

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「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「表示」で「最新の情報に
変更する」を行って下さい。

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、 $30000 / 2000 = 15$

2007年国家試験

^{18}F - FDG PET が反映する生体情報で正しいのはどれか。

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

解答 5

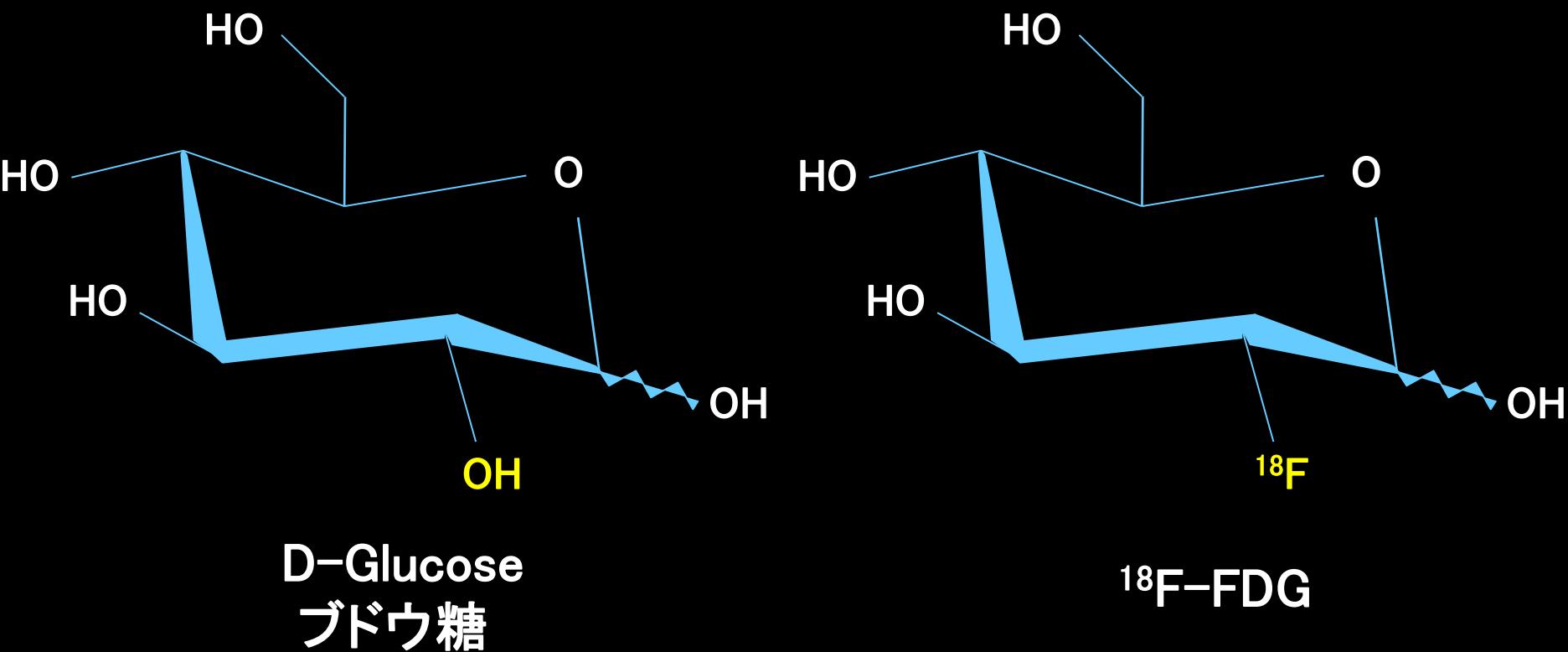
FDGはブドウ糖の類似物質。

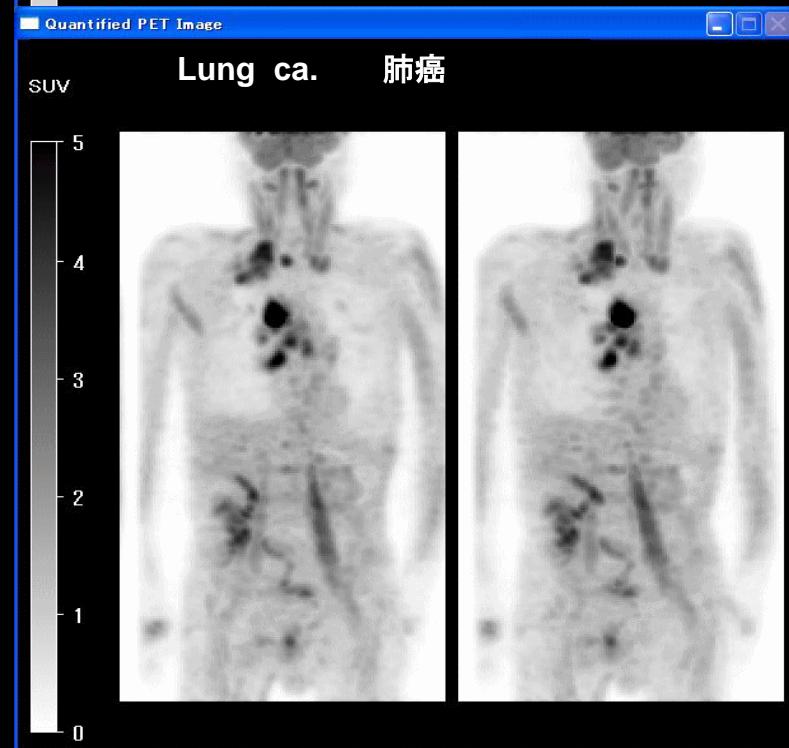
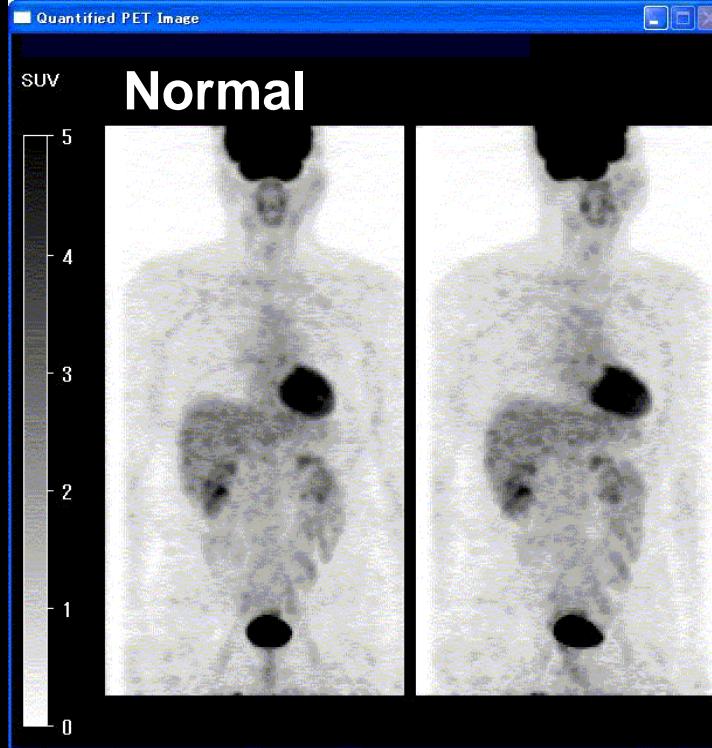
正常組織は脂肪酸を消費している。

癌、炎症組織、脳はブドウ糖を消費している。

^{18}F -FDG は ブドウ糖と同様に組織に摂取されるが代謝されないので組織内に長く停滞し、脳や病変のブドウ糖定量画像収集に有用な薬剤となる。

(例外として、肝細胞はFDGとブドウ糖を区別できる(肝臓はブドウ糖を貯蔵する内臓)。FDGを細胞外に排泄するので、高分化型肝細胞癌にはFDGは集積しない。)





^{18}F -FDG PET

**腫瘍、炎症のほかに
脳、尿、ときに心筋へ
正常集積を認める。**

一般的に、体内組織は、エネルギー源として脂肪酸を摄取し、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)を產生する。ベータ酸化回路はATP产生は多いが、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を產生する。解糖系はATP产生量が少ないので、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ので病変組織内に長く停滞し、画像化できる。

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

北大病院 核医学検査室 PET/CT装置



PET:
陽電子CT
Positron
Emission CT

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)

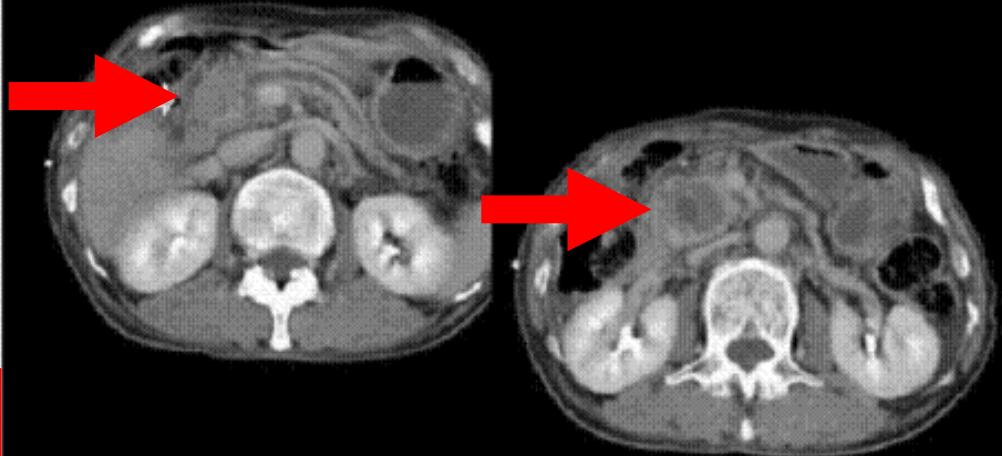
膵頭部癌 Panc. head ca.

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。

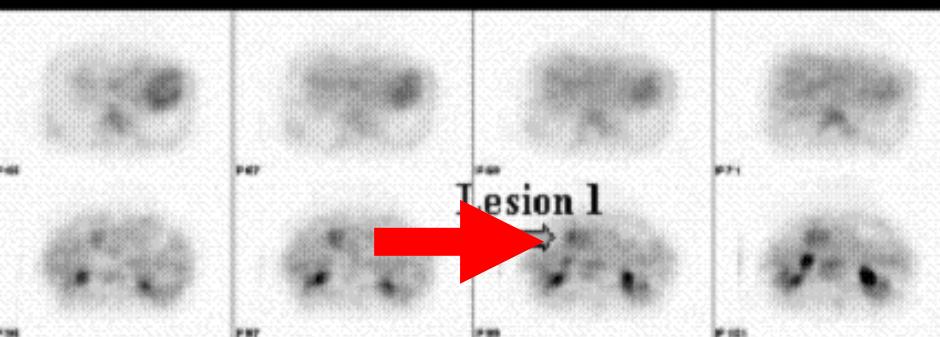
FDG-PETは、空腹時に行う。

症例3

腹部造影CT



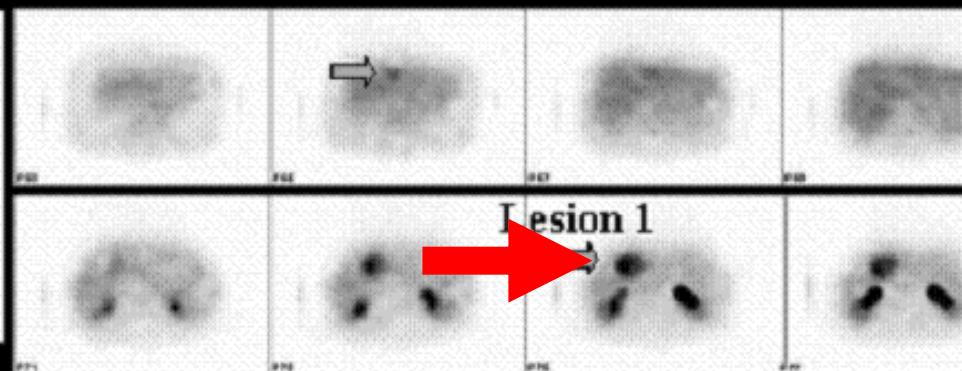
症例3：FDG-PET(1回目)



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 167mg/dl

症例3：FDG-PET(2回目)



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

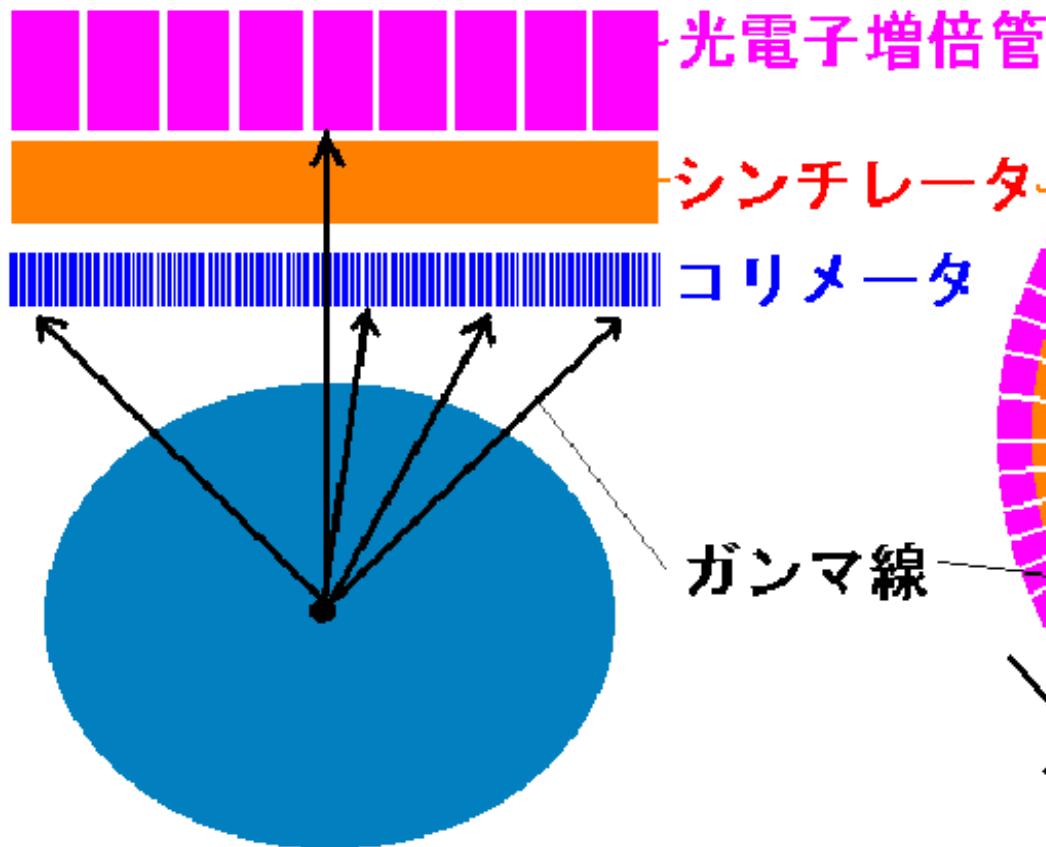
^{18}F -FDG PET 検査では、検査 6 時間前から患者に絶食および甘味飲料の中止を依頼するが、それが守られなかつた状態で実施した ^{18}F -FDG PET 検査は、どのような問題点が生じるか。FDG の薬理的性質を基にして説明せよ。

^{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（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）。

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

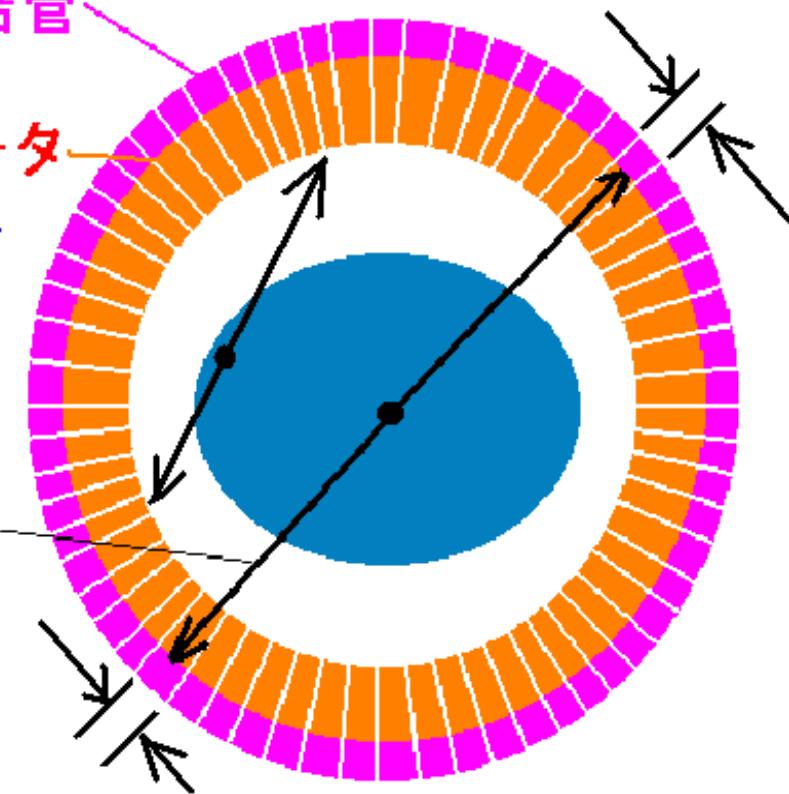
従来のシンチカメラ



SPECTとは逆に、
PETは画像の中心部ほど
分解能が良い。

(辺縁部からのγ線はシンチレーター
に垂直に入射しないので検出効率
が悪い)

PET



PET装置の分解能は
シンチレーターが小さいほど
向上する。

PETのリング径と分解能は
無関係

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。)

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 に特徴的なのはどれか。

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

問題 50 読っている組合せはどれか。

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

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

1. 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。
2. 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)

3. 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。

4. 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。

5. その他 pH測定で pH 5~8 の間であること。

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。

品質管理室



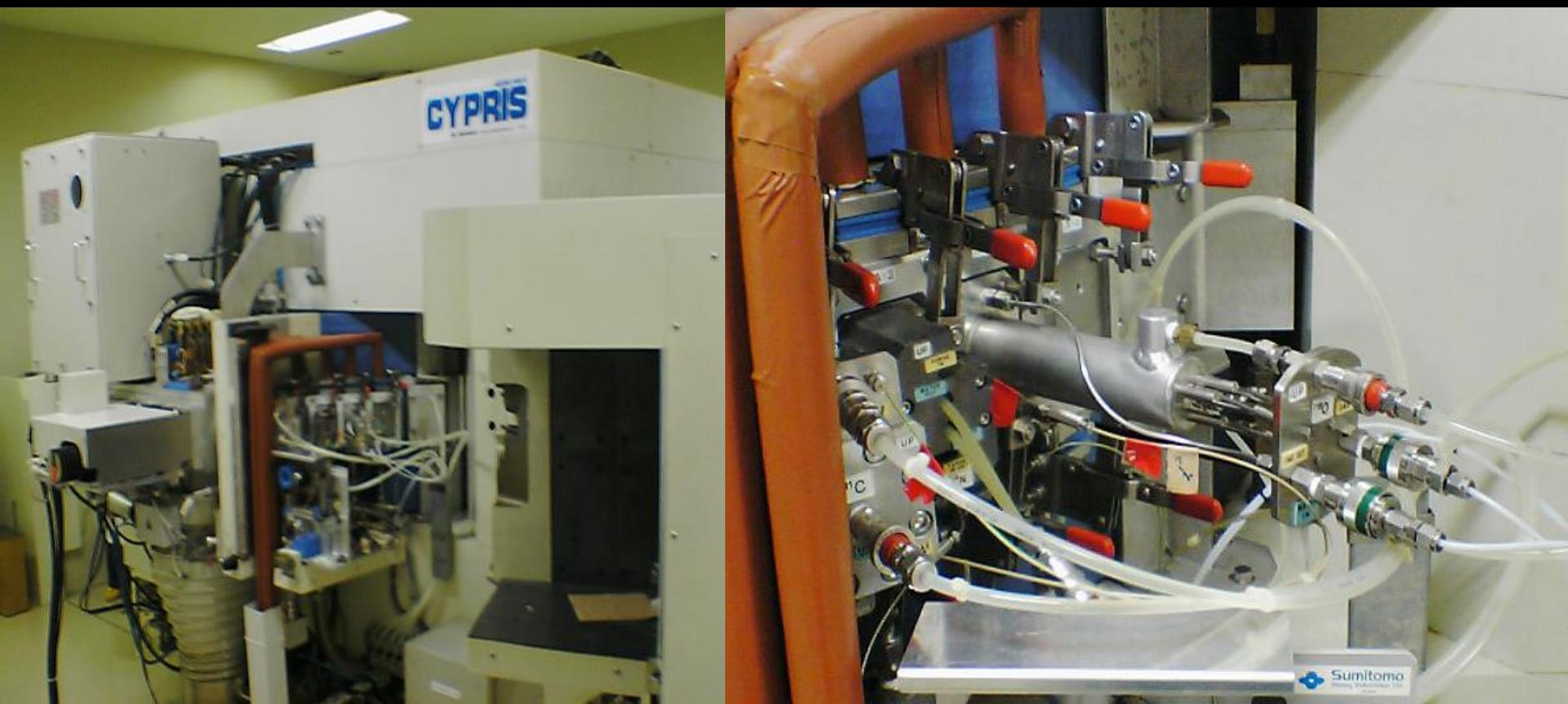
放射性薬剤合成室

サイクロトロンの制御と
薬剤の院内製造



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。



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

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



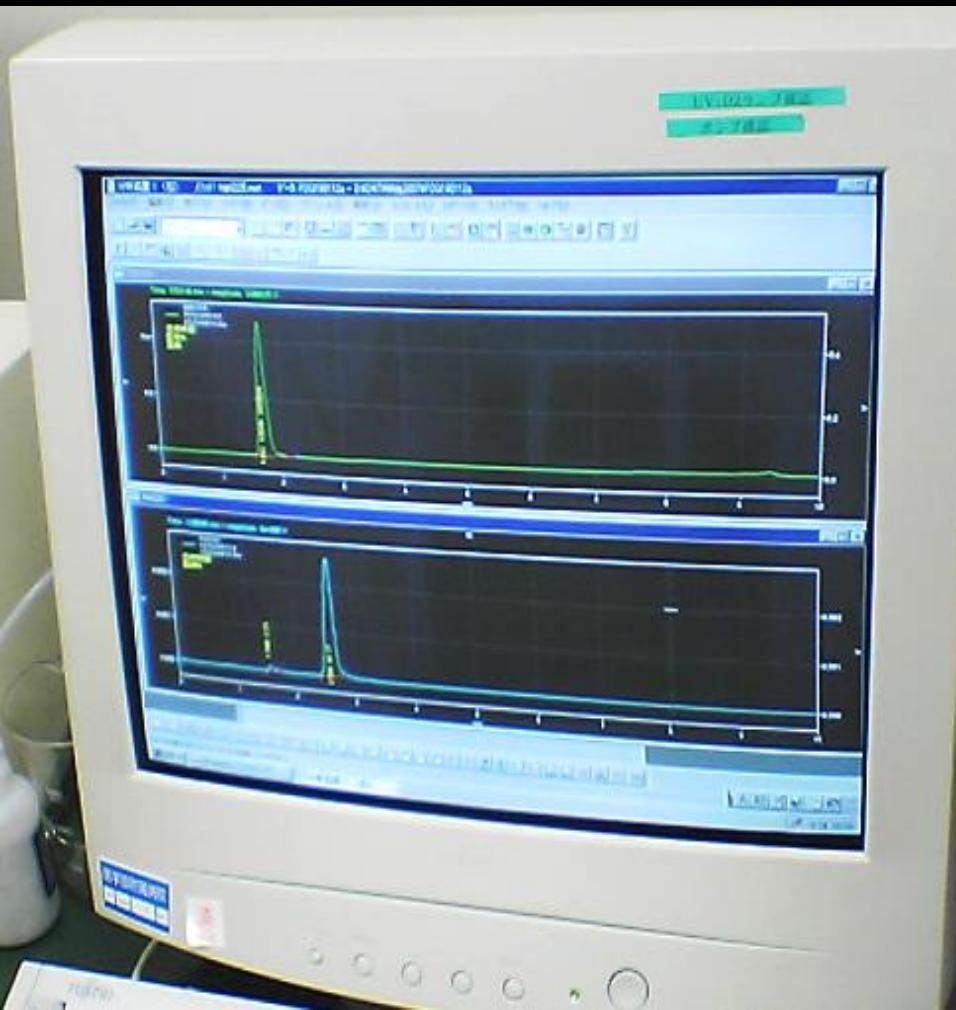
高速液体クロマトグラフィー

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。

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



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。

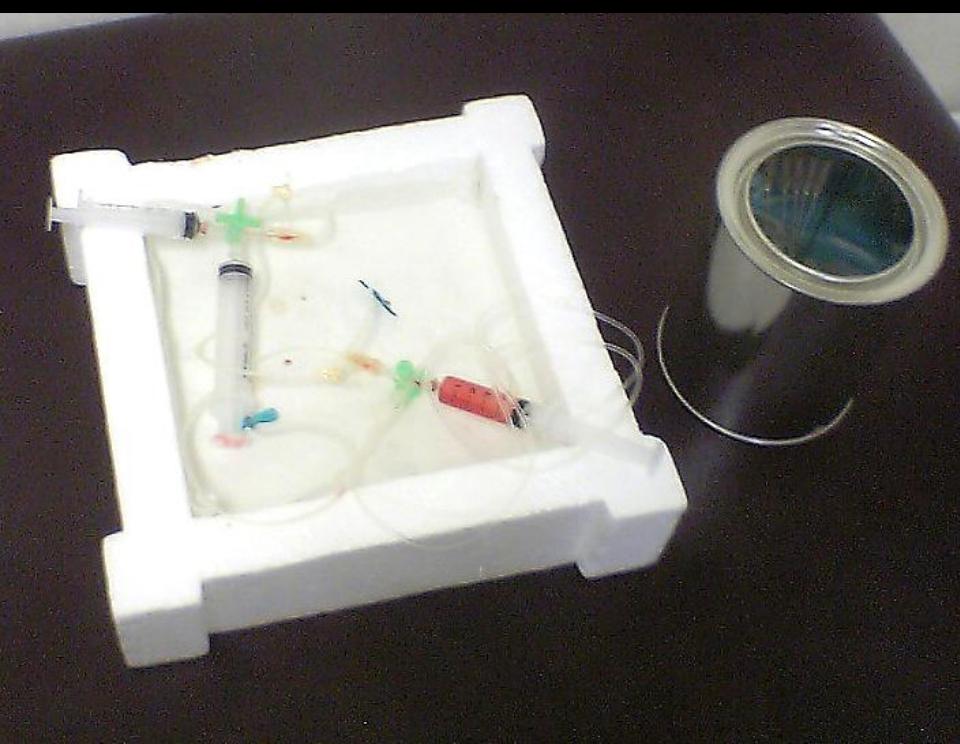


PET の安全管理で正しいのはどれか。

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。

陽電子診療室

^{18}F -FDG 自動注入装置がある。
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。



陽電子待機室

$^{18}\text{F-FDG}$ 投与後の患者待合室。

$^{18}\text{F-FDG}$ 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。



このトイレは注射した
患者さん専用です



問題51 ガンマカメラで横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. 光電子倍増管は入射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。

○ 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。

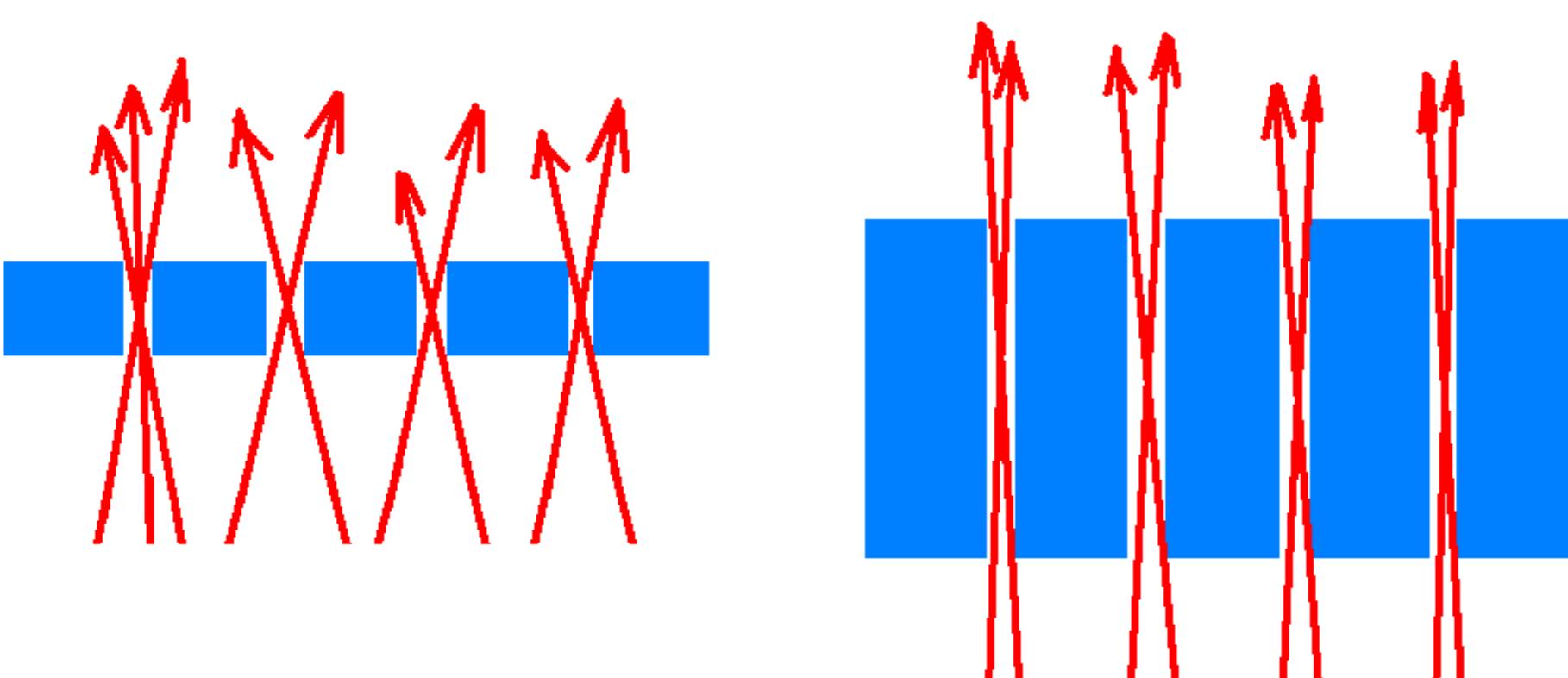
✗ 4. 光電子増倍管は入射 γ 線エネルギーの弁別に用いられる。

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た。



孔の直径が同じならば、コリメータが厚いほど斜めから入射するガンマ線の通過が制限されるので、画像は明瞭化する（空間分解能は高くなる）。

しかし、普通は、厚いコリメータは高エネルギー用のもので（コリメータ自体を透過するガンマ線を減らすため）感度を上げるために孔の直径は大きくなっている。
高エネルギー汎用コリメータ（HEGPコリメータ）

Photo Multiplier

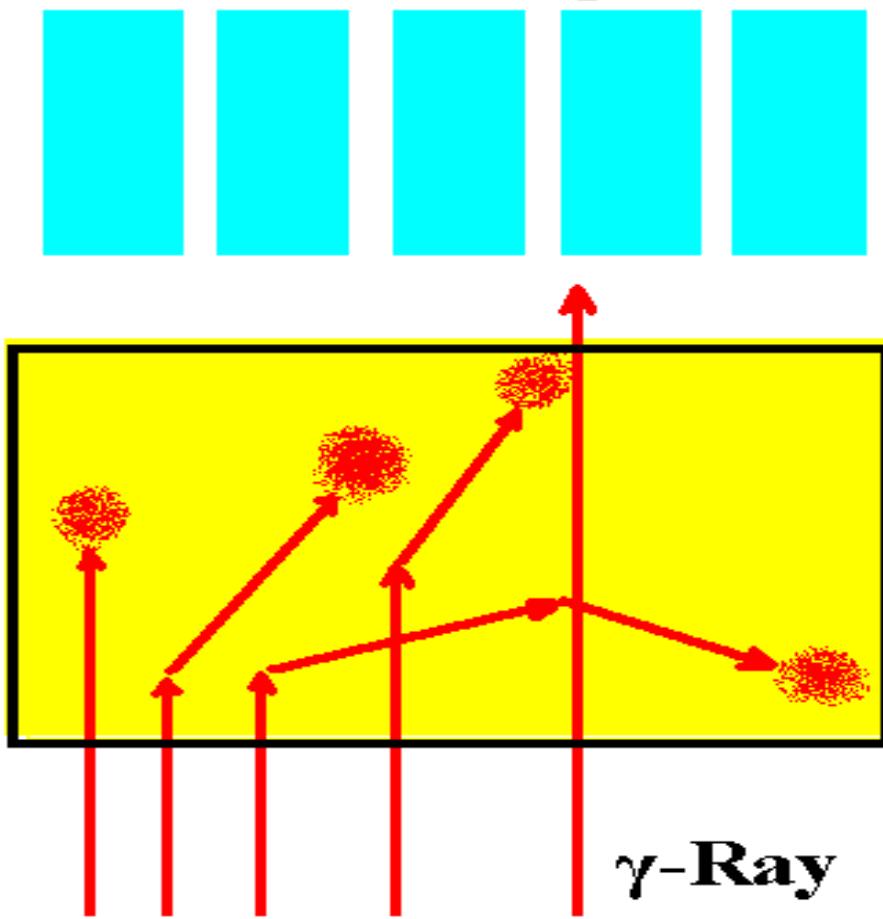
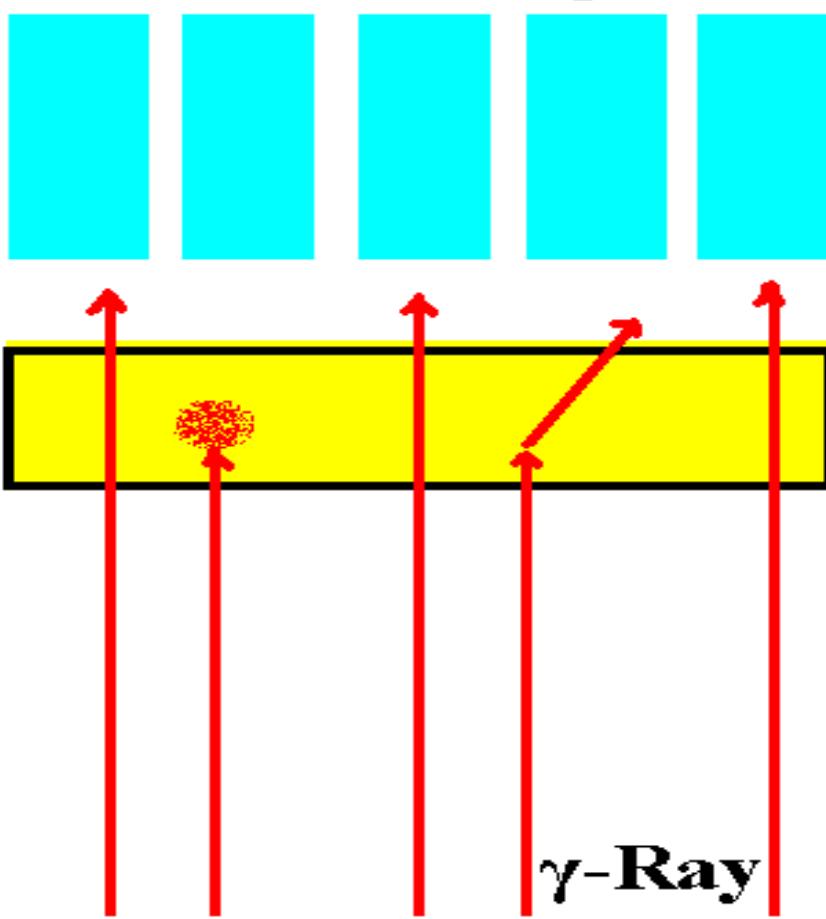


Photo Multiplier



シンチレータ(NaI)が厚いと、感度が良くなる。
(発光量が増える)

シンチレータ(NaI)が薄いと、分解能が良くなる。
(散乱後の発光が減るので、画像がぼけない)

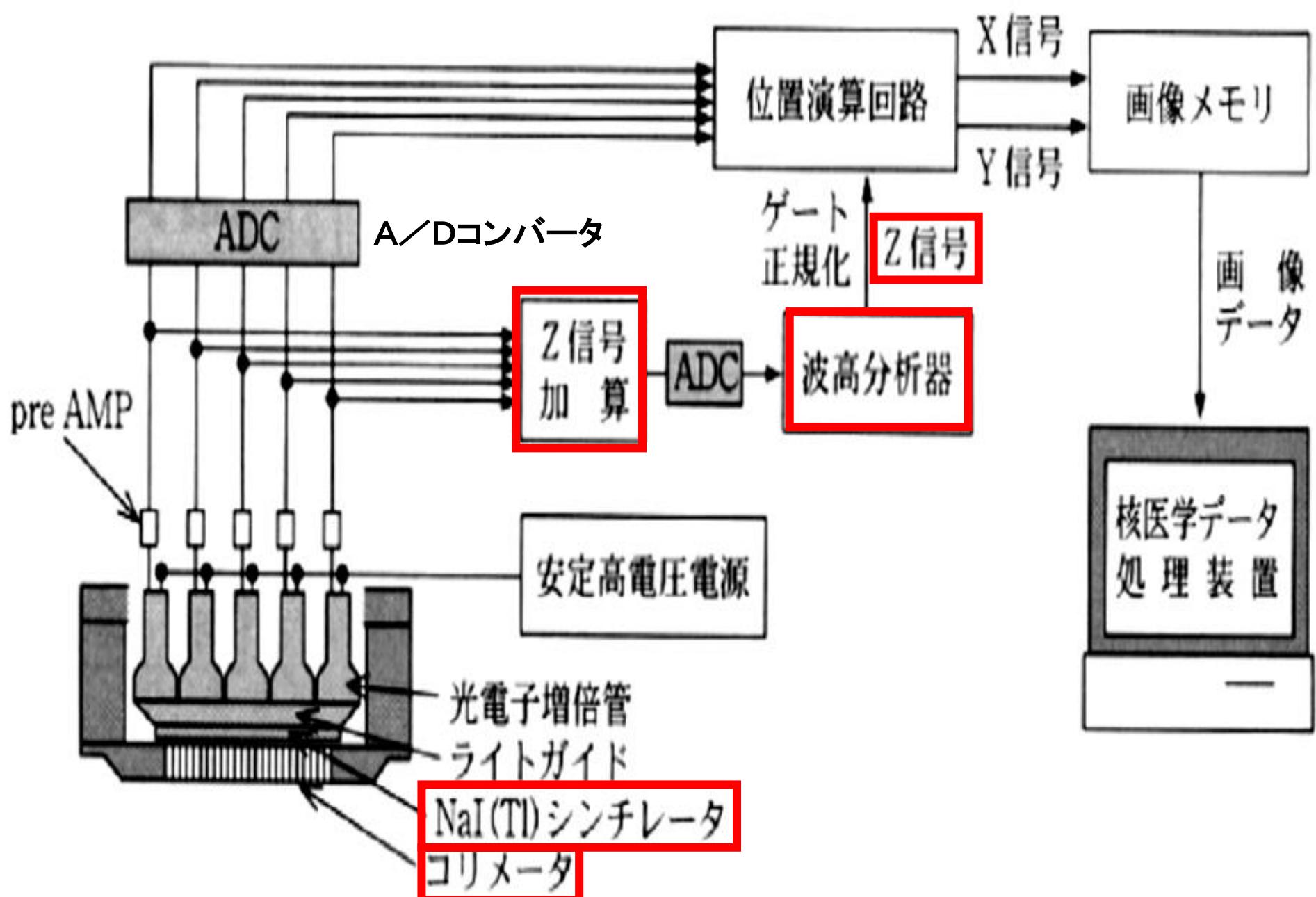


図 3・2 フルデジタルシンチカメラの構成

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インドウ内の 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^⑦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。

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。

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

$$f: M_1 + M_2$$

$$x_1: M_1, x_2: M_2$$

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

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

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

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

日常業務でのP E T 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。

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。

異常のない
Sinogram

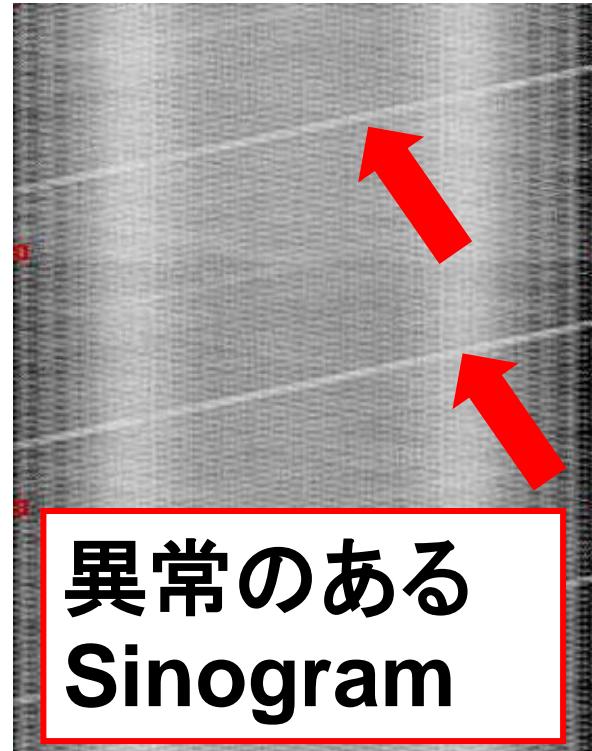
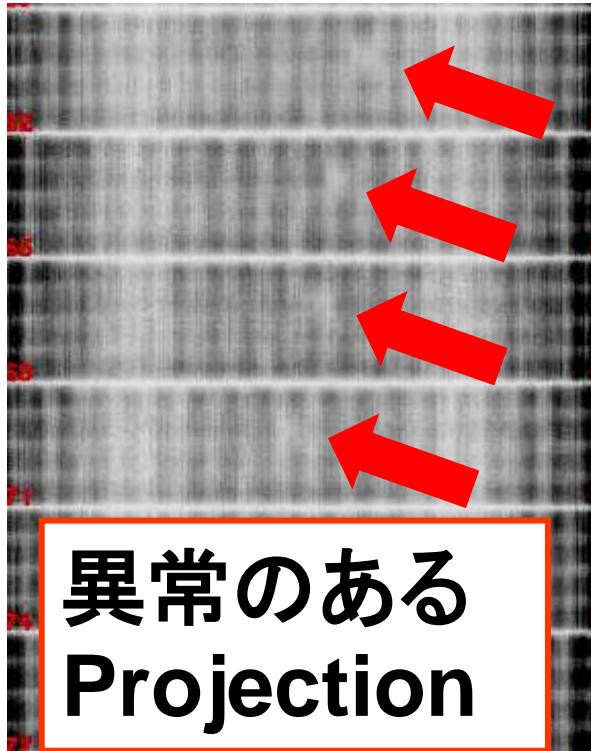
始業前に毎日実施する作業 (Daily QC)

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。

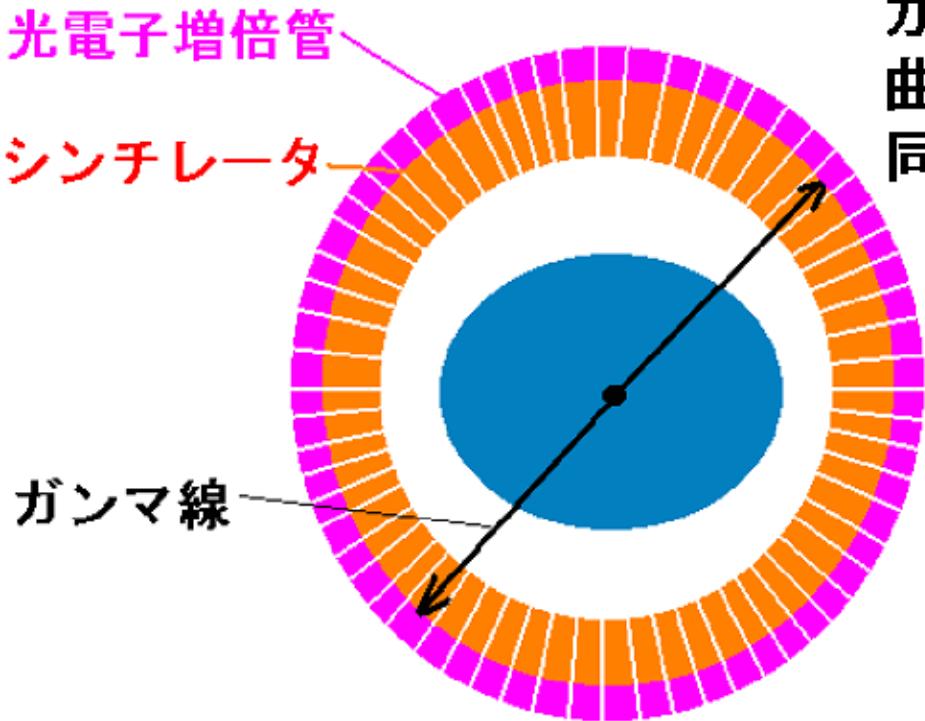
許容範囲を超える場合、まずノーマライズを実施し、

それでも改善しなければ、検出器の交換を検討する。

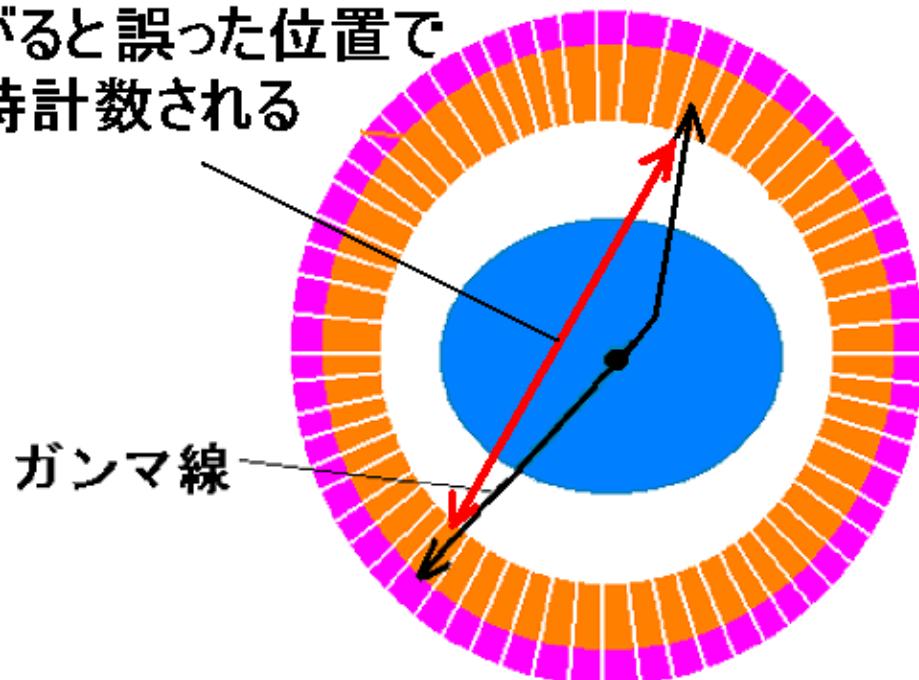


PETにも散乱線の影響がある。

2D収集よりも3D収集の場合で散乱線成分が多くなる。



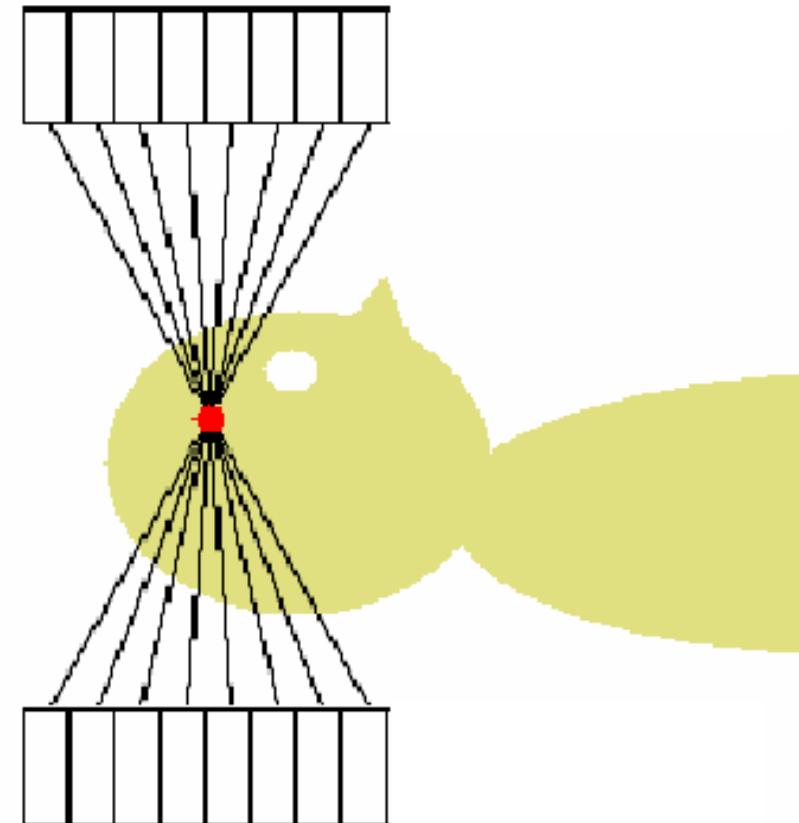
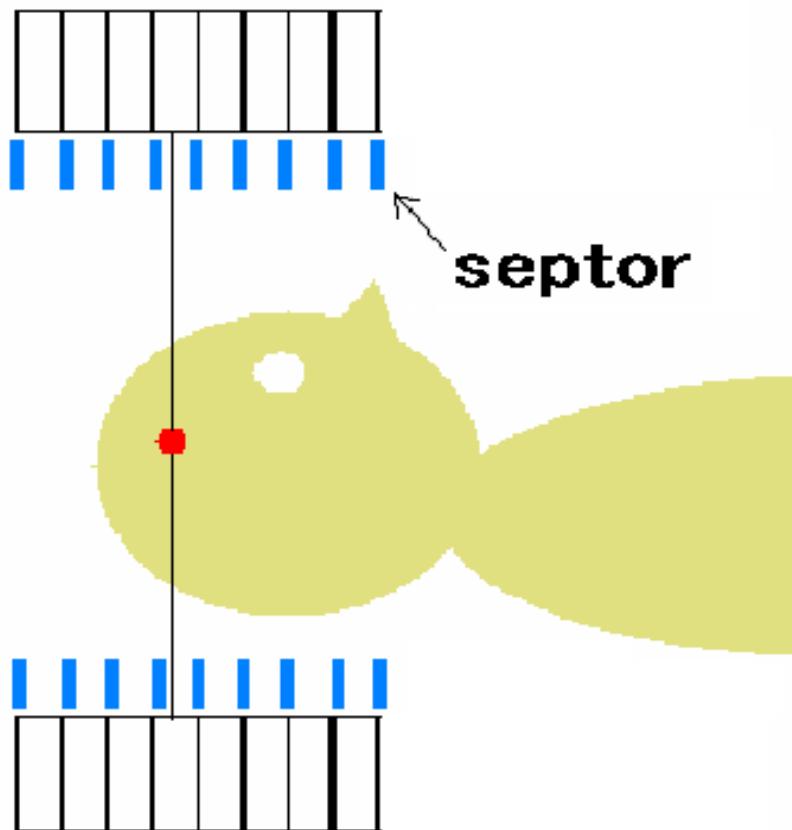
コンプトン散乱などで
ガンマ線の軌跡が
曲がると誤った位置で
同時計数される



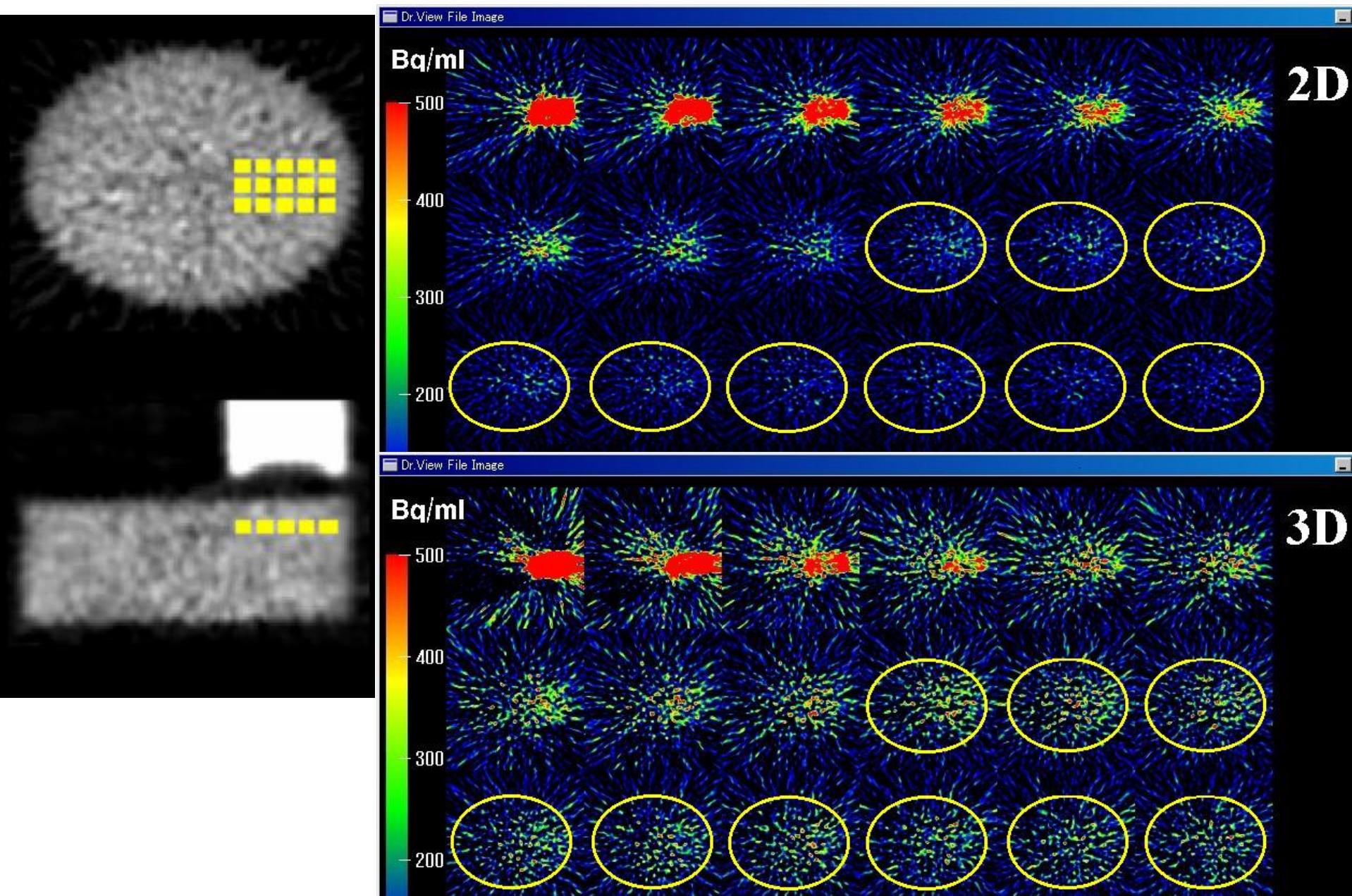
3次元(3D)収集は、2D収集に比べ、感度は5倍。

短時間で良好な画像を収集できるが、

散乱線は3倍で、定量性の精度が低下する。



楕円ファントムを、近傍に放射能の高い容器を置いて撮像した。
3D収集は、2D収集よりも散乱線成分が多くなることを確認した。



問題 54 PETで正しいのはど�か。2つ選べ。

1. 陽電子の飛程が長いと空間分解能が改善する。
2. BGOはNaI(Tl)と比較してエネルギー分解能が高い。
3. 2D収集は3D収集と比較して感度が低い。
4. 計測する放射線のエネルギーは核種によらず一定である。
5. 投与量と側発同時計数率は逆比例する。

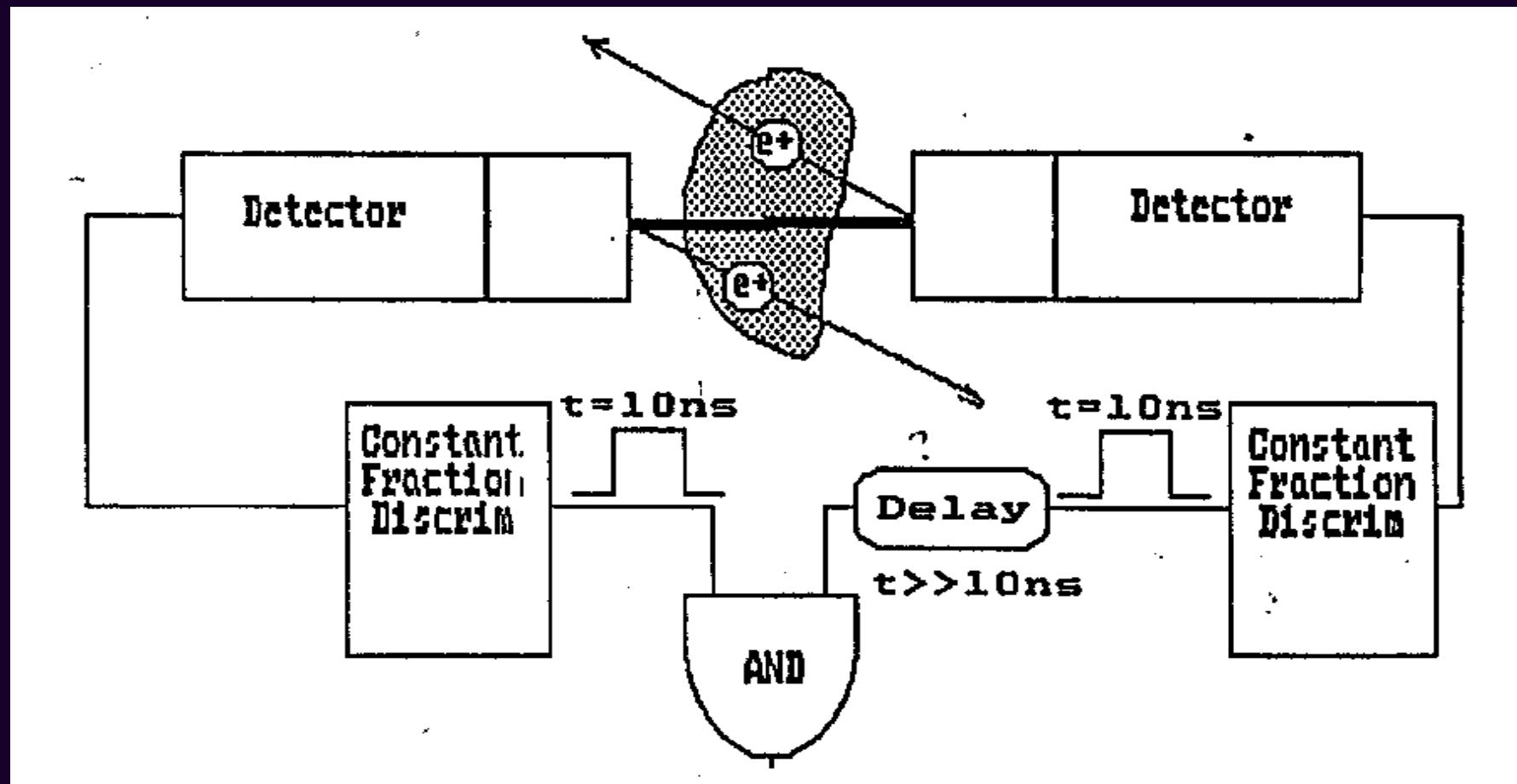
偶発同時計数

異なる陽電子からのガンマ線が偶然同時に計数される現象。

放射能投与量が多いと、偶発同時計数が増加する。

シンチレータの光減衰時間が長いと、偶発同時計数が増加する。

Randoms correction



陽電子の飛程 Positron range が長いと、画像がぼける。

陽電子消滅 (annihilation)

陽電子を放出する核種の近傍において、
陽電子と電子が結合し、1対の 0.51 MeV の
ガンマ線を互いに反対方向に放出すること。

Positron Range

水中での陽電子の飛程の半値幅は、
18Fで 0.1mm、15Oで 0.5mm

