは異なり静注後、肺に停滞しない。投与放射能も多いので投与時にプラナー像でダイナミック画像が良好な画質で撮れる。

ダイナミック画像から、左右大脳半球と大動脈弓 (動脈血の代用) に関心領域 (ROI) を設定して放射能曲線を求め、Patlak plot法で、左右大脳半球の脳血流量が計算できる。



34

3 Compartment model analysis (case k₄ = 0)



$$\frac{dX1(t)}{dt} = K1 Cp(t) - (k2 + k3) X1(t)$$

$$\frac{dX2(t)}{dt} = k3 X1(t)$$

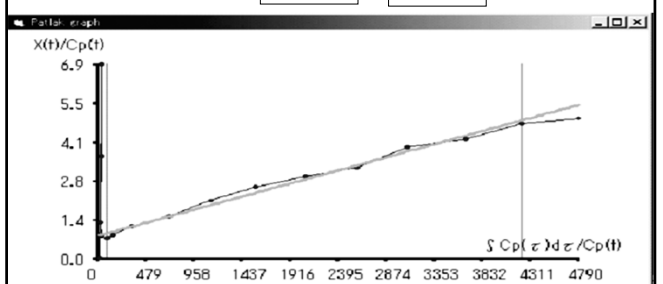
$$Ki = K1 \frac{k3}{k2 + k3}$$

$$Vd = \frac{K1}{k2} \left(\frac{k2}{k2 + k3} \right)^2$$

35

Patlak plot の式

$$\frac{X(t)}{Cp(t)} = \frac{\int Cp}{Cp(t)} \cdot Ki + Vd$$



横軸を $\int Cp / Cp(t)$ 、縦軸を $X(t) / Cp(t)$ のグラフを描くと、直線近似ができて、その傾きが Ki、切片が Vd である。

36

$X(t)$ に脳SPECT画像の各画素の数値を入れれば $^{99m}\text{Tc-ECD}$ の場合、Patlak plot で得た K_i が、脳内の各画素での脳血流量 (ml / min / 100g brain)。

Patlak plot 法が使える薬剤の条件は、
3 コンパートメントモデルに従う薬剤動態をする。
 $k_4 = 0$ (薬剤を能動的に取り込んだ組織から薬剤または放射性的代謝物が出ない)

実際は ECD の k_4 は、完全に 0 ではないので、若干の誤差がでる。

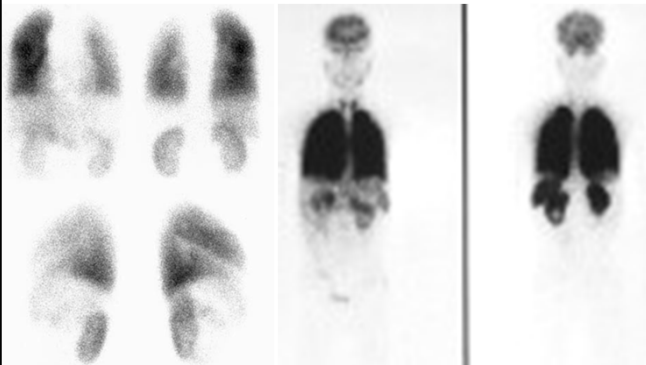
37

$^{123}\text{I-IMP}$ は静注後、肺に長く停滞するので、パトラックプロット法は利用できない。
ダイナミック画像から、大動脈弓関心領域が設定できない (放射能の高い肺に囲まれるため)。
 $^{99m}\text{Tc-HMPAO}$ 、 $^{99m}\text{Tc-ECD}$ などの ^{99m}Tc 脳血流製剤は、投与後から脳と大動脈弓を含む撮像範囲のダイナミック撮像を行い、Patlak plot 法で、左右大脳半球の脳血流量が計算できる。

38

$^{99m}\text{Tc-MAA}$ Pulmonary perfusion scintigraphy

右左シャント (R-L shunt) ASD, VSD, TOF, 肺動静脈短絡などで肺を経由せずに右心系の低酸素血液が左心系に一部流入する病態。



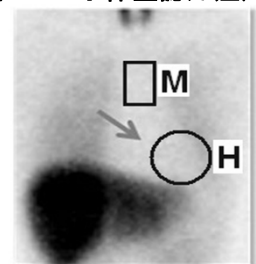
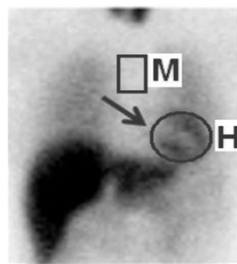
39

$^{123}\text{I-MIBG}$ シンチグラフィによるパーキンソン病の診断
MIBGはアドレナリンの類似物質。交感神経に集積。
正常心筋はMIBG集積あり (心/縦隔比 (H/M) 2.5程度)
パーキンソン病は交感神経障害で、心筋描出が乏しい。

正常例

パーキンソン病

(レビー小体型認知症)



40

SUV (Standardized Uptake Value)

$$= \frac{\text{病変の放射能濃度 (Bq/ml)}}{\text{体内平均放射能濃度 (Bq/ml)}} \\ \text{(投与量 (Bq) / 体重 (g))}$$

SUVmaxは、病変内の最大放射能濃度を分子においたSUV。臨床で使うSUV。病変の放射能濃度が体内平均の何倍かを示す半定量値。正常値は 1。
2.5~3以上を病的集積と考える。

41

平成28年 国家試験 解答 5

^{123}I と組み合わせて 2 核種同時収集に用いられる頻度の高い核種はどれか。

1. ^{67}Ga
2. ^{81m}Kr
3. ^{111}In
4. ^{131}I
5. ^{201}Tl

^{123}I	159keV	^{111}In	171keV
^{67}Ga	93,185,300 keV	^{201}Tl	71keV
^{131}I	365keV		

42

心尖部肥大型心筋症 (Apical HCM)
Hypertrophic Cardiomyopathy

^{201}Tl SPECT で、心尖部の描画亢進、他部位の描画低下。
 心尖部が局所的に心筋症で病的肥大し、他部位は正常で SPECTで、このような画像になる。
 (心筋壁が厚いと部分容積効果が減って描画が高くなる。)

BMIPPでは、肥大部位に一致した脂肪酸代謝低下あり、
 肥大部位が正常心筋でないことを示している。

長軸矢状断 長軸水平断 長軸矢状断 長軸水平断

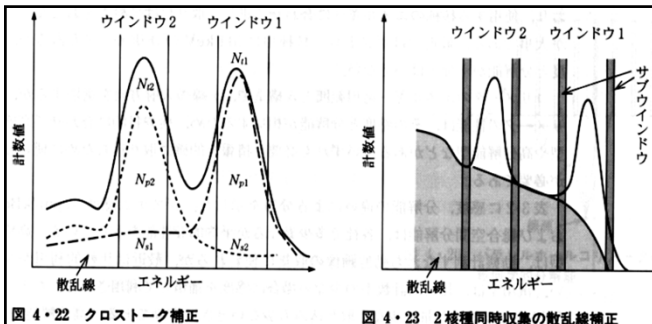
Rest ^{201}Tl 安静時血流 ^{123}I -BMIPP 脂肪酸代謝

43

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ の γ 線は主に 141 keV、 ^{201}Tl 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、 ^{123}I -BMIPP (159keV) (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 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 α 0.0803- 20.4% Hg-K β 0.00999- 46.0% Hg-L

44



γ 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 γ 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。

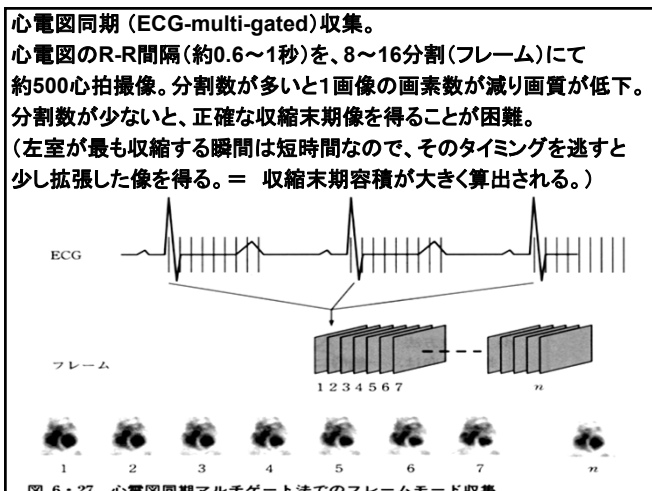
45

2016年 国家試験 解答 3

心電図同期心筋 SPECT における解析で正しいのはどれか。

1. 左室肥大の影響を受けない。
2. 拡張期の心機能指標は得られない。
3. 小さな心臓では左室容量が過小評価となる。
4. R-R 間隔の分割数が多くなると SN 比が向上する。
5. R-R 間隔の分割数が少なくなると収縮末期容量は過小評価となる。

46



47

心電図同期 心筋SPECT

心臓の拡張期、収縮期の断層画像が得られる。
 正確な心筋病変の検出、心筋壁の運動状態、左室駆出率算出が可能。

心電図同期SPECTによる左室心機能解析

48