

医用画像機器工学Ⅱ (CT) 2

24年国家試験

解答 3

CT 値で正しいのはどれか。

1. 脂肪は 0 HU である。
2. 甲状腺よりも肝臓が高い。
3. 空気は -1000 HU である。
4. 骨皮質は +1000 HU である。
5. 被写体による線質硬化に差があつても変化しない。

1

体内組織のCT値 (比重1 = 0 HU)

気道内、消化管内の空気 (比重0)	- 1000
脂肪組織	- 50 ~ - 100
脳脊髄液、脳室	10
脳室周囲白質	20 ~ 30
大脳皮質(灰白質)	30 ~ 40
筋肉、肝臓等の臓器	30 ~ 60
血液 (比重 1.05 ~ 1.06)	50 ~ 60
凝固血液(血栓)	50 ~ 100
甲状腺 (比重 1.10 ~ 1.12)	100 ~ 120
骨、石灰化病変	250 ~ 1000

2

脂肪組織は水より軽いので CT 値は 0 以下。

筋肉、肝臓等の臓器の CT 値は 30 ~ 60。

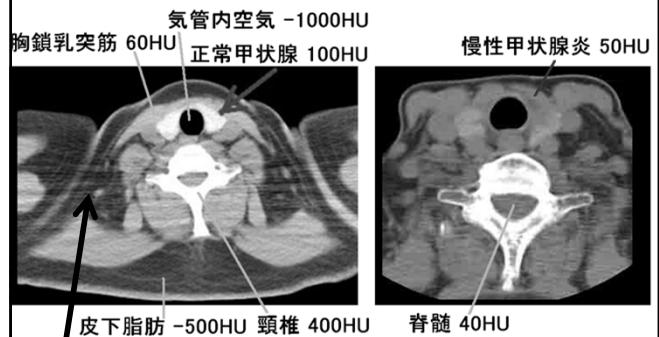
甲状腺は特殊な内臓で、質量数の大きいヨード (平均質量数 127、原子番号 53) を取り込んで甲状腺ホルモンを産生、貯蔵しているので、重い臓器である。CT 値は 100 度程。

慢性甲状腺炎(橋本病)などで、甲状腺機能が低下すると CT 値は軽くなる。

骨の密度は部位による差や個人差が大きい。CT 値 1000 は比重が約 2 の組織で非常に重い。通常の骨の CT 値は 250~1000 の間である。

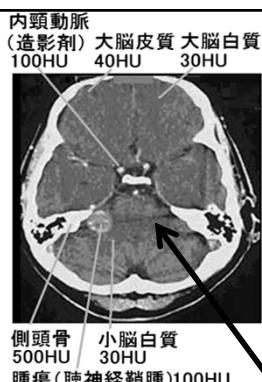
3

下頸部CT像 (plain CT : 造影剤を投与していないCT)



下頸部CT画像は、左右肩関節の骨によるビームハードニング(線質硬化)アーチファクトが出る。

4



頭部CTでは、側頭骨錐体部周囲、後頭隆起周囲に、腹部CTでは、肋骨外側周囲に、ビームハードニング(線質硬化)アーチファクトが出る。

5

ビームハードニング Beam hardening (線質硬化)

CT の X 線管は、連続スペクトラルを出す。線減弱係数の大きい骨を通過した X 線や、長い距離を通過した X 線は、連続スペクトラルの中の低いエネルギー成分が大きく減衰する。(高エネルギー成分だけ残る = 線質硬化) (線減弱係数は、X 線エネルギーで変化する) 骨などの重い組織の周囲は、高いエネルギー成分だけが通過して得られた線減弱係数から CT 像が算出され、誤った CT 値になり、アーチファクトとして画像に影響を与える。

6

ビームハードニング アーチファクト 1

骨周囲の線状
(ストリーク状)の
CT値の低下

厚い側頭骨で低エネルギーX線が吸収され、
高エネルギーX線から、この部位の μ が算出される。
同じ質量でも高エネルギーのX線では μ が低くなる。
CT像の骨分布から、このような μ の低下を補正する
方法がある(BHC: Beam Hardening Correction)

7

ビームハードニング アーチファクト 2

周辺に高吸収体を伴う
内部均一phantomのCT像

頭頂部頭蓋骨の近傍に沿うCT値の上昇と画像中心部のCT値の低下 (Cupping, Dishing, Shading)。
厚い頭蓋骨で低エネルギーX線が吸収され、
頭蓋骨近傍の脳の μ に比べ、脳の中心部の μ の値
が低く描出される。
硬膜下出血などの診断を困難にする。

8

24年国家試験 解答 3

Hounsfield 値(CT 値)を求める式はどれか。
ただし、 μ_t 、 μ_w および μ_a はそれぞれ組織、
水および空気の線減弱係数とする。

1. $\frac{1000(\mu_w - \mu_t)}{\mu_a}$ 4. $\frac{1000(\mu_t - \mu_w)}{\mu_t}$
2. $\frac{1000(\mu_t - \mu_a)}{\mu_a}$ 5. $\frac{1000(\mu_w - \mu_t)}{\mu_t}$
3. $\frac{1000(\mu_t - \mu_w)}{\mu_w}$

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

9

空気のCT値は -1000

$1000 \times (\mu_{air} - \mu_w) / \mu_w = -1000$ (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 $\mu_{air} = 0$ とする。

水のCT値は 0 (比重1の密度が 0 HU)

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

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

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

10

水の線減弱係数 μ_w は X線の線質 (管球に
加えた電圧や電流) で変化するが、だいたい
0.19~0.20 cm⁻¹ である。

X線線質の違いや被検者の体格差で、同じ
組織でもCT値は変化し、厳密な定量性はない。

定量性の正確さは
欠けるが、水や空気
の重さを基準にした
CT値は、直感的に
理解しやすく、臨床
的にも有用である。

CT値と密度の関係

11

コントラストスケールのキャリブレーション
Calibration : 計測値を基準値に正すこと。較正。

空気キャリブレーション (air calibration)
空気のCT像を撮影(何もない空間を撮影)して
そのCT値を -1000 に較正する。

水キャリブレーション
水を入れたファントムのCT像を撮影して
そのCT値を 0 に較正する。

2

25年国家試験

解答 1

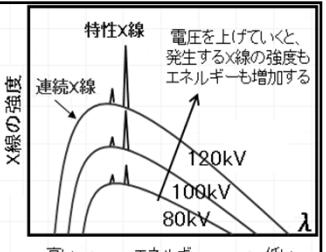
X線CTの撮影で正しいのはどれか。

1. 管電圧が高くなるほど画像ノイズは低下する。
2. 管電流が大きくなるほど画像ノイズは増大する。
3. ピッチが大きくなるほど被ばく線量は増加する。
4. 管電流が大きくなるほど低コントラスト分解能は低下する。
5. スライス厚が厚くなるほど高コントラスト分解能は向上する。

13

X線管球

高い電圧をかけるほど発生するX線量は増加し、連続X線スペクトルの高エネルギー成分も増加する。



CTのX線管球の
管電圧は 80~120kV
管電流は 100~300mA
程度

電流を多く通すほど
発生するX線量は増加
するが、連続X線スペ
クトルは変化しない。
(線質は変化しない。)

14

シングルスライスヘリカルCTの場合

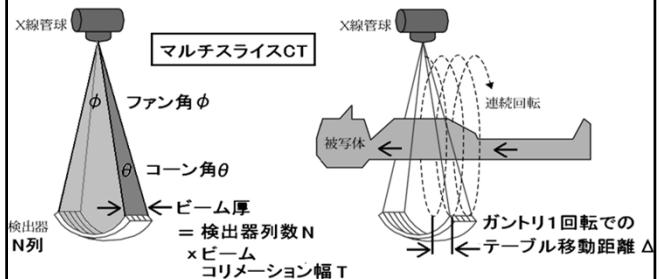
$$\text{ヘリカルピッチ} = \frac{\text{テーブル移動距離 } \Delta}{\text{コリメーション幅 } T}$$

ヘリカルピッチの意味は、体軸方向のデータ量。
ピッチが大きい = 体軸方向のデータ収集が粗い。
実際の撮影でのヘリカルピッチは 0.6 ~ 1.5 程度。
ピッチの値が小さいほど、
体軸方向の断層像の画質が良くなるが、
患者の被曝は多くなる。

15

マルチスライスヘリカルCTの場合

ヘリカルピッチは、管球(またはガントリ)が1回転する間に患者ベッド(テーブル)が移動する距離 Δ をビーム厚(検出器列数 N × コリメーション幅 T)で割った値。



16

マルチスライスヘリカルCTの場合

$$\text{ビームピッチ} = \frac{\text{テーブル移動距離 } \Delta}{\text{ビーム厚 } NT}$$

$$\text{ディテクタピッチ} = \frac{\text{テーブル移動距離 } \Delta}{\text{検出器1列分のコリメーション幅 } T}$$

実際の撮影でのビームピッチは 0.6 ~ 1.5 程度。
ビームピッチが 1未満
→体軸方向データに重複(オーバーラップ)が生じる
ビームピッチが 1以上
→体軸方向データに欠損(ギャップ)が生じる

17

原理上は、ビームピッチを 1 に設定した撮影が理想的と考えられるが、

実際の撮像データは、辺縁部に並ぶ検出器から得るデータは中心部に並ぶ検出器から得るデータよりノイズが多いので、

ビームピッチを 1 未満にして体軸方向データに重複(オーバーラップ)を生じさせ、
辺縁部検出器から得るデータを重複させて
体軸方向断層画像の画質を良くする。

18

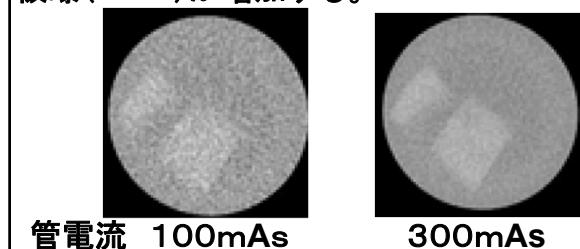
高コントラスト分解能 = 空間分解能
X線吸収係数の差が大きい部位の分解能を測定できるQAファントム断層面で評価。
どれだけ小さいものまで区別して見えるかを評価する指標。

低コントラスト分解能

X線吸収係数の差が小さい部位の分解能を測定できるQAファントム断層面で評価。
臨床的には、臓器と血液の間の密度分解能などに影響を及ぼす指標。

19

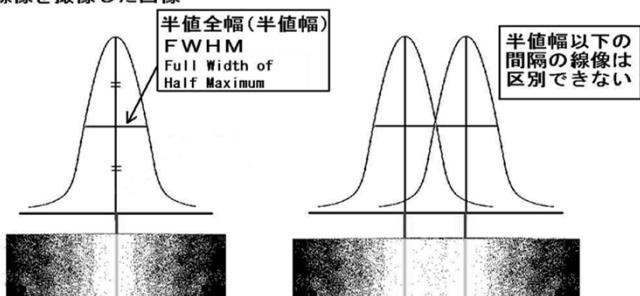
管電流が多いほど、X線量(強度)は増加する。
低コントラスト分解能評価用ファントム(線減弱係数が近い構造物が入っている)のCT像。
 管電流を多くするほど、ノイズの少ないCT像になるので、低コントラスト分解能が良くなるが、被曝(CTDI)が増加する。



20

空間分解能
線像分布関数
Line spread function LSF

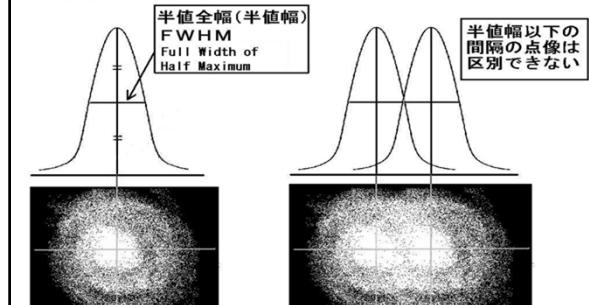
線像を撮像した画像



21

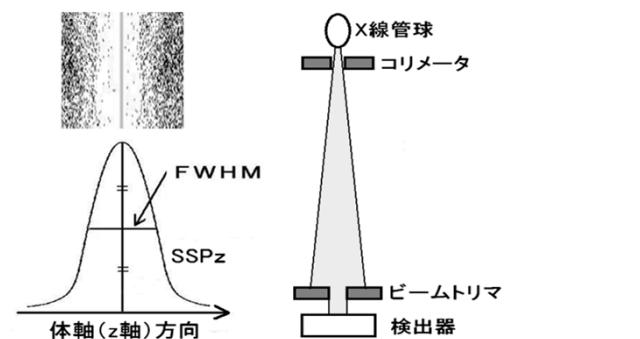
空間分解能
点像分布関数
Point spread function PSF

点像を撮像した画像の濃度分布



22

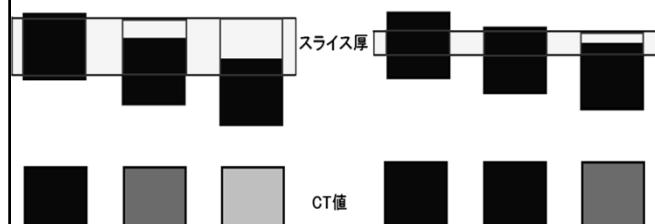
CTの空間分解能は体軸(z軸)方向にも評価が必要。
スライス感度プロフィール
Slice Sensitivity Profile SSPz
 SSPを良くするために検出器近傍にビームトリマがある。



23

スライス厚が大きいと部分容積効果 (partial volume effect)によって CT値が不正確になり、分解能も下がる。

スライス厚が薄いと部分容積効果は減少するが、CT像のノイズが増加する。



24

25年国家試験

解答 1

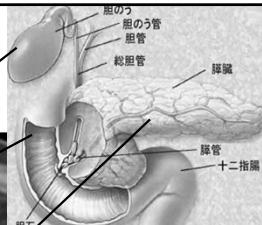
X線CTで正しいのはどれか。

1. 急性膵炎の診断に有用である。
2. 造影CTでは検査前日から絶飲食とする。
3. 脂肪肝のCT値は脾臓のCT値よりも高い。
4. 脳内の出血巣は脳実質よりも低い吸収域を呈する。
5. 腹部CTでは造影剤として硫酸バリウムを経口投与する。

25

脾臓 pancreas CT像

脂肪消化酵素 リパーゼや
血糖ホルモン インスリンなどを
産生する臓器



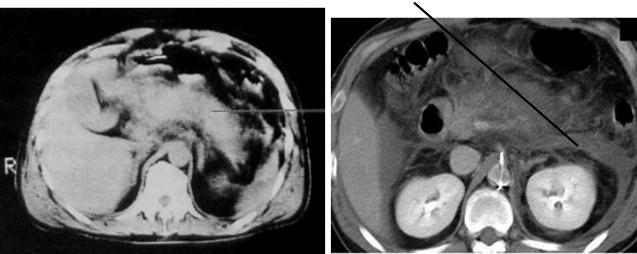
脾臓 Spleen

26

急性膵炎 acute pancreatitis

激しい腹痛、背部痛を伴う。

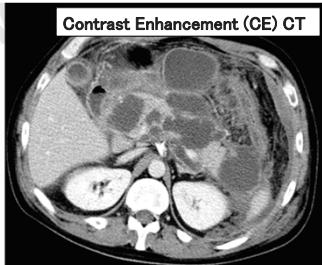
脾組織が、アルコールまたは胆石症で破壊され、
脂肪消化酵素が脾臓周囲の脂肪に浸潤し、
脾周囲脂肪組織の浮腫によるCT値上昇、脾辺縁不明瞭化。
前腎筋膜の浮腫、肥厚を伴う場合がある。



27

急性膵炎症例は炎症既往を示す石灰化を伴う場合がある。(慢性膵炎は脾内石灰化多発)

急性膵炎が重症化すると、脾内組織の壊死と膿瘍が生じる。脾内のCT値低下部位の存在。
造影CTで壊死病変が明瞭化(造影されない)。



28

造影CT (CECT) の前処置。

非イオン性ヨード造影剤(イオパミロン、オムニパークなど)を静脈注射直後に撮影。

検査直前の食事を1回抜く前処置が一般的。

過剰な絶飲食は、脱水を促し、高濃度造影剤が腎実質に障害を与えやすい、副作用が出やすい等の逆効果がある。

腎機能検査値(GFR)の確認を必ず行う。

造影剤投与前には、必ず患者に同意書サインをしてもらう(インフォームドコンセント)。

29

造影CT (CECT) の副作用

非イオン性ヨード造影剤は、組織への浸透圧が低いので副作用の発生頻度は低い。

熱感(造影剤注入時に熱い感じがする)は、ほとんどの人が感じる。

3%に吐き気、嘔吐、かゆみ、じんましんなど。これらの症状は、検査中～検査後1時間に起り、特別な治療を必要としない軽度のもの。

喘息などアレルギー症状のある人は症状が出やすいとされているが、予測は不能。

30

1万件に4件程度、重篤なアレルギー症状あり。

気道、気管支の収縮や浮腫による呼吸困難、全身血管拡張による血圧低下など救急処置の必要なアナフィラキシーショック（急速なアレルギー反応）。即効性の昇圧剤（アドレナリン）（商品名 ボスミン）を筋注（上腕筋）する。

30万件に1件程度、死亡事故が発生する。

31

患者に重篤なアレルギー症状（呼吸低下、顔面蒼白）があつたら、すぐ下記薬剤を筋肉注射（アドレナリン0.3mg）



図1 アドレナリン製剤
左から、大きさ比較用の100円玉、ボスミン注入1mgアンプル、アドレナリン注入0.1%シリング（包装状態、表／裏）、エピペン注入液0.3mg（プラスチックカバー封入状態）。

32

アドレナリン製剤の比較			
製造販売会社	第一三共株式会社	テルモ	マイランEPD合同会社
薬価	94円/管	151円/筒	10,213円/筒
規格	1mg/1ml	1mg/1ml	0.3mg/0.3ml
剤形	アンプル	フレフィルドシリング	フレフィルドシリング
用法	皮下注、筋注、静注	皮下注、筋注、静注	筋注
有効期間	3年間	3年間	20ヶ月
その他	・アンプルカット、注射筒内への吸引に時間かかる ・緊急時、0.3mg/0.3mlを筋肉内注射するために、その量を正確に注射筒内に吸引することが難しい	・心停止以外で1mg/1mlを静注してしまう可能性あり。 ・緊急時、0.3mg/0.3mlを筋肉内注射するために、0.7ml/0.7mlを正確に捨てることが難しい	・注射筒が大きいので誤認やすい。 ・医療施設内使用は禁忌ではないが、保険適用されない

これらは全て濃度0.1% (weight/volume%) で、水100ml中に0.1gのアドレナリンが溶解しています (=水1,000ml中に1g=1,000mg溶解→1mg/1ml)。エピペンは2ml入り剤ですが、0.3ml射出されます。

33

脂肪肝 Fatty liver

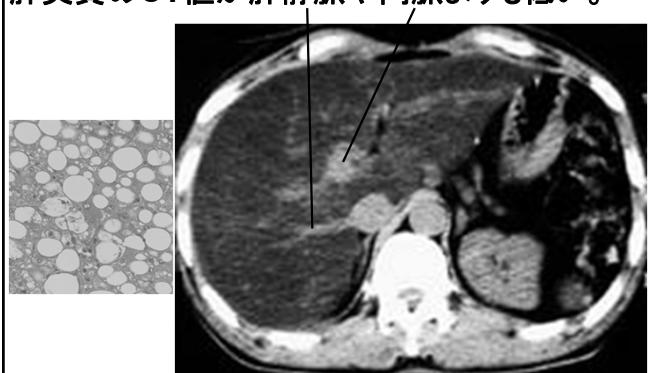
脂肪またはアルコールの過剰摂取によって肝実質に脂肪が蓄積した状態。
可逆的変化である。節制すれば正常に戻る。

正常な肝実質のCT値は50～60。
血管（血液）より高い（血液のCT値40～50）。

脂肪肝のCT値は血液より低い。20～30程度。

脂肪肝 Fatty liver

肝実質の病理標本で脂肪蓄積を認める。
肝実質のCT値が肝静脈や門脈よりも低い。



35

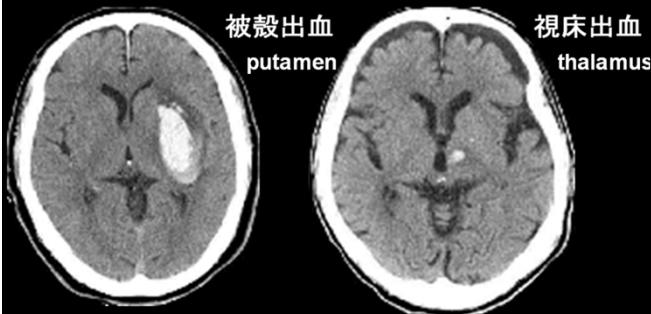
脳出血（脳溢血） 頭蓋内の出血の総称

1. 脳内出血（狭義の脳出血）
2. クモ膜下出血
3. 慢性硬膜下血腫
4. 急性硬膜下血腫
5. 急性硬膜外血腫
6. 出血性脳梗塞

36

脳内出血 Cerebral hemorrhage

主に高血圧と動脈硬化による脳動脈血管損傷。
ときに脳動静脈奇形、もやもや病、脳動脈瘤による。



37

脳内出血 Cerebral hemorrhage

脳の白質のCT値が20~30、大脳皮質(灰白質)が30~40、血液が40~50、凝固血液が50~100なので、

出血直後から2日間程度は、出血部位は高CT値。
2~3日後から血腫辺縁部が浮腫で低吸収値になる。
数週間で血腫の高吸収値は縮小し、
1ヶ月程度で高吸収域は消失する。

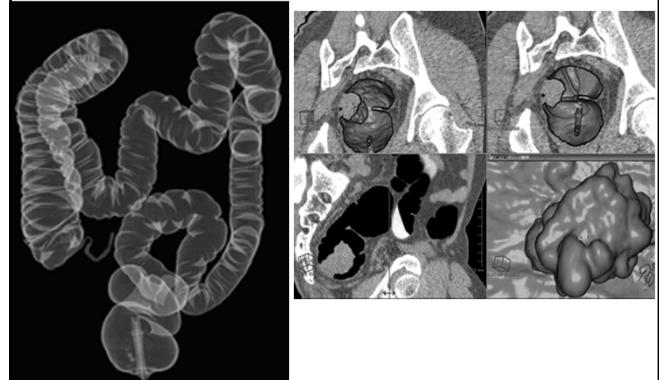
38

経口造影剤 バリウムはCTに使用しない。

- 硫酸バリウム BaSO_4
造影効果は良好。非ヨード剤。金属。X線透視用。
不溶性。腸に閉塞(イレウス)や運動低下があると腸管内で固まり停滯する。
- ガストログラフィン 検査30~60分前に内服
造影効果は劣るが、CTには十分使えるヨード剤。
腸に狭窄や穿孔を疑う場合に使用。
水溶性。安全。腸管内に停滞しない。
腸間膜から吸収されて尿へ排泄される。
- 陰性造影剤 炭酸ガス発泡剤内服、空気注腸
現在のヘリカルCTでは消化管描画に多用される。

39

空気注腸ヘリカルCTによる バーチャル内視鏡画像。CTコロノグラフィ



40

25年国家試験

解答 3, 5

MRIがCTよりも検出感度が高いのはどれか。
2つ選べ。

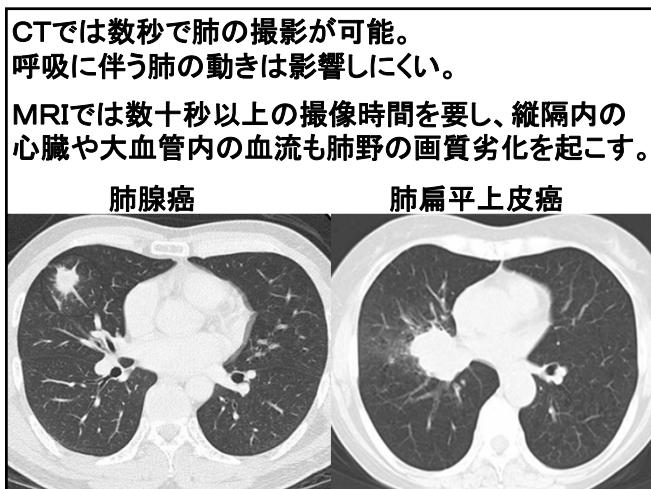
- 肺腺癌
- 尿路結石
- 子宮頸癌
- くも膜下出血
- 前十字靱帯損傷

41

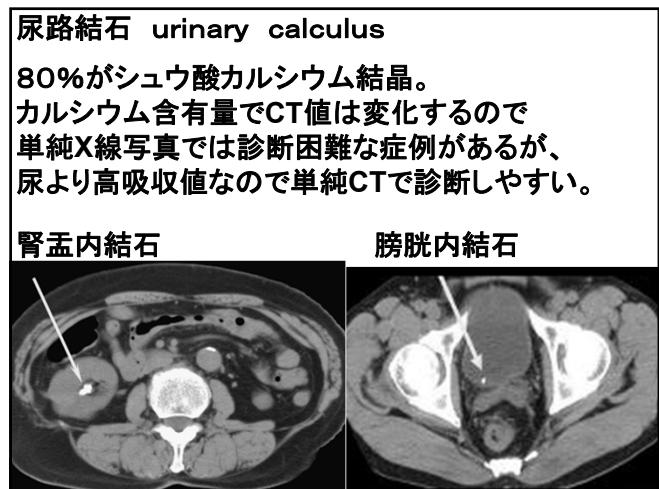
肺癌 Lung cancer

- 肺腺癌 60% adenocarcinoma
気管支や肺胞壁の腺細胞から発生。
肺野末梢部に生じやすい。喫煙と関係ない。
- 肺扁平上皮癌 25% squamous cell carcinoma
気管支壁の扁平上皮細胞から発生。
肺門部近くに生じやすい。喫煙と関係性大。
- 小細胞肺癌 15% small cell carcinoma
気管支壁の神経内分泌細胞から発生。
肺門部近くに生じやすい。喫煙と関係あり。
極めて悪性。急速に増大、進展する。

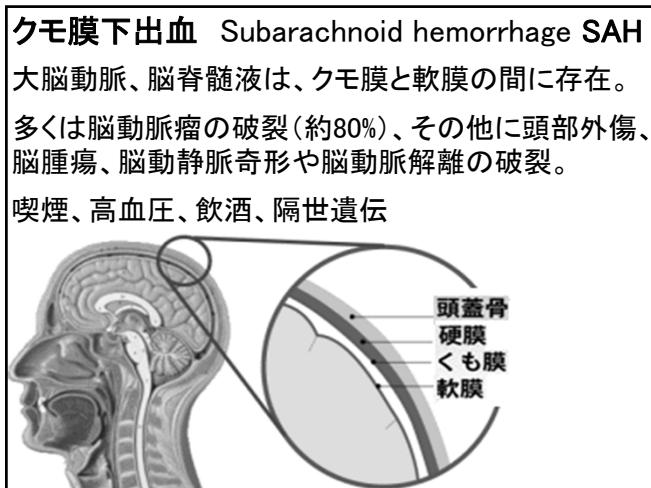
42



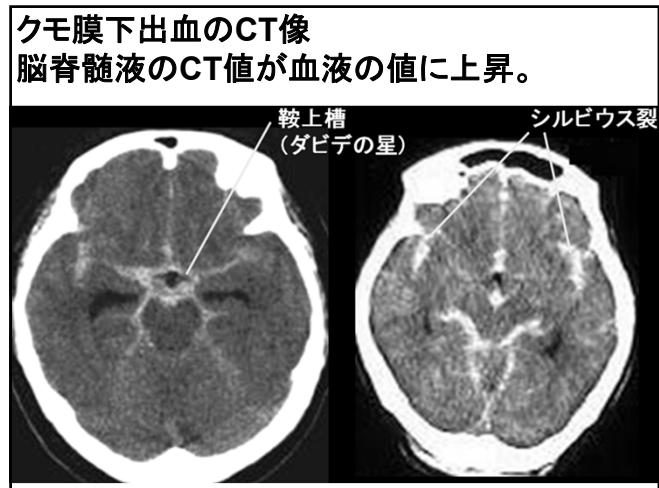
43



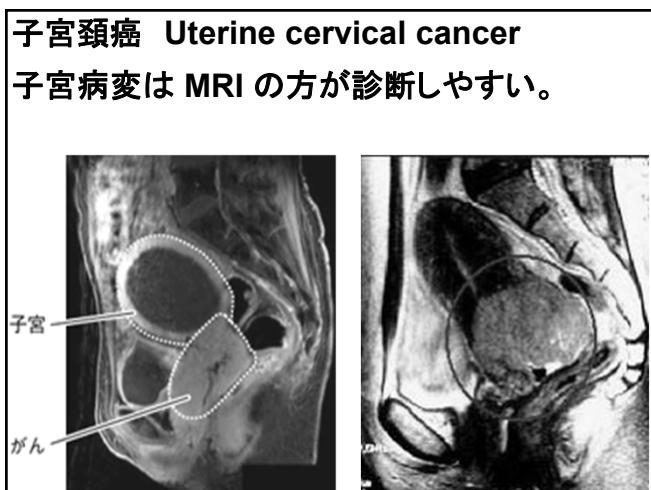
44



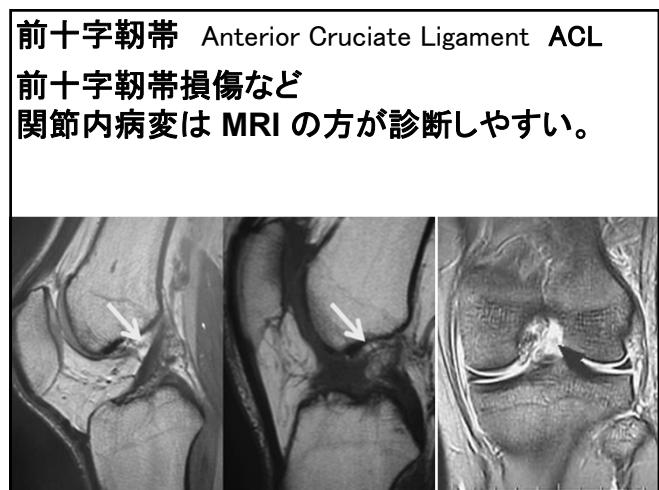
45



46



47



48

24年国家試験

解答 1, 4

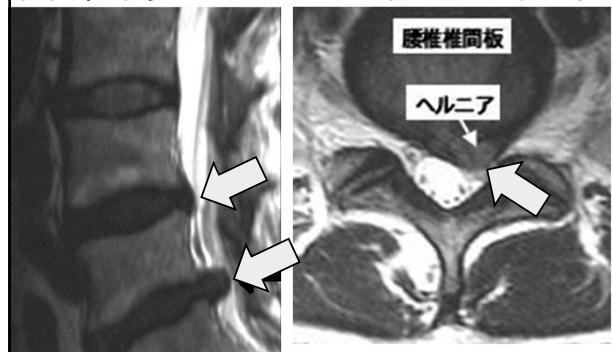
MRIがX線 CTよりも診断に有用なのはどれか。2つ選べ。

1. 半月板損傷
2. 急性虫垂炎 腸管は動くのでMRIは不適
3. 消化管穿孔
4. 椎間板ヘルニア
5. 急性くも膜下出血

49

椎間板ヘルニア herniated disc

椎間板の一部が椎間腔を超えて突出した状態。
椎間板病変はMRIの方が診断しやすい。



50