

核医学機器工学概論4

PET/CT

PETCTについて学ぶ。
PET製剤について学ぶ。
SUVについて学ぶ。

1

PETCT viewer

(c:\¥ に Color Lut フォルダをコピーしてから起動。)
PETCT.exe を起動し、open folderから同フォルダ内の
1～3いずれかのフォルダをドラッグドロップする。

しばらくすると、CT・PET・fusion像が描画される。
スライダーで断面を可変できる。
左にあるカラーバーをドラッグすると明るさが調節できる。

image rotation startをクリックすると右下の画像が回る。
image rotation stopでとまる。

左下には検査情報。

Dosage: DoseStart時に計測した全投与量

DoseStart: 薬剤投与時間 ScanStart: 撮像開始時間

2

CT・PET・fusion画像のいずれかをクリックすると、
その部位の集積が表示される。
クリックした点は黄色十字で示される。



疾患例について、それぞれ病変部位のカウンと
SUVを求めてください。

3

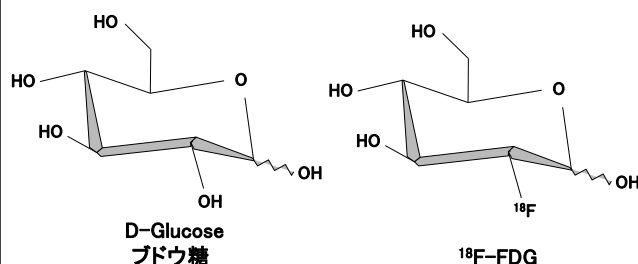
疾患例について、それぞれ病変部位
のカウンとSUVを求めてください。

近年のPET装置は3D収集が主である。
2D収集と3D収集について、利点・欠点
を比較してまとめてください。

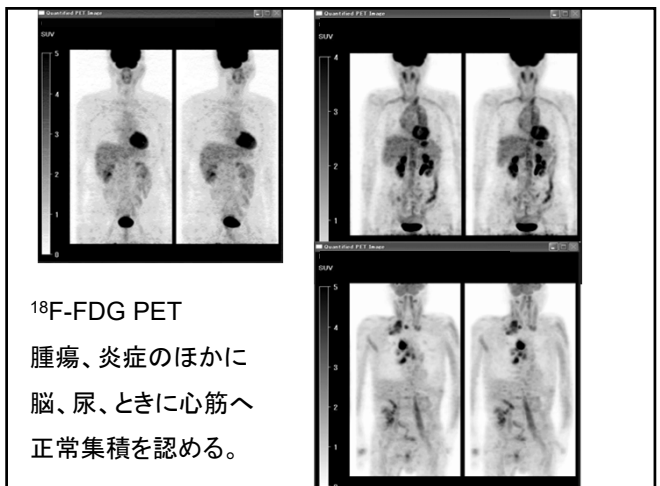
SPECTとPETの性能を比較して下さい。

4

^{18}F -FDG (Fluoro Deoxy Glucose) は、ブドウ糖の
類似物質 (analog) で、ブドウ糖と同様に組織に摂取
されるが、代謝されない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。
(ただし、肝細胞、高分化型肝細胞癌には取込まれにくい。)



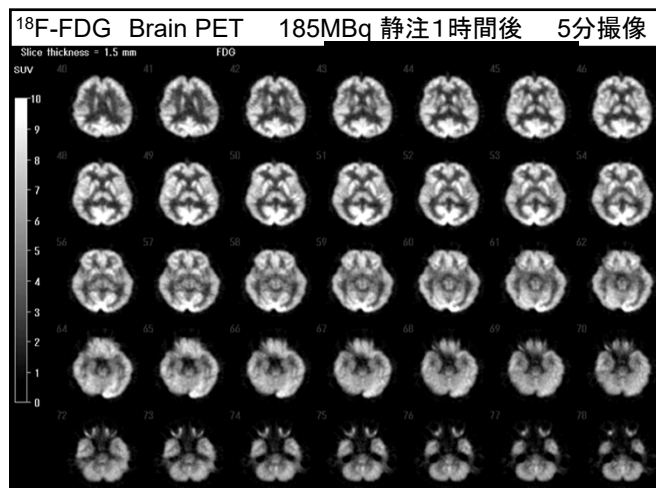
5



^{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。

6



7

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ので病変組織内に長く停滞し、画像化できる。

8

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

高安動脈炎

指定難病(330疾患ある)の一つ。登録患者 7000人(原因不明疾患に対する医療費補助制度がある)平成30年4月から FDG PET の保険適用。

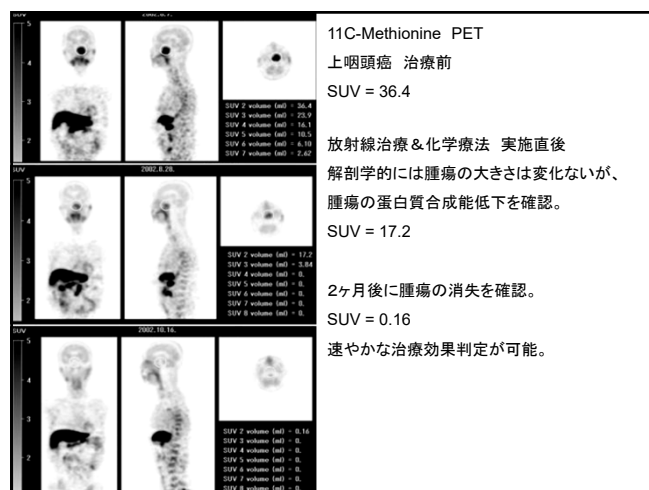
9割が女性。好発年齢は10~30才。若年女性。若年女性で重症の頸部痛、頭痛、肩凝りの症例で、CT等で大動脈弓の分枝血管に狭窄等の所見、左右上肢での血圧測定値に左右差などあれば、FDG PET/CT実施を。炎症血管にFDG集積あり。

治療法は、ステロイド(減量すると再燃しやすい)、抗体医薬(トリシズマブ(アクテムラ) IL-6R)(本来は関節リウマチ薬。高価。5000円/日))

10



11



12

SUV (Standardized Uptake Value)

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

分子と分母の放射能は時刻を合わせる
(半減期補正をする) 必要がある。
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。

13

人体の比重を 1g/ml と仮定し、
放射性薬剤が全身に均一に分布する
と仮定した濃度を基準にしている。

病変部位の濃度は、関心領域内の
最大画素値を用いる場合が多い。

14

半減期 Half life $T_{1/2}$

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2} \right)^{(t / T_{1/2})}$$

崩壊定数 λ

1秒間に原子核が崩壊する割合

$$dN/dt = -\lambda N$$

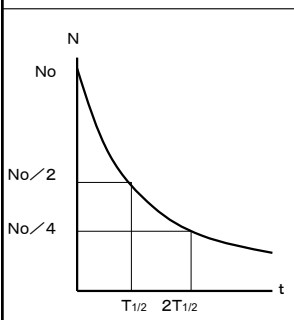
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$1/2 = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\text{Log}(1/2) = \text{Log}(e^{-\lambda T_{1/2}})$$

$$\text{Log}2 = 0.693 = \lambda T_{1/2}$$



15

平成26年 診療放射線技師国家試験 解答 2

10時に 200 MBq であった ^{18}F -FDG を 10 時 55 分に患者に投与した。
11 時 50 分に撮影を開始し、13 時 40 分に解析を行ったところ、
病巣部の放射能測定値は 12,000 Bq/cm³ であった。SUV 値はどれか。
ただし、患者は身長 150 cm、体重 50 kg とし、人体の密度を 1 g/cm³
 ^{18}F の物理的半減期を 110 分とする。

1. 3 2. 6 3. 9 4. 30 5. 60

撮像開始時刻の 11 時 50 分における放射能を計算する。

患者体内の放射能は、 $200 \times (1/2) = 100 \text{ MBq}$

体内平均濃度は、 $100 \text{ MBq} / 50 \text{ kg} = 2000 \text{ Bq / ml}$

病変の SUV は、 $12000 / 2000 = 6.0$ (倍)

(SUV に定量的単位はない。SUV は半定量値である。)

16



17



18

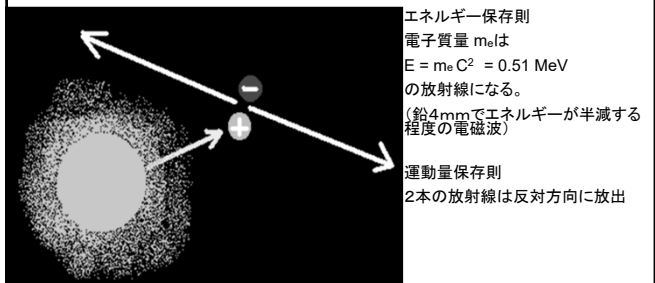
ポジトロンCT (PET) は、
脳や心筋などの血流量、糖代謝量、神経の量
などの定量もできる画像診断法である。



19

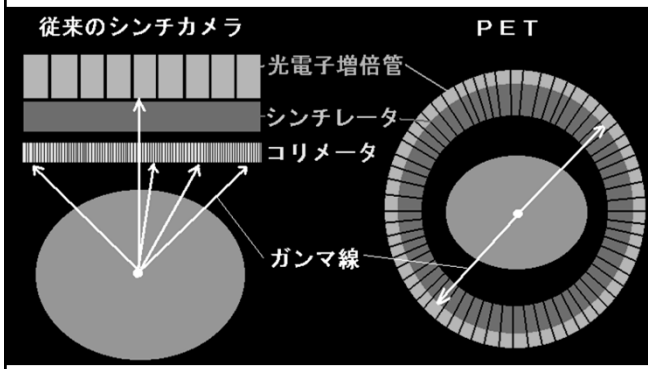
陽電子消滅 (annihilation)

陽電子 (positron: 電子の反粒子。素粒子の一種) を放出する放射性核種の近傍において、陽電子と電子が結合して消滅し、1対の 0.51MeV の消滅放射線を反対方向に放出。



20

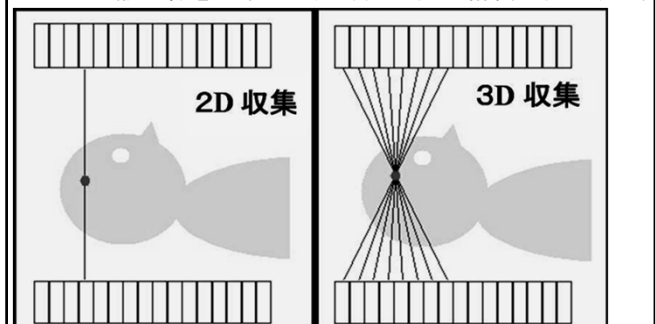
PETカメラは、コリメータがないので高感度。
コリメータは小さい孔を多数あけた鉛板。検出感度を下げる。



21

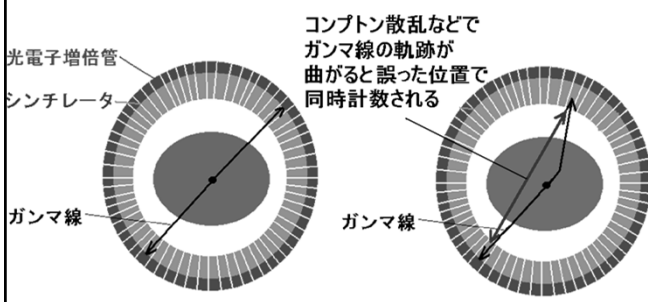
現在のPETはほとんど3次元(3D)収集

2次元(2D)収集と比べ、短時間で良好な画像を収集できる
(全身(頭部～大腿部)を15～20分程度で収集)。
コンプトン散乱線を収集しやすく、定量性の精度が低下する。

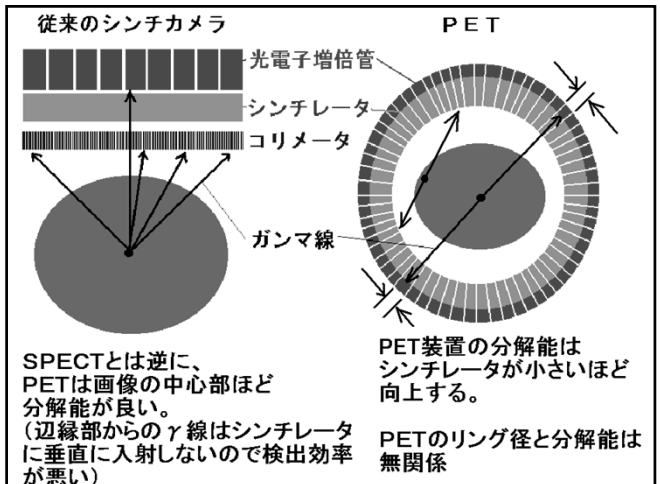


22

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、コンプトン散乱線成分が
多くなる(約3倍)。



23



24

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 511keV 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。

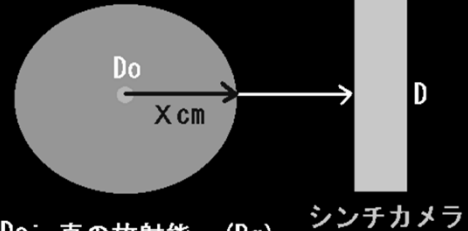
(コンプトン散乱成分を除去しやすいので、分解能が向上する。)

25

従来のカメラでは体内の放射能分布の定量が困難

放射能の体内での減弱

$$D = D_0 \exp(-\mu x)$$



D_0 : 真の放射能 (Bq)

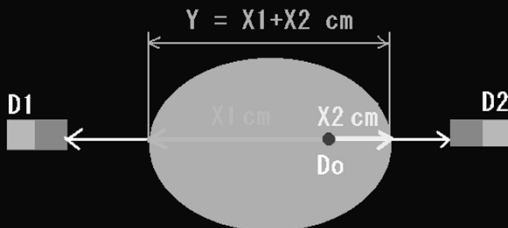
D : 放射能測定値 (Bq)

μ : 線減弱係数 (/cm)

26

PETは、CT画像で吸収補正を行うので

定量性が良い。



$$D1 = D_0 \exp(-\mu X1)$$

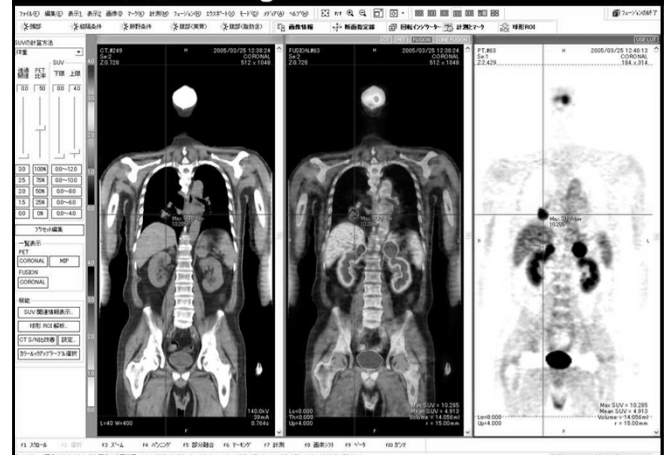
$$D2 = D_0 \exp(-\mu X2)$$

$$D1D2 = D_0D_0 \exp(-\mu (X1+X2))$$

$$D_0 = \sqrt{D1D2} \exp(\mu Y)$$

27

PET/CT画像 Lung ca.



28

CT値 (HU: Hounsfield Unit)

組織の密度に比例する値

CT断層像の画素値の基になる値は体内の各組織の線減弱係数 μ_t だが、臨床的な理解度を容易にするために μ_t に比例した値がCTの画素値に使われる。

$$\text{CT値} = 1000 \times (\mu_t - \mu_w) / \mu_w$$

μ_w : 水のX線吸収係数 (線減弱係数)

μ_t : 組織のX線吸収係数 (線減弱係数)

29

空気のCT値は -1000

$$1000 \times (\mu_{\text{air}} - \mu_w) / \mu_w = -1000 \text{ (HU)}$$

厳密には空気の線減弱係数 μ_{air} は0ではないが、水や人体組織と比べると極めて小さい値なので、CT値を計算する場合は $\mu_{\text{air}} = 0$ とする。

水のCT値は 0 (比重1の密度が 0 HU)

$$1000 \times (\mu_w - \mu_w) / \mu_w = 0 \text{ (HU)}$$

水の2倍の線減弱係数の物質のCT値は 1000 (水の2倍の密度が 1000 HU)

$$1000 \times (2\mu_w - \mu_w) / \mu_w = 1000 \text{ (HU)}$$

30

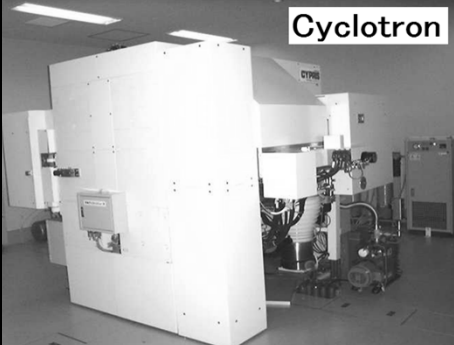
PETで使用する陽電子放出核種			
病院内のサイクロトロンで産生する			
		半減期(分)	合成放射性薬剤
酸素15	15-O	2分	02, C0, C02, H2O
窒素13	13-N	10分	NH3
炭素11	11-C	20分	11C-酢酸, 11C-メチオニン
フッ素18	18-F	110分	FDG, FDOPA

従来の検査で使用する放射性同位元素の半減時間

99m-Tc	6.01 時間
67Ga	78.2 時間 (3.2日)
201Tl	72.9 時間 (3.0日)

31

^{18}F 110 min	$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})$ ^{18}F
^{15}O 2.04 min	$^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})$ ^{15}O , $^{15}\text{N}(\text{p},\text{n})$ ^{15}O
^{11}C 20.4 min	$^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)$ ^{11}C
^{13}N 9.97 min	$^{12}\text{C}(\text{d},\text{n})$ ^{13}N , $^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)$ ^{13}N



Cyclotron 北大病院内のサイクロトロン

巨大な電磁石
水素または重水素
原子核を加速して
元素に衝突させ、
陽電子を出す
RIを作っている。

32

陽電子放出核種の半減期(half-life)は短いのでPET検査の被曝(exposure)は少ない。

被曝の単位はシーベルト(Sv) ($\text{mSv} = 0.001\text{Sv}$)
体重1kgに1Jのエネルギーを受ける被曝が1Sv。
($1\text{Sv} = 1\text{J/kg}$) 一般的に、100mSv以下は、無害。

18F-FDG (185MBq)	4 mSv (膀胱 20 心臓 10 胎児 3)
11C-Methionine (370MBq)	2 mSv (脾、肝 7)
15-O-CO2 (3000MBq)	2 mSv (肺 11)
CT	7mSv ~ 10 ~
血管造影	7 mSv ~ 10 (1分で皮膚0.5)
胃、消化管造影	3 mSv
単純X線撮影	0.1 mSv (胸部) 0.2 mSv (骨盤)

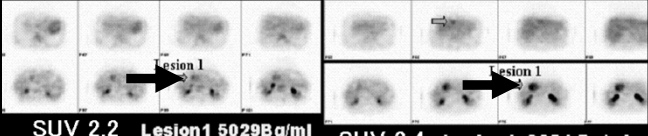
33

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 SUV 3.4 Lesion1 8251 Bq/ml

前処置: 検査3時間前に食事(just after meal), 検査時血糖 BS 167mg/dl 前処置: 検査前夜より絶食(fasted all night), 検査時血糖95mg/dl

34

テスト	
解答3	11時10分に200MBqあった ^{18}F -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分に解析を行い、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 3. 15 5. 60 2. 7.5 4. 30
解答5	^{18}F -FDG PET検査について正しいのはどれか。 1. 早期胃がんは保険適応である。 2. ^{18}F -FDG投与量を増やすと病変のSUVは低下する。 3. ^{18}F -FDG投与3時間後から全身像を撮像する。 4. 撮像開始前に排便させる。 5. 検査前に食事をすると病変のSUVは低下する。

35

問題1	^{18}F -FDG PETのSUV値で正しいのはどれか。 1. 血糖値が高いと腫瘍で高くなる。 2. 運動後に検査をすると筋肉で低くなる。 3. 皮下への注射漏れがあると脳で高くなる。 4. 投与から1時間経過すると腫瘍で一定となる。 5. ^{18}F -FDGが体内に均等に分布すると1になる。
問題2	^{18}F -FDGの集積性が低いのはどれか。 1. 大腸癌 2. 悪性黒色腫 3. 悪性リンパ腫 4. 頭頸部扁平上皮癌 5. 高分化型肝細胞癌

36