

講義9から、核医学装置の概要に加え、臨床核医学検査の内容がはじまる。

核医学検査の理解には、生理学の知識が必要。そのため、ホームページにある放射2年の保健生理学のスライドも復習して下さい。

1

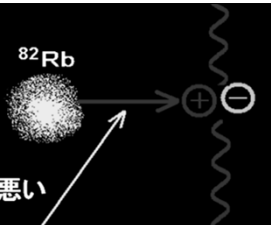
23年 国家試験 解答 4, 5

PETで正しいのはどれか。2つ選べ。

1. 空間分解能は核種に依存しない。
2. 撮像スライス数は検出器列数に等しい。
3. 遅延回路によって散乱同時計数を補正する。
4. 実測した透過率データを吸収補正に用いる。
5. 偶発同時計数率はシングル計数率の2乗に比例する。

2

β^+ 線のエネルギーは陽電子放出核種により異なる。高エネルギー β^+ 線の飛程は長いので収集されるPET画像の分解能が悪い。



^{82}Rb PET は画質が悪い

| | | |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 強い β^+ 線エネルギー 3.4MeV | ^{15}O は1.7MeV | ^{18}F は0.63MeV |
| 長い β^+ 線飛程 14.1mm(最大値) | ^{15}O は7.3mm | ^{18}F は2.4mm |

3

検出器列数より多い撮像スライス数を出力するPET装置が多い。体軸方向のデータを補間して収集したデータより多いスライス数を出力する。

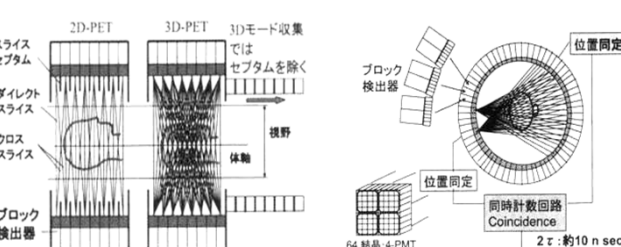


図3. 2Dと3Dの同時計数線(LOR)

図2. 消滅光子の同時計数による投影データの収集

4

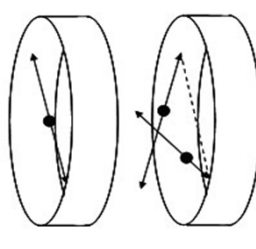
偶発同時計数
偶然2箇所でも同時に2本の消滅ガンマ線が出て、PETカメラで同時計数されるもの。

遅延回路
偶発同時計数を計数する回路。少し遅れて入射したガンマ線を排除して偶発同時計数の割合を引き算する補正回路。

PETでは、放射能投与量を増やすぎると画質が悪化する。

これは、真の同時計数が(シングル計数も)、放射能投与量に比例するのに対し、

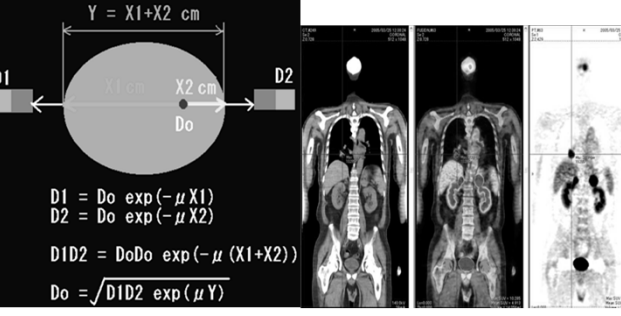
偶発同時計数は投与量の2乗に比例して急激に増加するため。



真の同時計数 偶発同時計数

5

PETは、Transmission画像(X線CT像など)で線減弱係数 μ を実測して吸収補正を行う



$$Y = X1 + X2 \text{ cm}$$

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

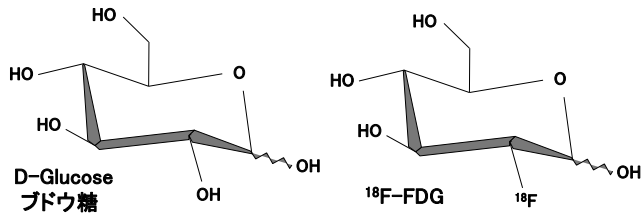
$$D2 = Do \exp(-\mu X2)$$

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

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

6

^{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。)(腎癌 clear cell carcinoma も FDG取込みが乏しい。)



7

SUV (Standardized Uptake Value)

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

病変の放射能濃度が
体内平均の何倍かを示す半定量値。
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。

8

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 $12,000 \text{ Bq/cm}^3$ 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/cm^3
 ^{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。)

9

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 167 mg/dl 前処置: 検査前夜より絶食(fasted all night), 検査時血糖95mg/dl

10

^{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

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。

12

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。

解答5

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

解答5

13

【問題 4-82】 (平成 11) 解答 2

病変部が陽性像となる組合せはどれか。

- a. 膿瘍—— ^{67}Ga -クエン酸ガリウム
- b. 心筋梗塞—— $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ピロリン酸
- c. 甲状腺癌—— $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$
- d. 腎癌—— $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA
- e. 褐色細胞腫—— ^{131}I -MIBG

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

14

^{67}Ga (ガリウム)

炎症細胞に
(マクロファージ)
取り込まれる。

炎症巣や
悪性腫瘍に集積

慢性甲状腺炎 大腸癌 & 間質性肺炎

15

^{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

クエン酸ガリウム (^{67}Ga -citrate) 74MBq 静脈注射
体内分布の速度は遅く、投与48時間または
72時間後に撮像。必要に応じてSPECTを撮る。

肝、大腸(便)、骨髄に正常分布する。
大腸に病的集積が疑われた場合、
さらに数時間後～1日後に腹部正面の追加撮像。
(便ならば集積像が肛門側へ移動する)

16

^{67}Ga SPECT superimposed on CT

17

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ の γ 線は主に 141 keV、 ^{201}Tl の γ 線は主に 71 keV
心筋の ^{201}Tl 分布は心筋血流、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PYP (ピロリン酸) 分布は
急性心筋梗塞 (発症2、3日後が集積しやすい)

^{201}Tl $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PYP 重ね合せ画像

vertical long-axis

short-axis

18

^{99m}Tc -PYP myocardial scintigraphy, SPECT

- ^{99m}Tc 141keV
- LEHR または LEGP コリメータ

^{99m}Tc -PYP (pyrophosphate) (ピロリン酸)

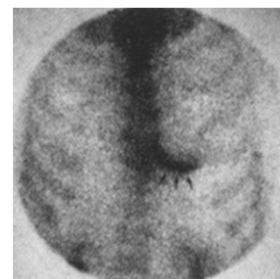
370~740MBq 静脈投与
急性心筋梗塞(AMI)発症2~3日後に行う。
発症1週間以上経つと病変にピロリン酸集積なし。
投与後3, 4時間後に血液中、心内腔の放射能が低下した時間に撮像する。
プラナー像とSPECT像を撮る。

19

障害を受けた細胞はリン酸を取り込んでCaと石灰化を起すので、AMI病変にPYPが集積する。

病変は左室心筋壁の一部なので、部位の同定が困難な場合があり、プラナー像とSPECT像の両方で診断する。

^{201}Tl 心筋血流SPECTとの同時撮像が望ましい。



20

^{131}I -MIBG adrenal (副腎) scintigraphy
•365KeV、高エネルギー用コリメータ HEGP

^{131}I -MIBG 20MBq 静脈投与 (診断の場合)。
2日後に上腹部または全身のプラナー像を撮像。
 ^{131}I は一部 MIBG との結合が切れて甲状腺に分布するので、投与2日前から投与5日後までルゴール液などのヨード剤を内服する(甲状腺ブロック)。

MIBG(メタヨードベンジルグアニジン)が副腎髄質および交感神経終末にノルエピネフリンと同じ機序で取り込まれることから、褐色細胞腫、神経芽細胞腫の診断、および治療に利用されている。

21

右褐色細胞腫 肝転移

67歳女性

^{131}I -MIBG 5GBq

静脈注射

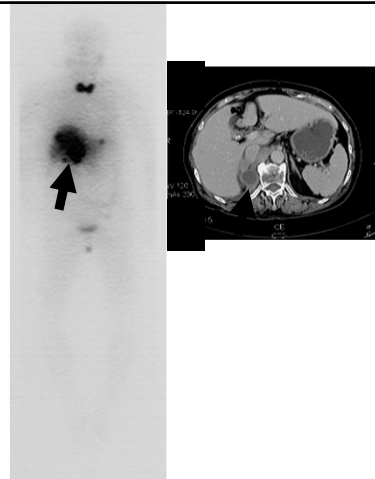
肝転移巣に20Sv

β 線内照射治療。

血圧の安定化を得た。

副作用

吐き気、白血球減少



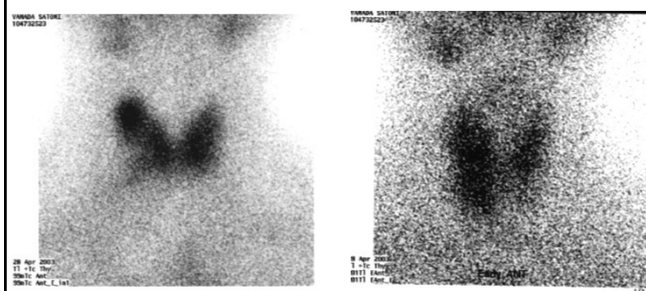
22

$^{99m}\text{TcO}_4^-$ 甲状腺シンチグラフィ

過テクネシウム酸(パーテクネート)
($^{99m}\text{TcO}_4^-$)は、正常腺組織に集積。
正常甲状腺ではない部位に集積欠損を示す。

^{201}Tl 甲状腺シンチグラフィ

カリウムと同じ分布を示す。
細胞内液の分布を画像化。
癌などの、細胞密度の高い部位に多く集積する。



23

$^{99m}\text{TcO}_4^-$, ^{201}Tl thyroid scintigraphy

- ^{99m}Tc 141 keV、 ^{201}Tl 71 keV
- 低エネルギー用コリメータ LEHR。

^{201}Tl は、74MBq 静脈投与10分後と2時間後に early 像と delayed 像を、プラナー撮像。

(良性腫瘍は delayed 像で ^{201}Tl 残存なし。
悪性腫瘍、慢性甲状腺炎では 残存あり。)

^{99m}Tc は、74MBq 静脈投与10分後に撮像。

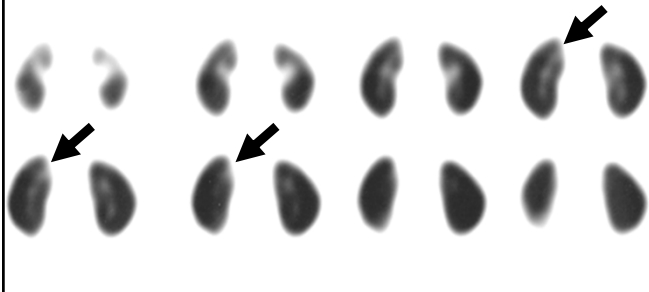
(^{201}Tl 撮像終了直後、患者をそのままの状態では ^{99m}Tc の投与、撮像を行うと効率が良い。 ^{99m}Tc のほうがエネルギーが高いため、 ^{201}Tl と区別可。)

24

^{99m}Tc-DMSA

正常腎実質（近位および遠位尿細管）に集まる。
腎臓の機能、局所的障害部位を調べる。

主にVUR(膀胱尿管逆流症)に伴う腎盂腎炎による
腎実質の炎症後瘢痕(scarring)の有無を調べる検査



25

^{99m}Tc-DMSA 腎静態 scintigraphy

• ^{99m}Tc 141 keV、コリメータ LEHR。

^{99m}Tc-DMSA (dimercapto-succinic acid)

185MBq / 50kg体重 静脈投与 (小児に多い検査
なので、投与量は体重に比例させる。)

投与前後の注射器を撮像し、患者に投与した^{99m}Tc
の総カウント数を測る。

患者は投与2、3時間後にプラナー像(腎臓背面、
左右後斜位)とSPECTを撮像。背面像で、左右腎臓
への集積カウントを計算し、摂取率を求める。

正常は片腎20%以上。両腎で40%以上。

正常腎実質の画像と、左右分腎機能が得られる。

26

【問題 4-83】 (平成 12)

解答 1

病変部が陽性像となる組合せはどれか。

- a. 甲状腺癌——²⁰¹Tl-塩化タリウム
 - b. 副腎皮質腺腫——¹³¹I-アドステロール
 - c. 骨腫瘍——^{99m}Tc-MDP
 - d. 肝癌——^{99m}Tc-GSA
 - e. 肺癌——^{99m}Tc-MAA
1. a, b, c 2. a, b, e
3. a, d, e 4. b, c, d
5. c, d, e

27

^{99m}Tc-GSA 肝シンチグラフィ (アジアロ肝シンチ)

• ^{99m}Tc 141 keV、コリメータ LEHR。

^{99m}Tc-GSA 185MBq (GSA 3mg) 静脈注射と同時に、
20分以上の心臓、肝臓の正面ダイナミック収集
(128x128マトリックス)。その後、SPECT撮像。

GSA(ガラクトシル血清アルブミン)が 肝細胞表面の
アジアロ糖タンパクに結合し、肝細胞の分布を画像化する。
肝の局所的評価および肝予備能評価に用いられる。

28

Name: ID :4199412 Study: Liver GSA Dyn. B. d.: 1941.02.06 OM
Pharm: GSA 185 MBq Ex. :

Dynamic AMT

100 sec/frame

3min/frame

ダイナミック収集画像。
心臓と肝臓全体が
撮像範囲に入ることが重要。
(外れても3分以内に直せばOK)

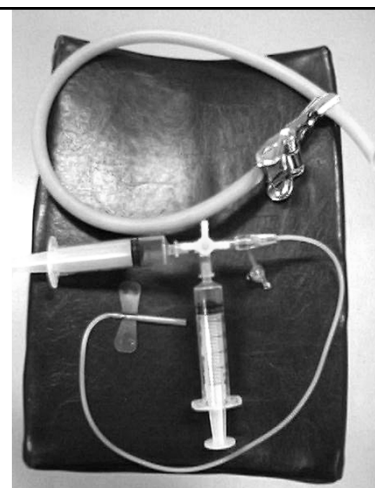
The image shows a grid of 12 grayscale scintigraphy images of the liver and heart. The top row shows dynamic AMT images, and the bottom row shows 3min/frame images. Below the grid is a photograph of a patient lying on a table in a medical scanner.

29

^{99m}Tc-GSA と

生理的食塩水を
3方活栓でつないで
用意する。

GSAをポーラス注入後、
速やかに生理的食塩水
で、チューブ内のGSAを
患者体内に流し込む。



30

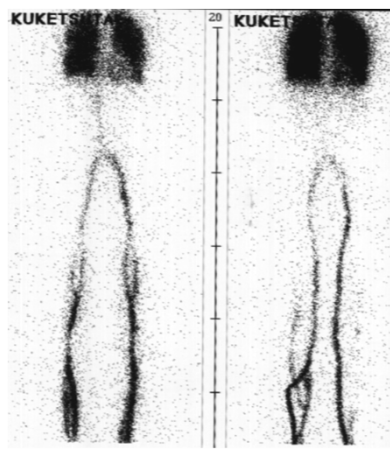
^{99m}Tc-MAA pulmonary perfusion scintigraphy

- ^{99m}Tc 141 keV、コリメータ LEHR。

^{99m}Tc-MAA (macro-aggregated albumin)
 (大凝集アルブミン) 185MBq 静脈投与2分後から撮像可能。肺野正面、背面、左右後斜位プラナー像。MAAは直径10~50μmで、肺動脈末梢毛細血管を通過できず停滞するので、肺動脈血流分布が画像化される。肺静脈、左心系、大動脈は描画されない。
 肺癌は、胸部大動脈から分枝する気管支動脈から血流をうけるので、MAA分布は欠損する。

37

^{99m}Tc-MAA(大凝集アルブミン) Venography

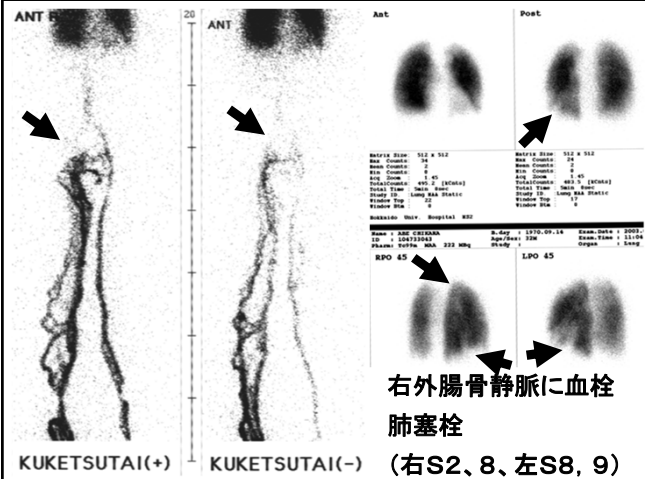


左右足背静脈から I. V. しながら撮像すると、下肢静脈と肺血流を一度に撮像できる。

下腿部を駆血すると深部静脈が描画される。

駆血帯を外すと表在静脈(大伏在静脈)が描画される。

38

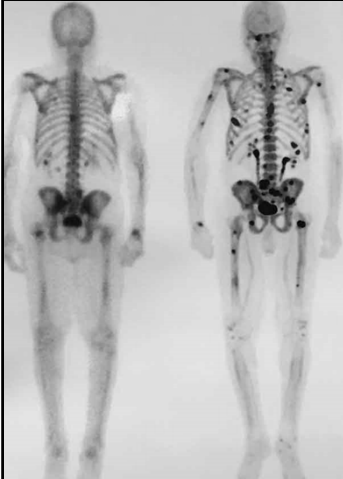


右外腸骨静脈に血栓
肺塞栓

右S2、8、左S8、9

| | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Matrix Size | 512 x 512 | Matrix Size | 512 x 512 |
| Max Counts | 78 | Max Counts | 78 |
| Min Counts | 14 | Min Counts | 14 |
| Total Counts | 4912 (100%) | Total Counts | 4912 (100%) |
| Mean Time | 1.00000000 | Mean Time | 1.00000000 |
| Min Time | 0.00000000 | Min Time | 0.00000000 |
| Max Time | 0.00000000 | Max Time | 0.00000000 |

39



従来の骨シンチグラフィと¹⁸F 骨PET画像の比較 (Na¹⁸F 骨PET)

PETのほうが骨転移病変を明瞭に描出している。

Na¹⁸F 骨PETの臨床使用は、まだ未定。

40

^{99m}Tc-MDP bone scintigraphy

- ^{99m}Tc 141 keV、コリメータ LEHR。

^{99m}Tc-MDP (methylene diphosphonate) または **^{99m}Tc-HMDP (hydroxy MDP)** 555 MBq 静脈投与3~5時間後に撮像。全身正面、背面プラナー像。1000 counts / cm² 以上で撮像。必要に応じてSPECT撮像。

尿への正常排泄があるので、排尿をしてから撮像する。下着の尿汚染、導尿チューブがある症例では、尿の画像が骨の画像に重ならないように工夫して撮像。

41

¹³¹I - Adosterol adrenal scintigraphy

¹³¹I 365KeV 高エネルギー用コリメータ HEGP

¹³¹I - Adosterol 18.5 MBq 静脈投与。

投与後、3日目と7日目くらいに、正面、背面プラナー像。Adosterol は 約1週間かけてゆっくり副腎皮質に集まる。アドステロールは、コレステロールの類似物質。コレステロールは、副腎皮質ホルモン(コルチゾルなど)の材料なので¹³¹I - Adosterolは、副腎皮質に集積する。脂質なので水に溶けない。エタノール溶液の薬剤。アルコールに弱い患者では、酒酔い症状が出るので、生理的食塩水で2倍以上に希釈して数分かけて静脈投与。¹³¹I 標識薬剤なので、甲状腺ブロックの前処置が必要。

42

¹³¹I-Adosterol Adrenal scintigraphy

副腎皮質への集積量は投与量の 0.4% 以下と低いので、撮像時間は長いほうが良い(30分程度)。
 上腹部の正面と背面の planar像を、必ず撮像する。
 肝が右にあるので、右副腎は左副腎より背側にある。
 そのため、背面像では右副腎の描画が高い場合が多いが、病的集積が正常集積か判断するには、正面像も必要。

(病的集積であれば正面、背面像ともに病側の描画が高い。)

R Ant L L Post R

43

副腎皮質ホルモン (ステロイドホルモン、コルチコイド)

副腎皮質は、コレステロールを原料にして、ステロイドホルモンを数種類分泌する。主なものは、
 コーチゾル(糖質コルチコイド)と
 アルドステロン(硬質コルチコイド)。

コーチゾルは、蛋白質や脂肪の代謝を促す。
 過剰になると免疫低下、高血糖、骨粗しょう症、体幹部肥満、満月様顔貌、興奮、うつ病などの症状(クッシング症状)。

アルドステロンは、腎尿細管の Na 再吸収と K 排泄を促す。
 過剰になると、Na過剰による血液増加、高血圧、低K血症。

44

コーチゾルの分泌量は、脳下垂体と副腎皮質との間で制御されている。

血中コーチゾルが不足すると、脳下垂体から副腎皮質刺激ホルモン(ACTH ; Adreno CorticoTropic Hormone)の分泌が増加して、副腎のコーチゾル産生が増加する。

血中コーチゾルが過剰になると、ACTH分泌が低下して、副腎のコーチゾル産生が低下する。

アルドステロンの分泌量は、ACTH の制御を受けない。
 (アルドステロンは、アンジオテンシン II で制御される。)
 (腎血流低下 → レニン増加 → アンジオテンシン II 増加 → アルドステロン増加 → 血液増加)

45

クッシング症候群 Cushing Syndrome
 血中コーチゾルが過剰で、Cushing症状を示す疾患の総称

副腎性 Cushing 症候群 (Functioning Cortical Adenoma)
 副腎皮質にコーチゾルを過剰分泌する腺腫がある。
 ACTH は減少して、正常副腎の機能は低下する。

ACTH 産生腫瘍 ACTHが過剰で、左右副腎が腫大する。

下垂体性 Cushing 症候群 (Cushing 病)
 脳下垂体に ACTH を過剰産生する腺腫がある。

異所性 ACTH 症候群 (Ectopic ACTH Syndrome)
 肺癌、胸腺腫瘍、卵巣腫瘍などが ACTH を産生する。

46

¹³¹I - Adosterol 副腎皮質 シンチグラフィ

右副腎皮質腺腫
 (右に分布亢進、左は ACTH低下に伴う分布低下)

正常副腎皮質は、左右対称に描画 (右副腎のほうが背側にいるので、背面像では右副腎のほうが、軽度描画が高い)

Anterior Posterior

47

クッシング症候群 Cushing syndrome
 副腎皮質ホルモンを過剰産生する副腎皮質腺腫。
 (functioning adrenal cortical adenoma)
 副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) が減少するので健常側副腎への集積が低下する。

¹³¹I - Adosterol scintigraphy

L Post image R

48