

期末試験 令和4年1月12日(水)
10:30 ~ 11:30 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ー「表示」で「最新の情報に変更する」を行って下さい。

1

平成26年 模擬試験 解答 3

11時10分に200MBqあった¹⁸F-FDGを12時に患者(身長150cm、体重50kg)へ投与し13時にPET撮像を開始し、14時50分に解析を行ったところ、病変部位を囲んだ関心領域の放射能は30000Bq/mlであった。病変のSUVはどれか。
 1. 3 2. 7.5 3. 15 4. 30 5. 60

PET画像が示す画素値(Bq/mL)は、撮影開始時刻の値。投与したFDGの放射能を、撮影開始時刻に補正する。
 13時の体内FDG放射能は、 $200 \times 1/2 = 100 \text{ MBq}$
 13時の体内平均放射能は、 $100(\text{MBq})/50(\text{kg}) = 2000 \text{ Bq/ml}$
 病変のSUVは、 $30000 / 2000 = 15$

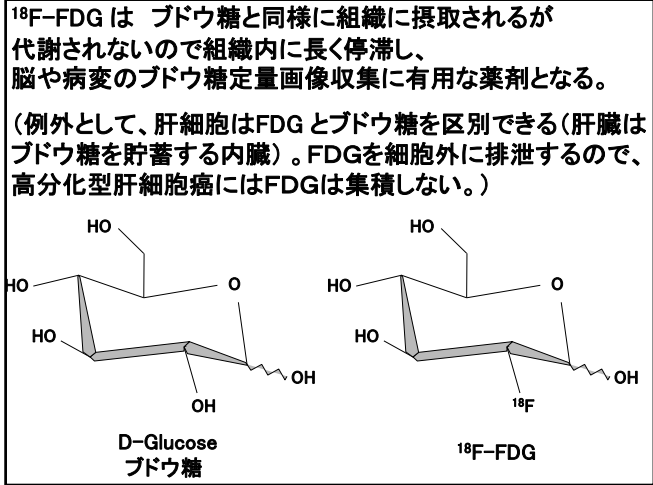
2

2007年国家試験
¹⁸F-FDG PET が反映する生体情報で正しいのはどれか。

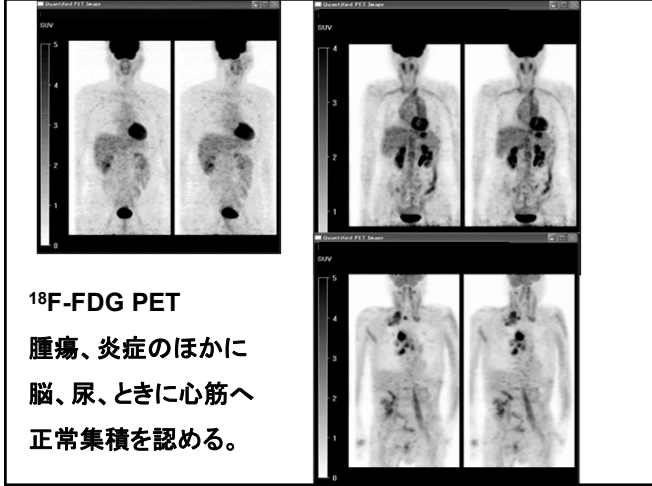
1. 血流 4. 脂肪酸代謝
 2. 交感神経機能 5. 糖代謝
 3. 酸素代謝

解答 5
 FDGはブドウ糖の類似物質。正常組織は脂肪酸を消費している。癌、炎症組織、脳はブドウ糖を消費している。

3



4



5

一般的に、体内組織は、エネルギー源として脂肪酸を摂取し、ミトコンドリア内のベータ酸化回路で脂肪酸からATP(アデノシン三リン酸)を産生する。ベータ酸化回路はATP産生は多いが、酸素を多量に要求する。
 癌細胞や炎症細胞など、急に出現した異常組織は、酸素を運ぶ赤血球の通路である血管が不備なので、酸素をあまり要求しない解糖系でATPを産生する。解糖系はATP産生量が少ないので、普通の組織ではあまり稼働していない。
 そのため、PET検査で、ブドウ糖と類似物質の放射性薬剤FDGを使うと、腫瘍や炎症病変に集積し、さらに代謝されないで病変組織内に長く停滞し、画像化できる。

6

2015年国家試験 解答 5

^{18}F -FDG 腫瘍 PET で有用性が最も低い癌種は。

1. 頭頸部癌
2. 食道癌
3. 肺癌
4. 肝内胆管癌
5. 腎癌

^{18}F -FDG の正常集積部の病変は検出困難。
尿(腎や尿路、膀胱)、脳、
早期胃癌は粘膜下に限局し、検出困難で
保健適応外

7

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)

9

^{18}F -FDG PET 検査では、検査6時間前から患者に絶食および甘味飲料の中止を依頼するが、それが守られなかった状態で実施した ^{18}F -FDG PET 検査は、どのような問題点が生じるか。FDG の薬理的性質を基にして説明せよ。

^{18}F -FDG はブドウ糖の類似物質である (2点)。腫瘍や炎症病変にはブドウ糖が集積するので、類似物質の ^{18}F -FDG も集積する。しかし絶食の前処置が守られないと ^{18}F -FDG 投与時に患者血中のブドウ糖が多くなる (高血糖) (2点)。高血糖状態では、腫瘍や炎症病変にはブドウ糖が多量に集積し、病変への ^{18}F -FDG 集積量が減少するので (競合が生じる) (2点)、PET 画像で病変の描出が低下し、SUV も低下するため (2点)、病変の診断が困難になる (2点)。

11



8

膵頭部癌 Panc. head ca. 症例3 腹部造影CT

食後に実施した FDG PET では、病変部の SUV 2.2
空腹時に再検査して SUV 3.4 に上昇。

FDG-PETは、空腹時に行う。

症例3: FDG-PET(1回目) 症例3: FDG-PET(2回目)

SUV 2.2 Lesion1 5029Bq/ml
前処置: 検査3時間前に食事(just after meal),
検査時血糖 BS 167 mg/dl

SUV 3.4 Lesion1 8251 Bq/ml
前処置: 検査前夜より絶食(fasted all night),
検査時血糖 95mg/dl

10

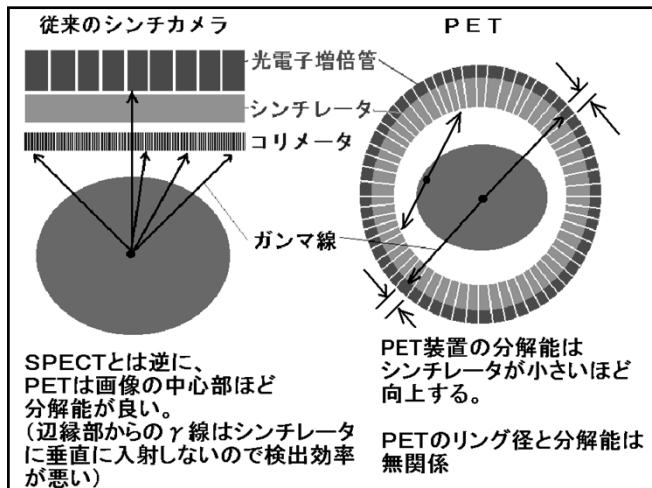
2007年国家試験 解答 4

PET 装置の性能で誤っているのはどれか。

- a. 検出器素子が小さいほど空間分解能が良くなる。
- b. 視野中心から遠ざかると空間分解能が悪くなる。
- c. リング径が大きくなると空間分解能が良くなる。
- d. 相対発光量は BGO より LSO のほうが少ない。
- e. 同時計数分解時間が短いほど計数率特性が良い。

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

12



13

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。

LSOは発光量が多い。BGOは発光量が少ない。
光の減衰時間が短いLSO、GSOは数え落しが少ない。
(同時計数分解時間が短い。計数率直線性がよい。)
GSO、LSOはエネルギー分解能が良い。
(コンプトン散乱成分を除去しやすいので、分解能が向上する。)

14

2015年 国家試験 解答 5 (4も正解)

0.511 MeV の光子に対するシンチレータの特性で、BGO に比して LSO に特徴的なものはどれか。

- 線減弱係数が大きい。
- 相対発光量が小さい。
- 発光減衰時間が長い。
- 実効原子番号が小さい。
- エネルギー分解能が良い。

15

2006年 国家試験 解答 5

問題 50 誤っている組合せはどれか。

- 放射性核種純度試験 —— γ 線スペクトロメータ
- 放射化学的純度試験 —— 薄層クロマトグラフィ
- 無菌試験 —— バクテック試験法
- 発熱試験 —— エンドトキシン
- 確認試験 —— ガスクロマトグラフィ

16

院内製造された¹⁸F-FDG を用いてPET検査を行うためのガイドラインが、2001年に日本核医学会で決められた。
<http://www.jsnm.org/report/gaidoline.pdf>

製造された¹⁸F-FDG (フルオロデオキシグルコース)を人体に投与してもよい基準

- ガンマ線スペクトロメータによるエネルギー分布測定で、511 keV にピークを確認。
- ガンマ線量測定にて半減期が105~115分であることを確認。(¹⁸Fの半減期は109.8分)

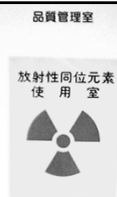
(1、2は、異なる核種の混入の有無を調べている)

17

- 薄層または液体クロマトグラフィ(HPLC)による純度試験。放射化学的異物の混入度を確認。FDG以外の放射能が全体の5%以下であること。
- 細菌混入の有無を確認する試験
発熱性物質試験法: エンドトキシン試験法
エンドトキシンとは、グラム陰性菌の細胞壁を構成するリポポリサッカライド(リン脂質と多糖類)細菌が存在すると試料に白濁が生じる。
無菌試験: バクテック試験法
細菌が放出する微量のCO₂を検出。
- その他 pH測定で pH 5~8 の間であること。

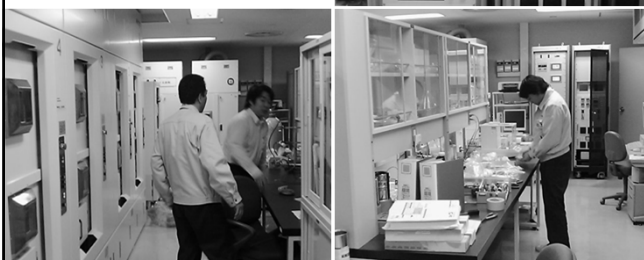
18

放射性薬剤を院内製造する
PET検査室には
品質管理室が設置されている。



19

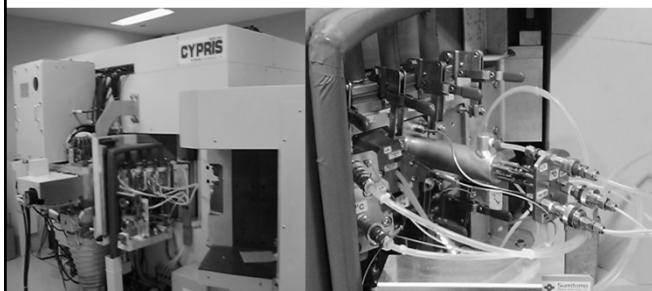
放射性薬剤合成室
サイクロトロン制御と
薬剤の院内製造



20

サイクロトロン

水素または重水素の原子核 (proton、deutron) を
加速して、ターゲットに置いた物質に当てて
陽電子放出核種を発生させる。



21

北海道内のPET施設

院内でPET薬剤を製造 (サイクロトロンを持つ)

札幌 北大病院、南三条病院、セントラルCI、
LSIクリニック (天使病院)

室蘭 日鋼病院

函館 五稜郭病院

帯広 北斗病院

FDGを購入している病院 (サイクロトロンなし)

恵佑会札幌病院、旭川厚生病院、

苫小牧市立病院、北海道消化器科病院

札幌東徳洲会、市立小樽病院、市立札幌病院

22

高速液体クロマトグラフィー 放射化学的純度の確認 HPLC ; High performance liquid chromatography



23

高速液体クロマトグラフィー

高速液体クロマトグラフィー (High performance liquid chromatography、略してHPLCという) はカラムクロマトグラフィーの一種であり、機械的に高圧をかけた液体によって分析物をカラムに通し、これにより各物質が固定相に留まる時間を短くして分離・検出能力を高くすることを特長とする。

現在では分析物の注入から検出・定量までを一体化して自動的に行えるようにした装置を用いて、再現性の高い分析が比較的簡便に行える。

分析化学や生化学で頻繁に用いられ、俗に「液クロ」といえばこれを指すことが多い。

24

高速液体クロマトグラフィー HPLC

分析物の検出・定量結果 分析物をカラムに通す



25

発熱性物質試験法(発熱試験):エンドトキシン試験

細菌が存在すると白濁が生じる物質が
試料を入れるバイアル(瓶)に入っている。
これを吸光計に入れて白濁の程度を測定。



26

2014年国家試験

解答 4

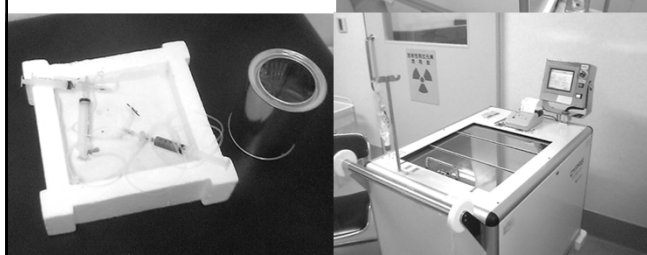
PETの安全管理で正しいのはどれか。

1. 陽電子診療室は撮影操作をする場所である。
2. 1室に複数の陽電子断層撮影装置を設置できる。
3. PET用放射性医薬品の投与は陽電子準備室で行う。
4. 陽電子待機室の設置目的は被検者以外の被ばく防止である。
5. 診療にあたる診療放射線技師は、所定の研修を修了しなければならない。

27

陽電子診療室

^{18}F -FDG 自動注入装置がある。
 ^{18}F -FDGの放射能の強い ^{18}F -FDGを貯蔵し
鉛板で十分な遮蔽を行い、
必要量を算出しながら自動投与。
医師は患者への穿刺を行うのみ。



28

陽電子待機室

^{18}F -FDG 投与後の患者待合室。
 ^{18}F -FDG を投与後、撮像まで
1時間の待機をしてもらう部屋。
(職員、他の患者の被ばくを避ける
ため。)
トイレも貯留槽につながった特別な
トイレを使用してもらう。



お手洗い
このトイレは注射した
患者さん専用です

29

2006年 国家試験

解答 3, 4

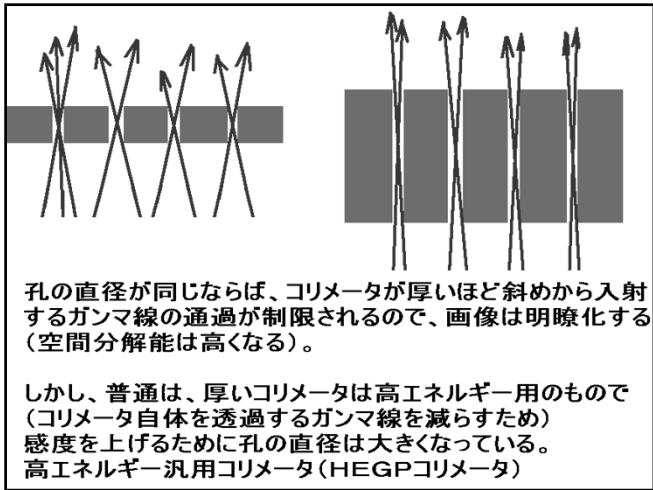
問題 51 ガンマカメラで誤っているのはどれか。2つ選べ。

1. 平行多孔コリメータが厚くなると空間分解能は高くなる。
2. シンチレータが厚くなると空間分解能は低くなる。
3. 入射 γ 線エネルギーが高いほどシンチレータの検出効率は高くなる。
4. 光電子増倍管は入射 γ 線エネルギーの弁別に用いられる。
5. 位置計算に抵抗マトリックス方式を用いる。

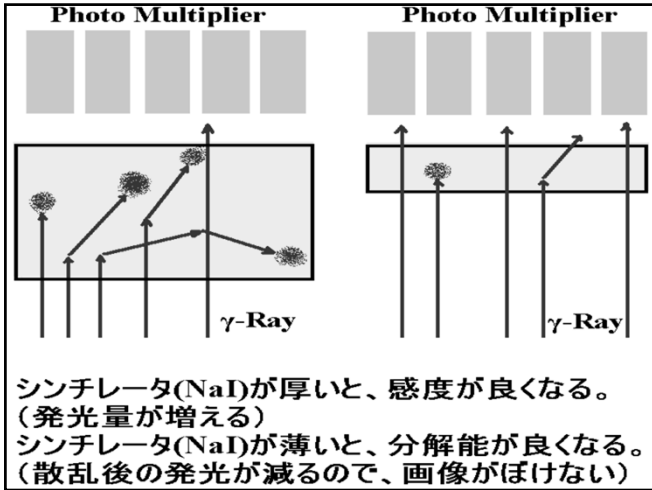
30

- 1. 平行多孔コリメータが厚くなると空間分解能は高くなる。
- 2. シンチレータが厚くなると空間分解能は低くなる。
- × 3. 入射γ線エネルギーが高いほどシンチレータの検出効率は高くなる。
γ線エネルギーが高すぎると、シンチレータ内で相互作用を起こさないうで(発光しないで)突き抜けていくγ線が増え、逆に検出効率が低下する。
- × 4. 光電子増倍管は入射γ線エネルギーの弁別に用いられる。
エネルギーの高いγ線がシンチレータに入射して発光すると、発光量が多く、光電子増倍管も高い電圧を波高分析器に出力する。エネルギーを弁別する作業は、波高分析器が行う。
- 5. 位置計算に抵抗マトリックス方式を用いる。
現在ではほとんどのγカメラはデジタルカメラになっているので位置計算自体が不要だが、昔のアナログ方式のカメラでは発光したシンチレータ内の部位をx、y方向の抵抗器を介して計算して求めている。

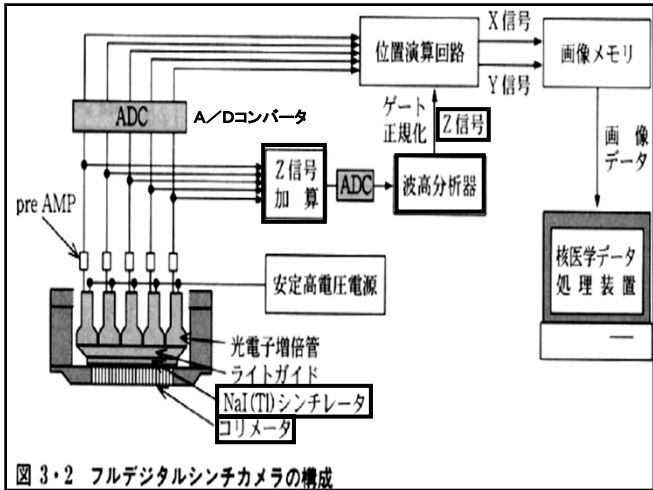
31



32



33



34

3・1・6 エネルギー選別機構

Z信号加算回路と波高分析器からなる。γ線の入射によるシンチレータの発光に対する光電子増倍管の出力をすべて加算した信号を、位置信号のX、Y信号に対してZ信号という。Z信号は、Z信号加算回路により得られ、エネルギー信号ともいわれ、入射γ線との相互作用によりシンチレータに吸収されたエネルギーに比例した波高値をもっている。

このZ信号は波高分析器に送られ、エネルギー選別をおこない、光電ピークに設定されたウィンドウ内のγ線信号のみが選択される。その出力は位置演算回路へ入力され、位置信号に対するゲート信号および正規化信号^④となる。また、その出力はアナログカメラではCRT面上に輝点を生じさせるアンブランク信号ともなり、デジタルカメラでは位置信号XおよびY信号のA-D変換に対するゲート信号となる。

35

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

36

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。

37

誤差和は、各誤差の2乗和の平方根。

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

$$f: M_1 + M_2$$

$$x_1: M_1, x_2: M_2$$

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

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

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

38

2006年 国家試験 解答 5

問題 53 SPECTと比較してPETに特有の補正はどれか。

a. 吸収補正 b. 散乱補正 c. 体動補正

d. ブランク補正 e. 偶発同時計数補正

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

39

日常業務でのPET装置の管理

・ブランクスキャン

検出器の異常を見つけるためにも
 始業前に毎日実施する。

・キャリブレーション

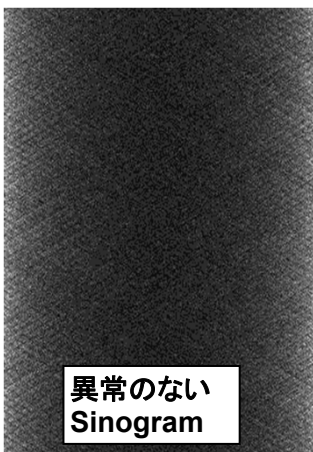
2週間に1度程度は行った方が良い。

・ノーマライズ

ディテクタ(検出器)異常時、交換時
 に必要。

3ヶ月に1度くらいは行った方が良い。

40



異常のない
Sinogram

ブランクスキャン

始業前に毎日実施する。

トランスミッションデータの補正に
 用いる空気の吸収係数を
 得るために行う。

ブランクスキャンは、
 トランスミッション用ロッド線源を
 使って毎日実施する。

検出器の異常を確認するため、
 ブランクスキャンのサイノグラムを
 目視点検する。

41

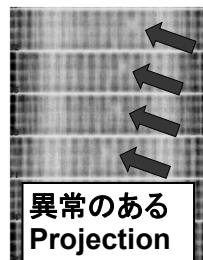
始業前に毎日実施する作業(Daily QC)

ブランクスキャンデータで、検出器の感度のばらつきを確認。

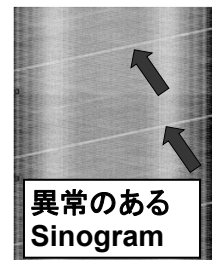
前回データとの比較、検出器間の感度差の確認。

許容範囲を超える場合、まずノーマライズを実施し、

それでも改善しなければ、検出器の交換を検討する。

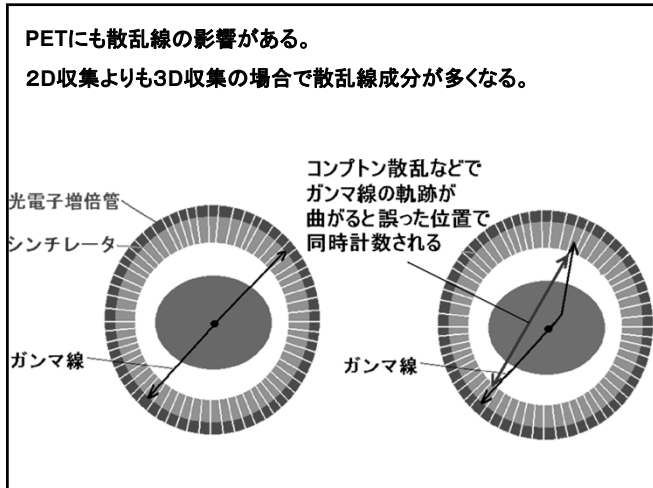


異常のある
Projection

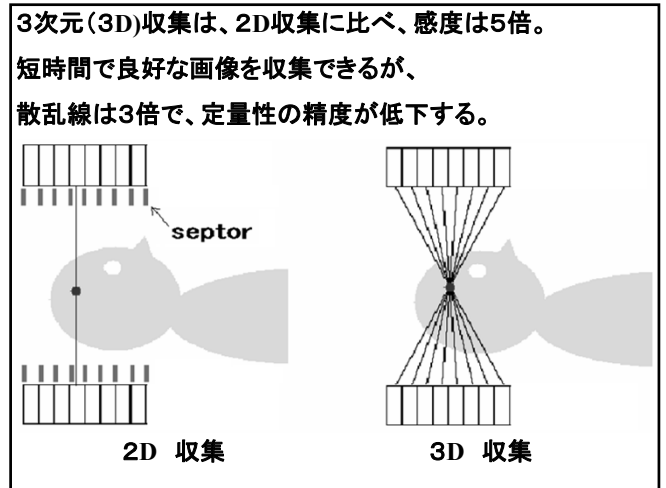


異常のある
Sinogram

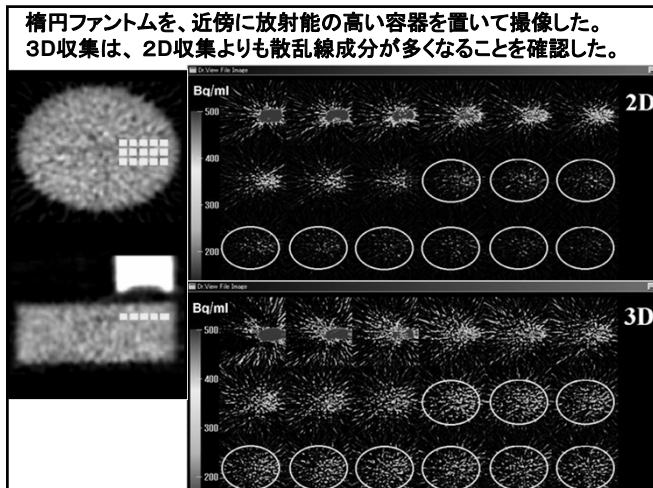
42



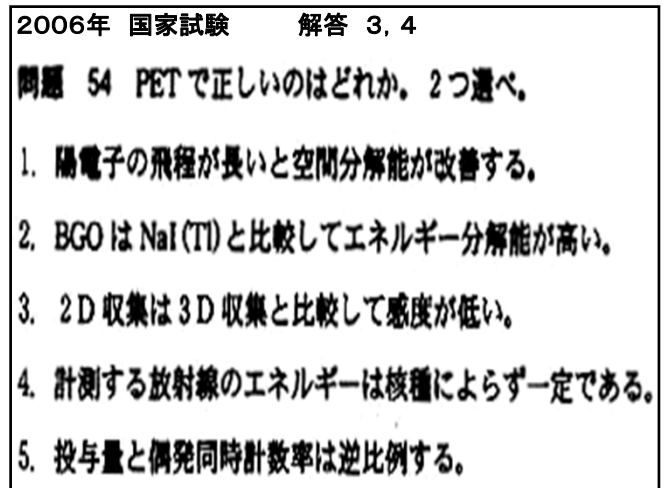
43



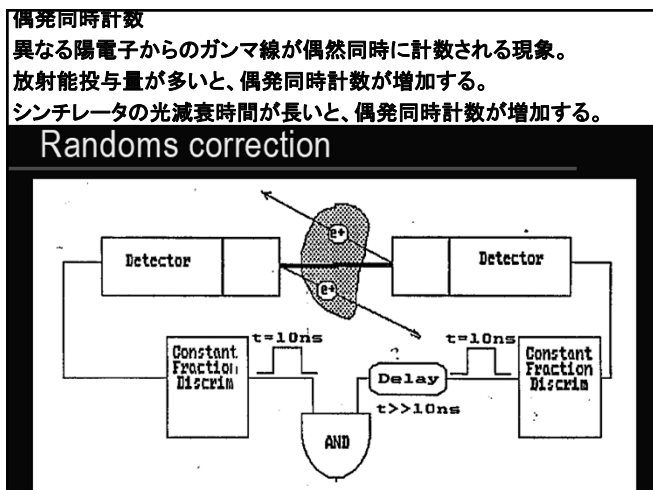
44



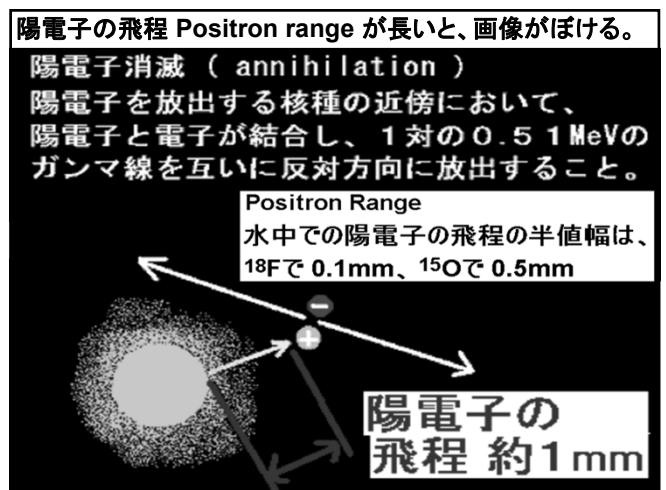
45



46



47



48