

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っても変化しない。

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

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。

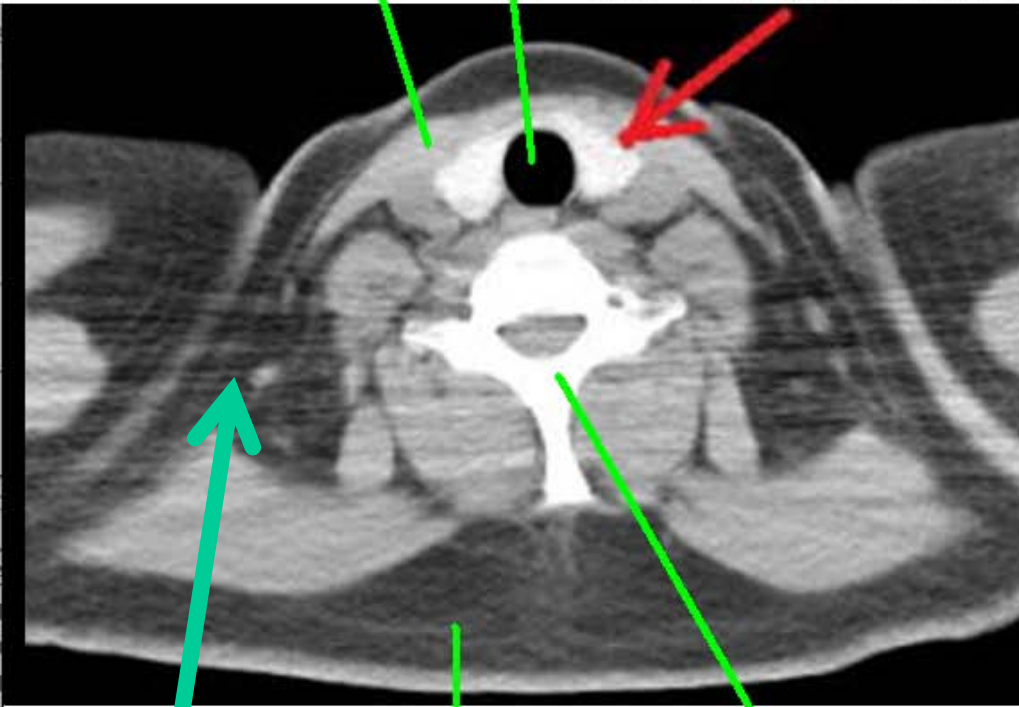
甲状腺は特殊な内臓で、質量数の大きいヨード（平均質量数127、原子番号53）を取り込んで甲状腺ホルモンを産生、貯蔵しているので、重い臓器である。CT値は 100程度。

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。

下頸部CT像 (plain CT : 造影剤を投与していないCT)

気管内空気 -1000HU
正常甲状腺 100HU
胸鎖乳突筋 60HU



皮下脂肪 -500HU 頸椎 400HU

慢性甲状腺炎 50HU



脊髓 40HU

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。

内頸動脈

(造影剤)
100HU

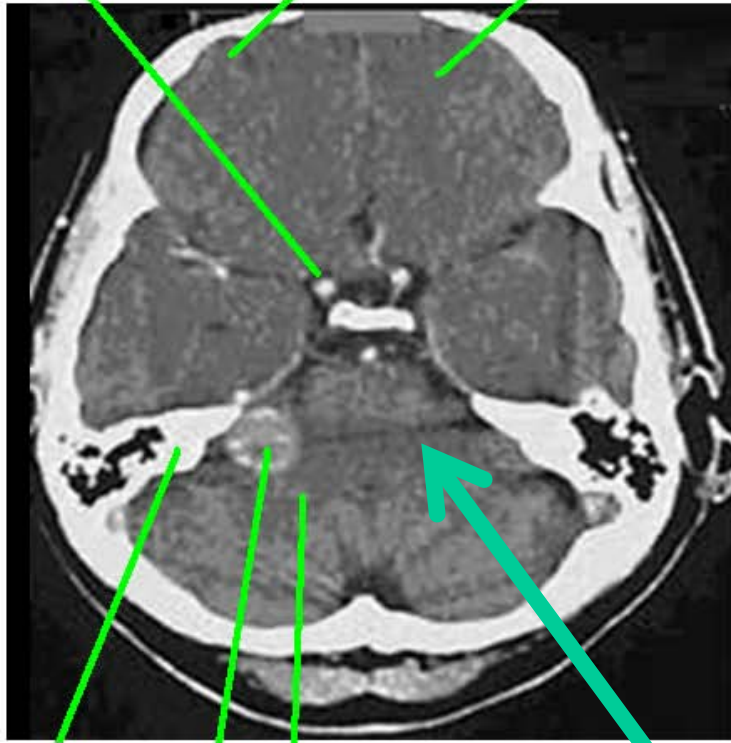
大脳皮質
40HU

大脳白質
30HU

肝実質
50HU

腹大動脈
50HU

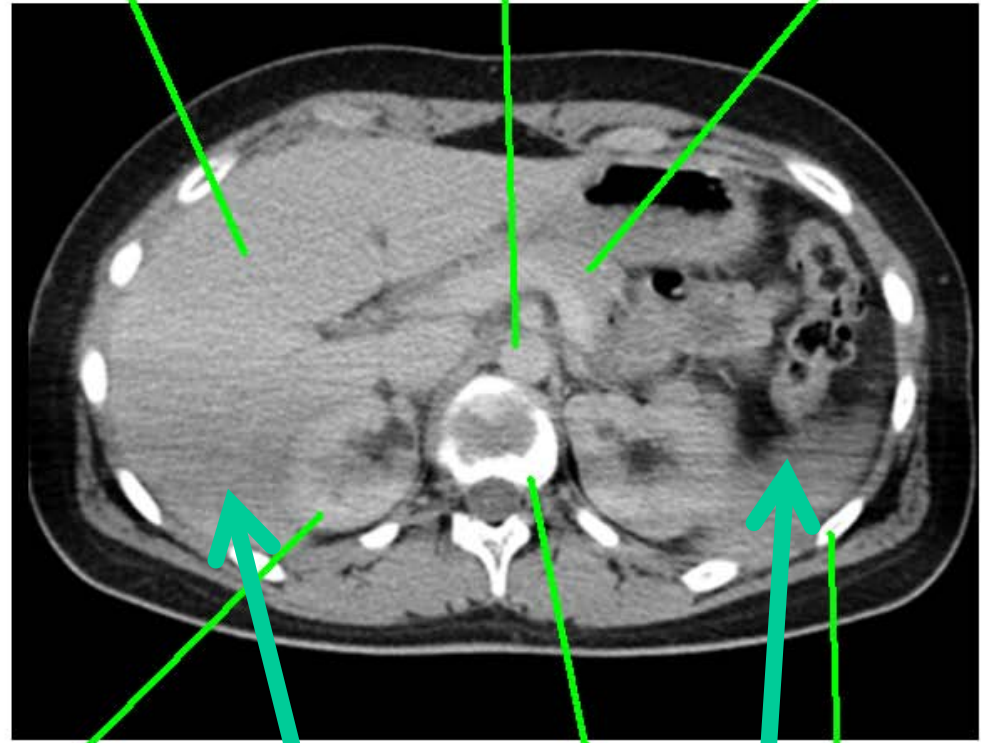
脾臓
40HU



側頭骨
500HU

小脳白質
30HU

腫瘍(聴神経鞘腫)100HU



腎実質
60HU

胸椎
400HU

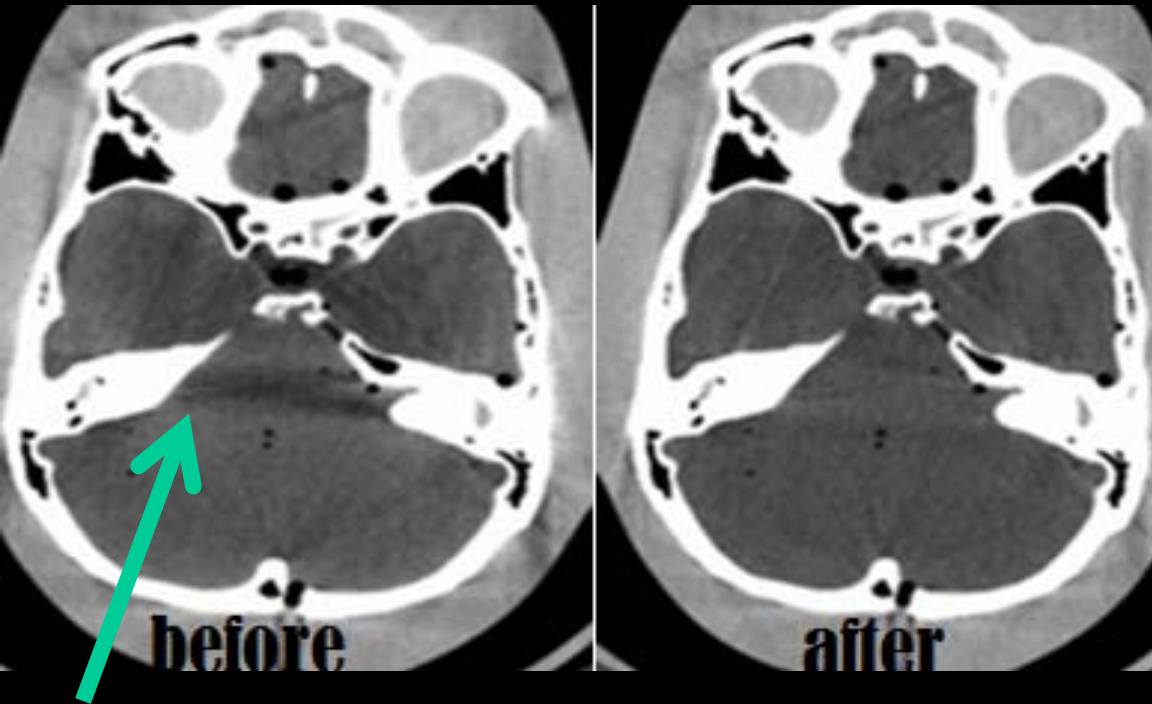
肋骨
500HU

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。

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。

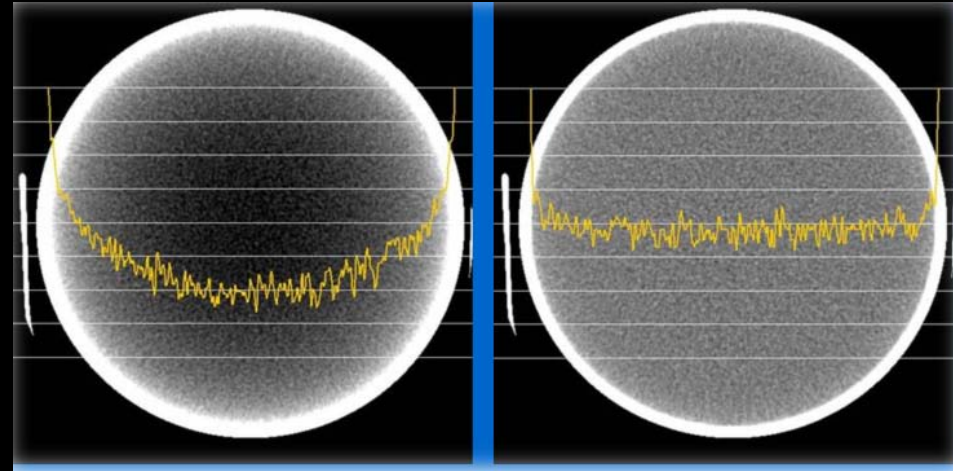
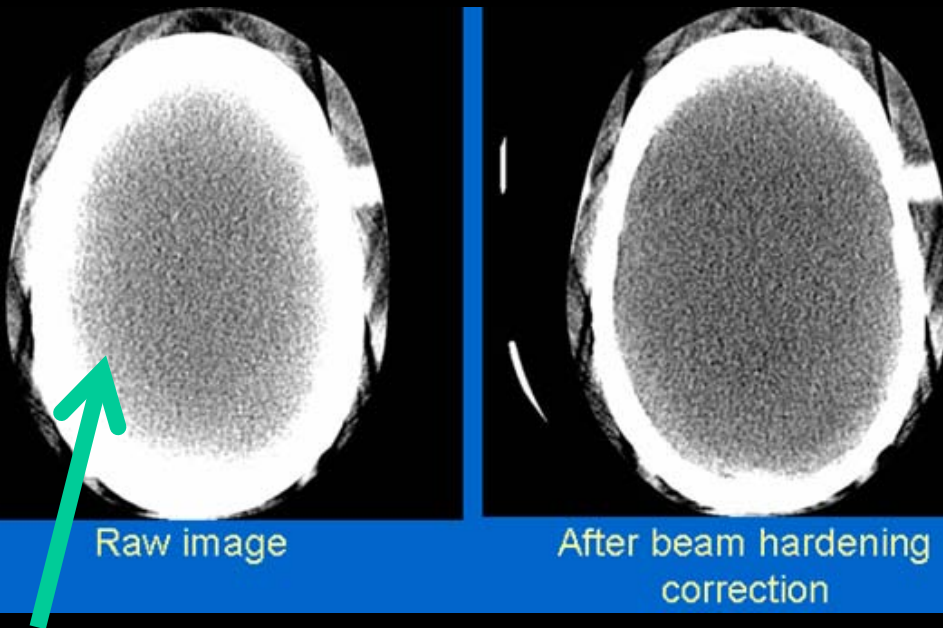
ビームハードニング アーチファクト 1



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**)

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
内部均一ファントムの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。

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.
$$\frac{1000(\mu_t - \mu_w)}{\mu_w}$$

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

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 ）

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

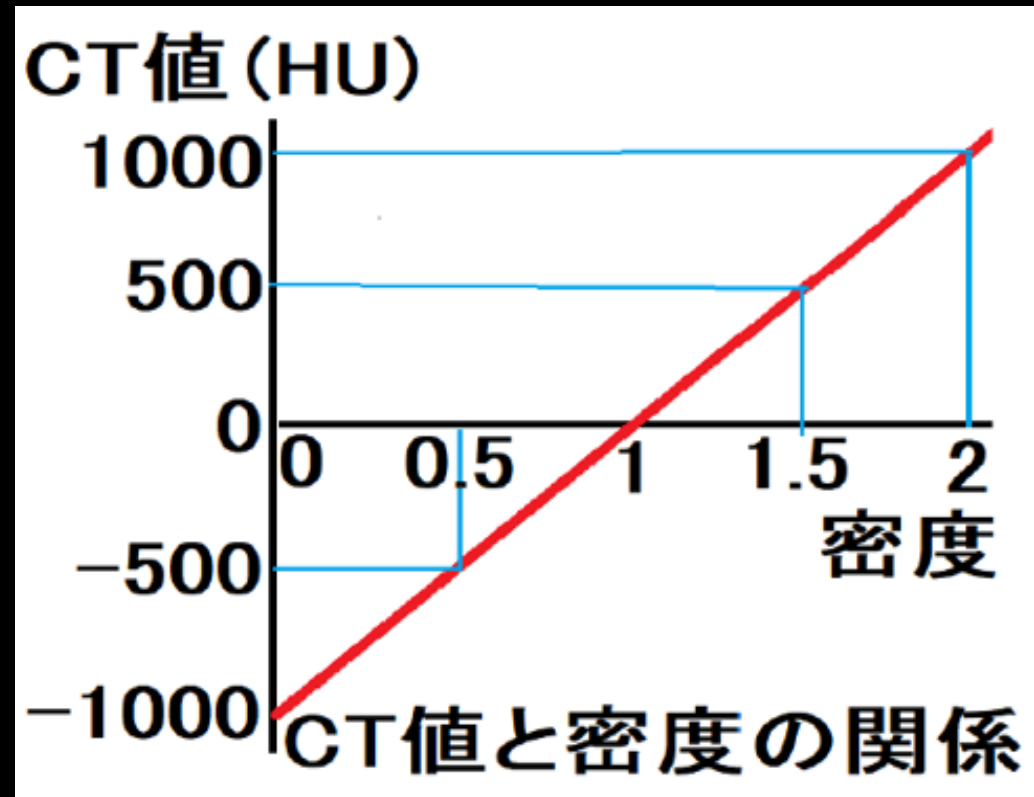
水の2倍の線減弱係数の物質のCT値は 1000
（水の約2倍の密度が 1000 HU ）

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

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 $0.19 \sim 0.20 \text{ cm}^{-1}$ 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。



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。

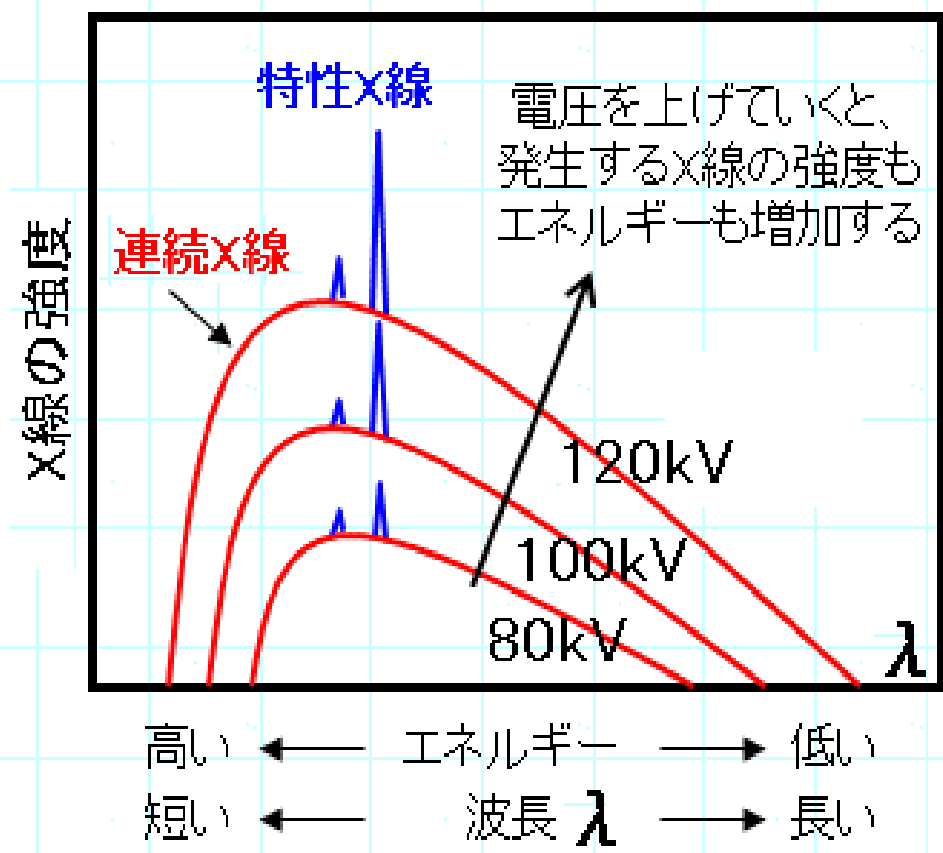
X線CTの撮影で正しいのはどれか。

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。

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。

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。)



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

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。

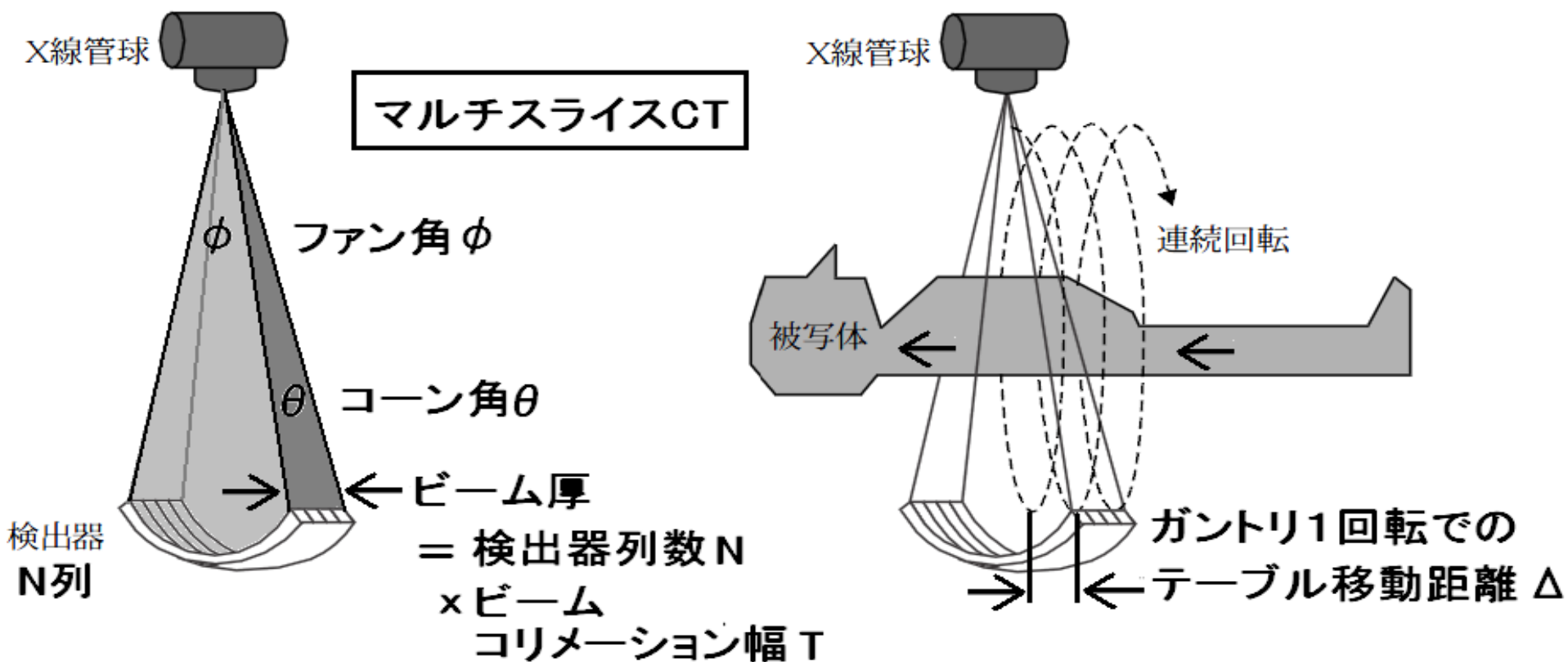
ピッチが大きい = 体軸方向のデータ収集が粗い。

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。

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。



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

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。

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。

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。



管電流 100mAs



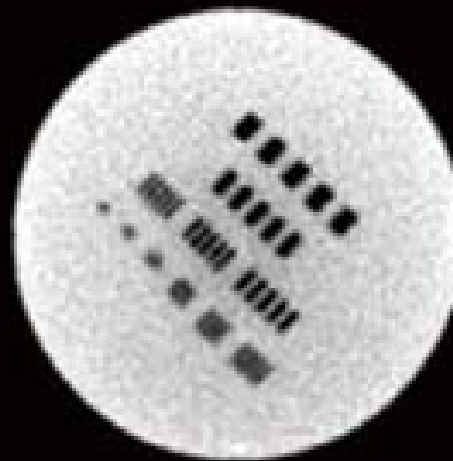
300mAs

空間分解能

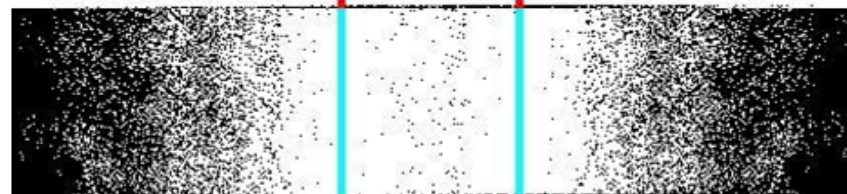
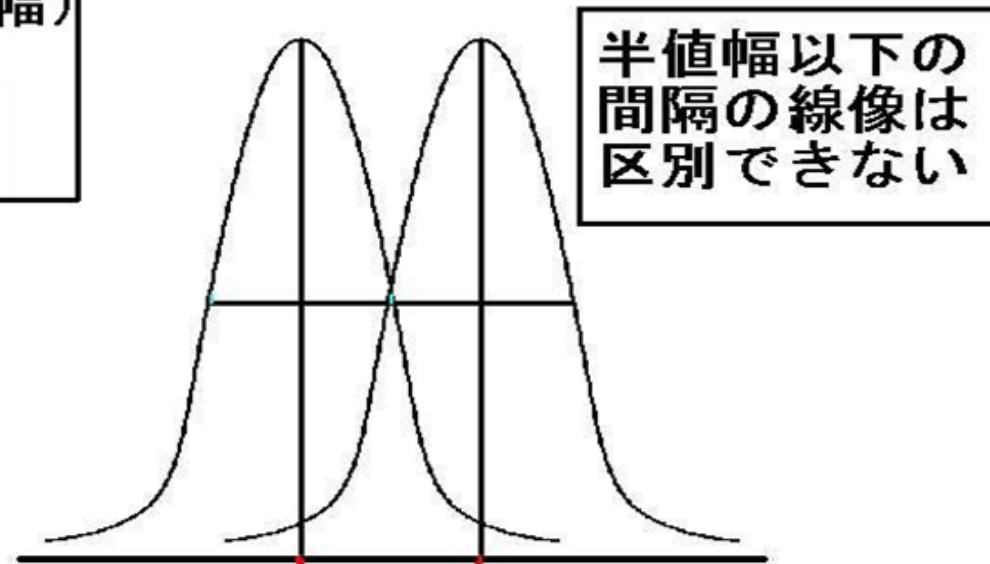
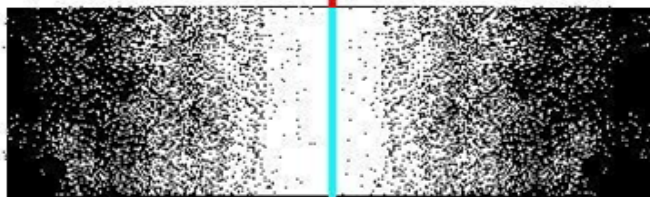
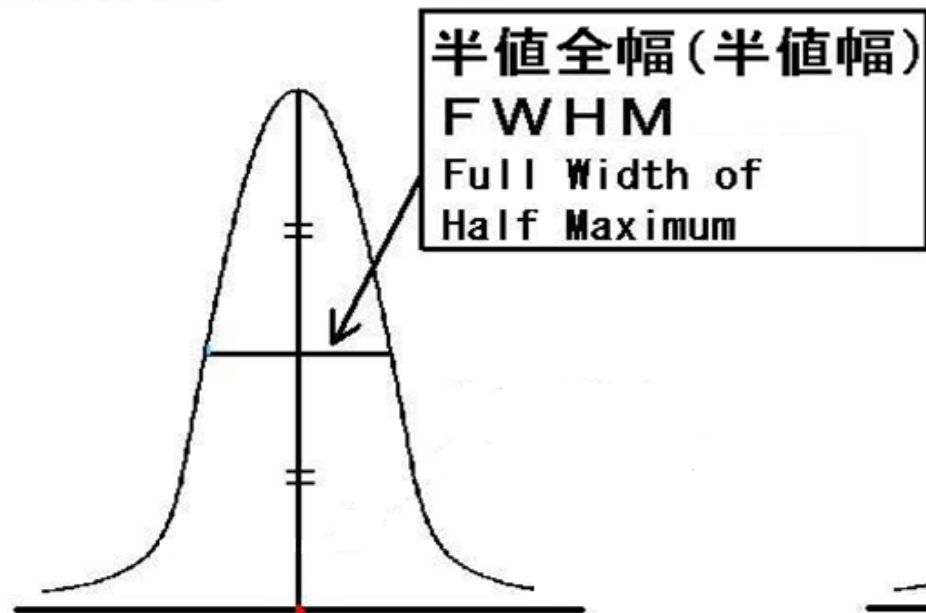
線像分布関数

Line spread function

LSF



線像を撮像した画像



空間分解能

点像分布関数

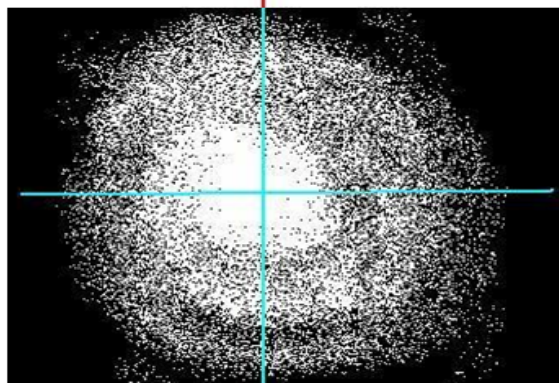
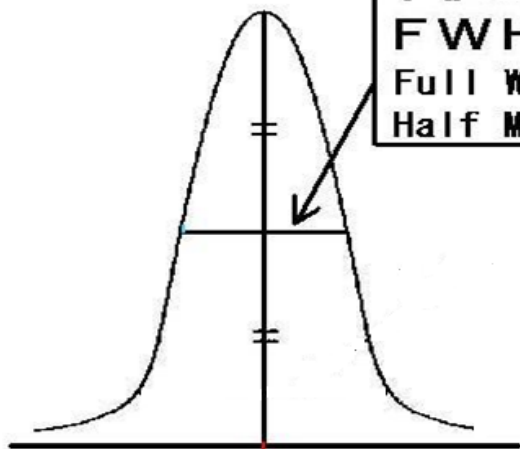
Point spread function

PSF

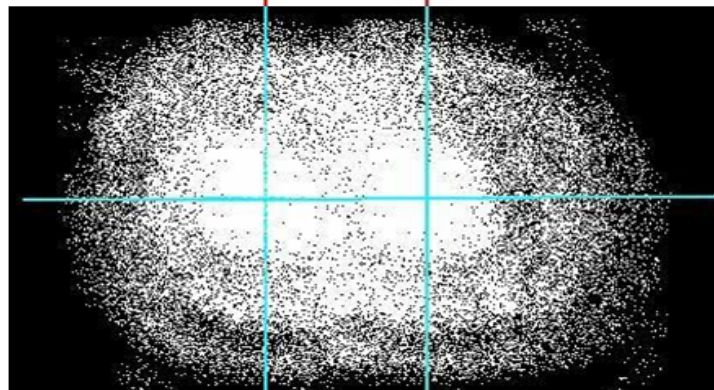
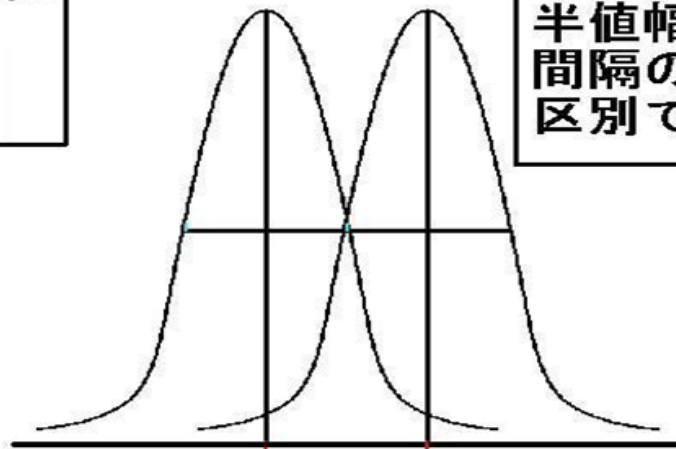


点像を撮像した画像の濃度分布

半値全幅(半値幅)
FWHM
Full Width of
Half Maximum



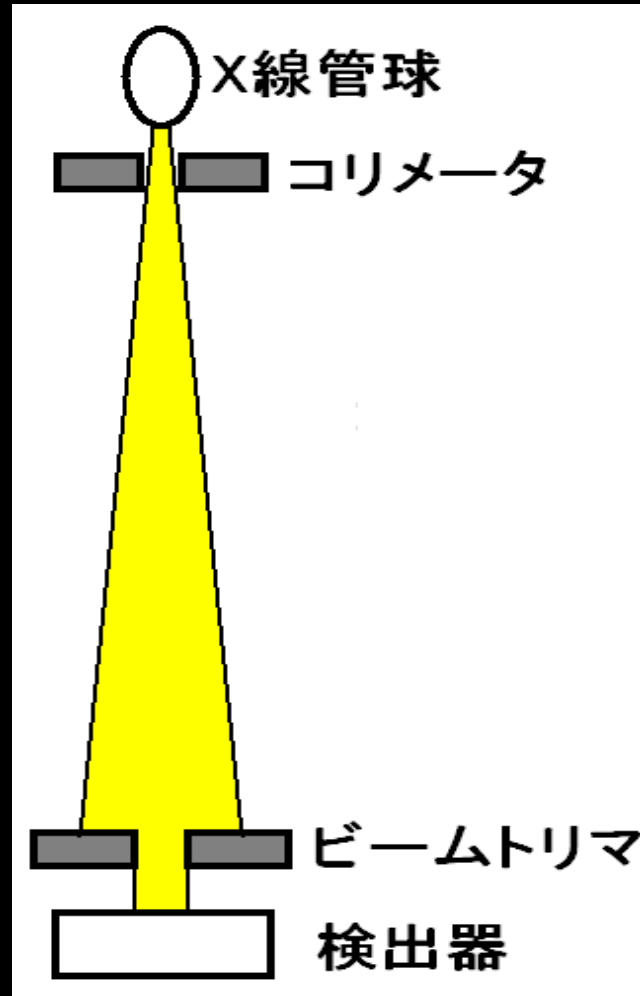
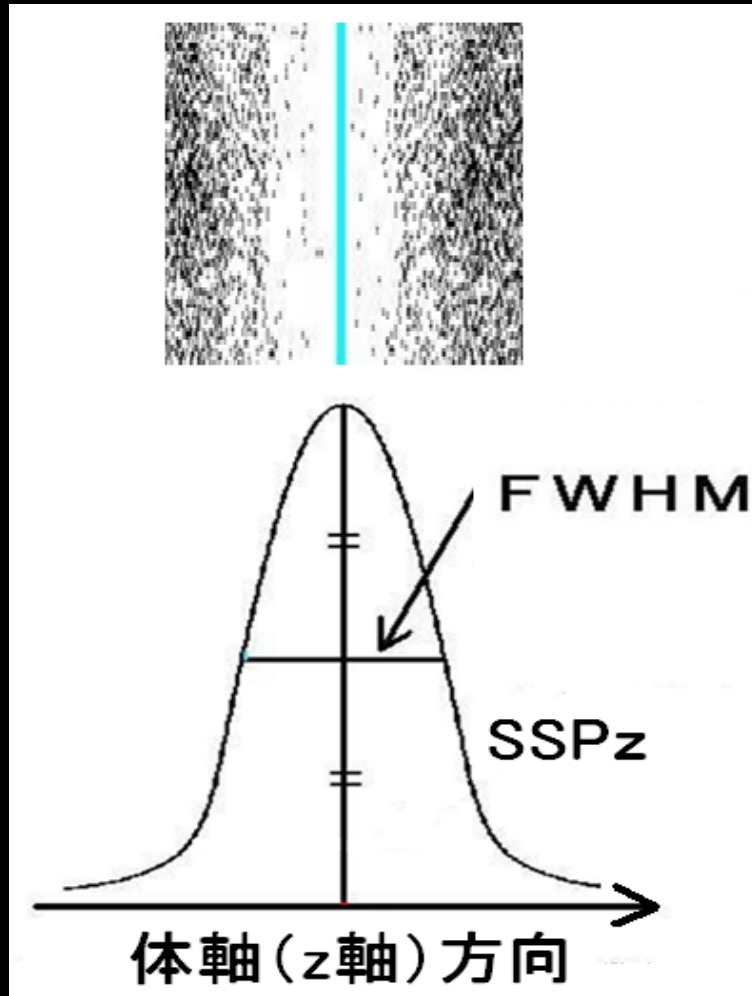
半値幅以下の
間隔の点像は
区別できない



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

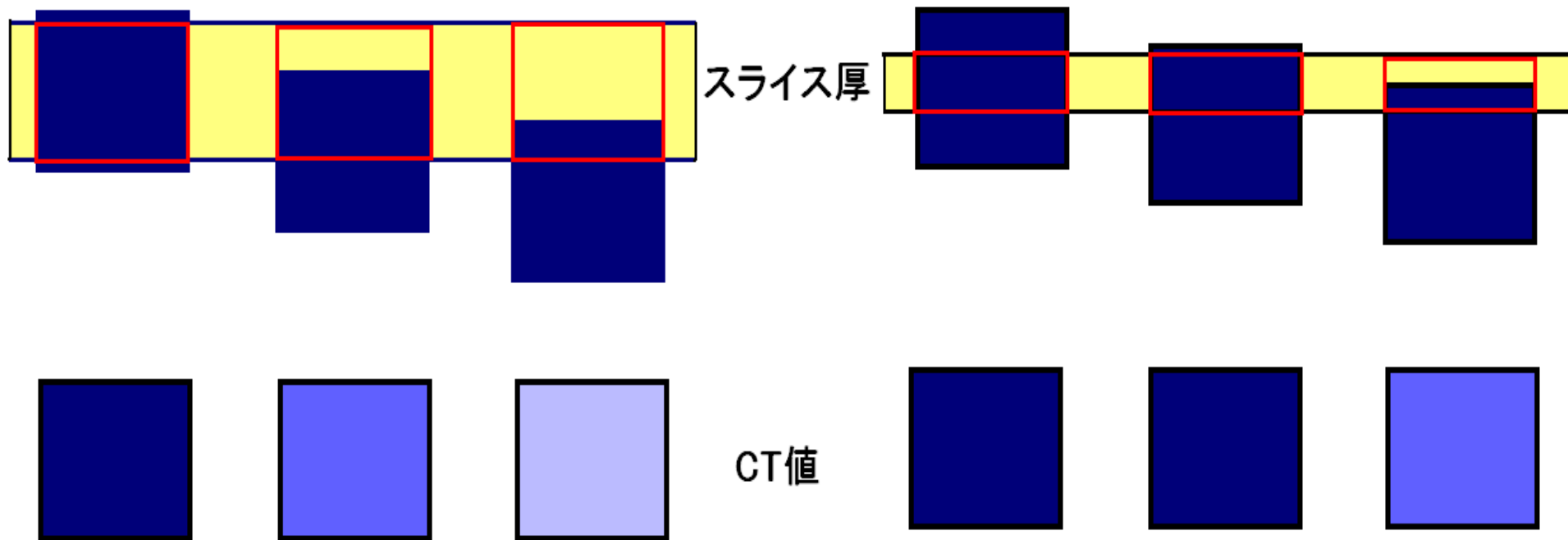
Slice Sensitivity Profile SSPz

SSPを良くするために検出器近傍にビームトリマがある。



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。

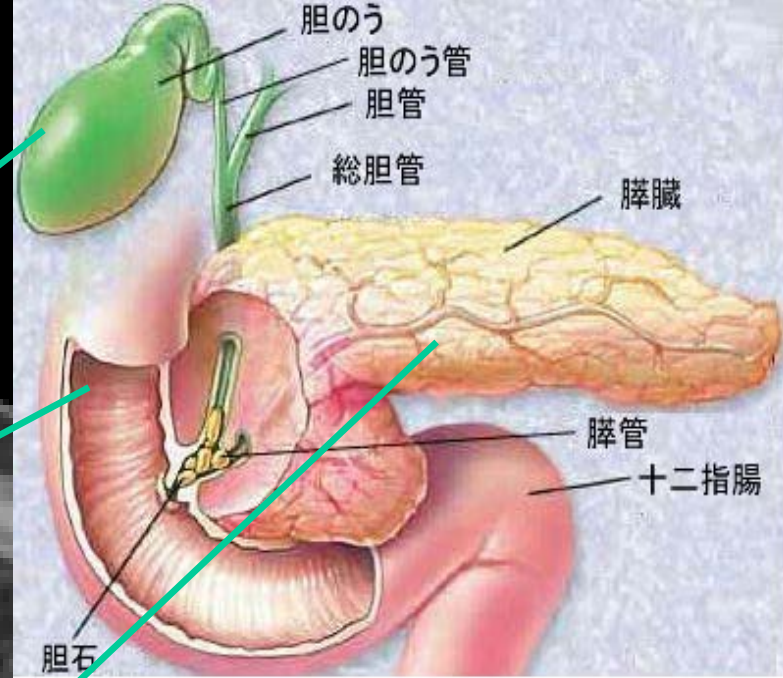


X線CTで正しいのはどれか。

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。

膵臓 pancreas CT像

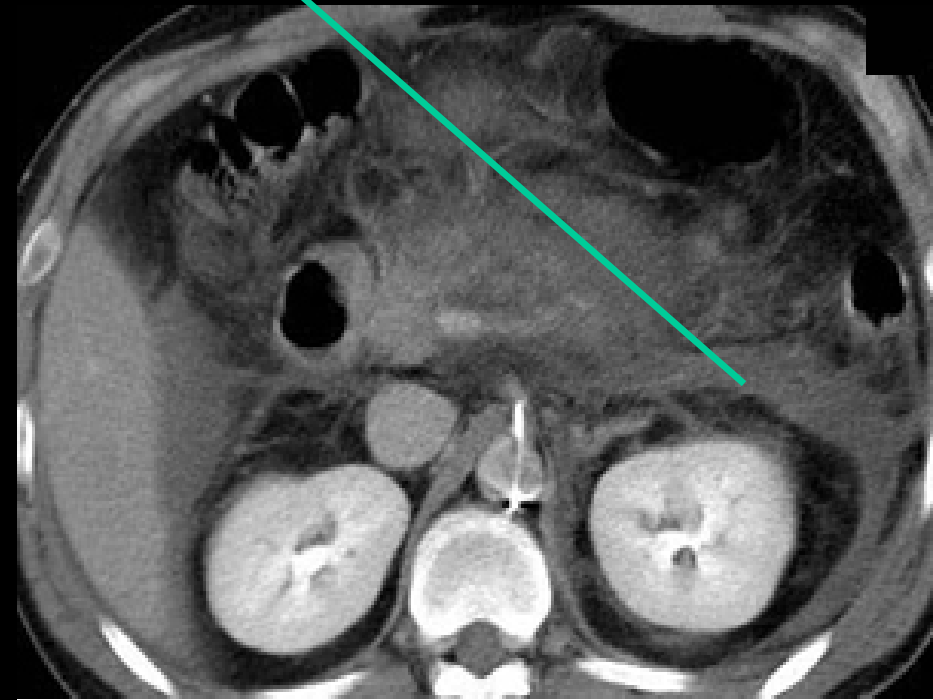
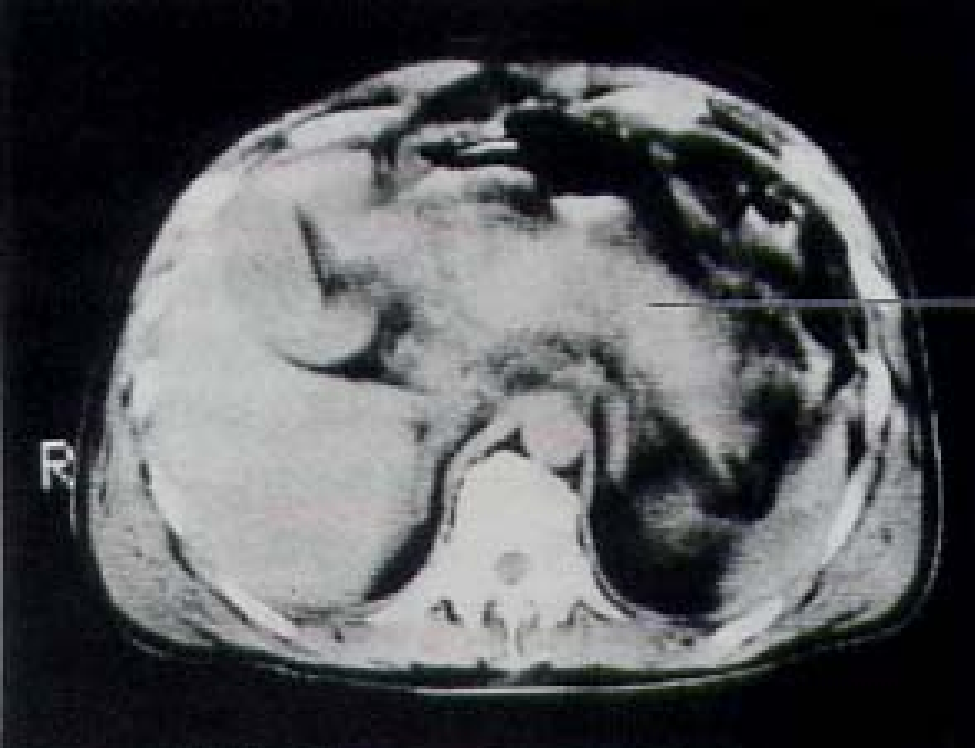
脂肪消化酵素 リパーゼ や
血糖ホルモン インスリン など
を産生する臓器



脾臓 Spleen

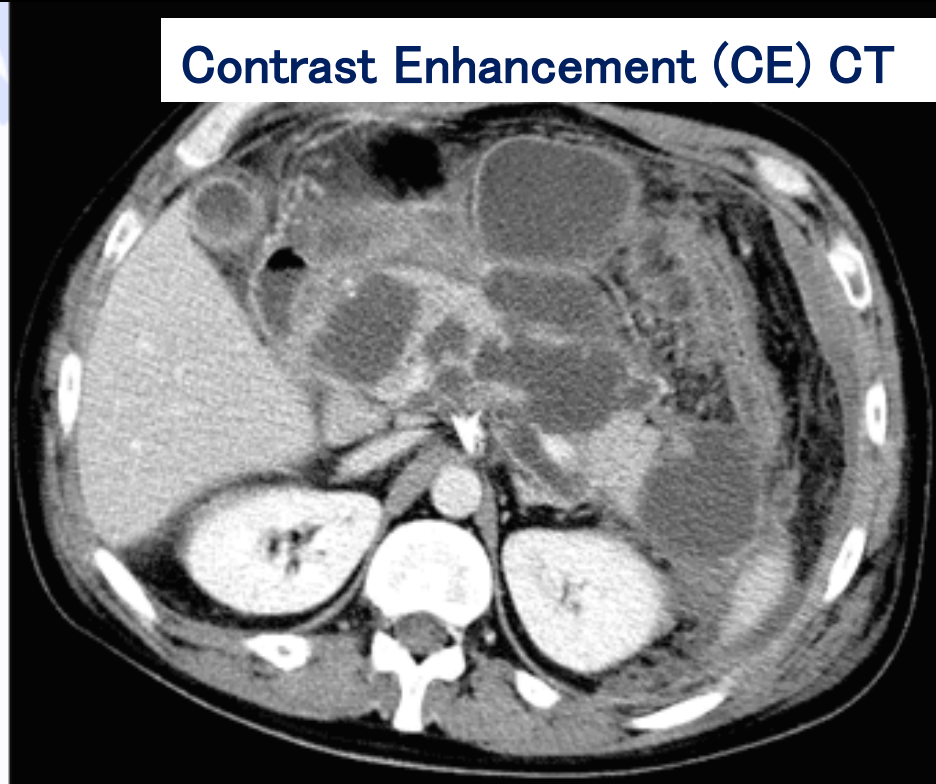
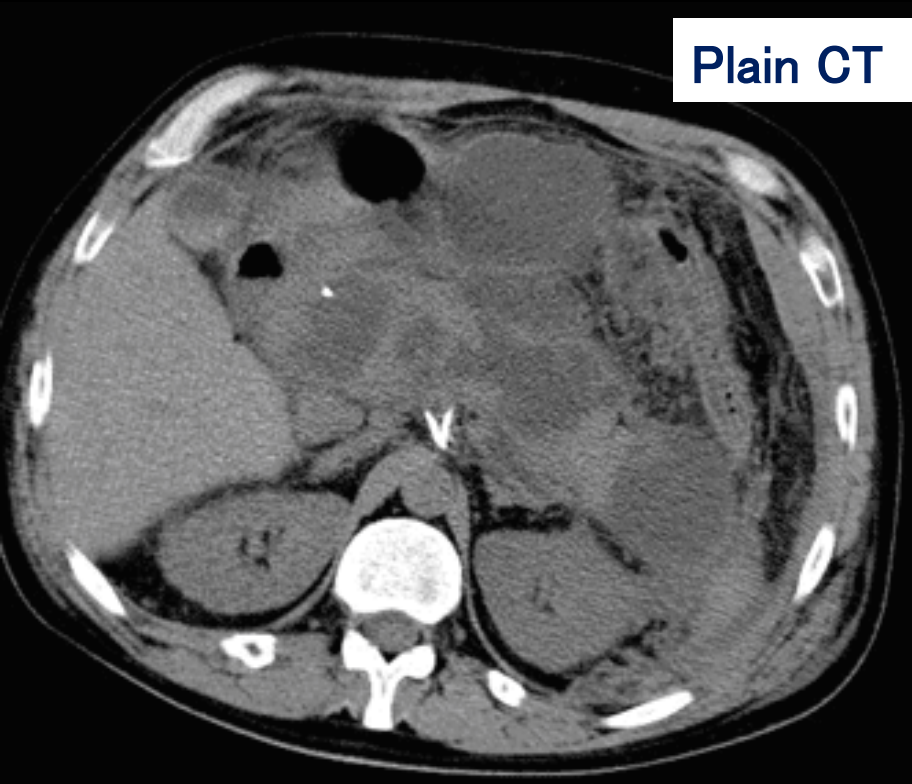
急性膵炎 acute pancreatitis

激しい腹痛、背部痛を伴う。
膵組織が、アルコールまたは胆石症で破壊され、
脂肪消化酵素が膵臓周囲の脂肪に浸潤し、
膵周囲脂肪組織の浮腫によるCT値上昇、膵辺縁不明瞭化。
前腎筋膜の浮腫、肥厚を伴う場合がある。



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。(慢性膵炎は膵内石灰化多発)

急性膵炎が重症化すると、膵内組織の壊死と膿瘍が生じる。膵内の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)。



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）。

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。

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 0.5mg筋注（大腿筋）する。
法改正により、放射線技師も注射してよい。
30万件に1件程度、死亡事故が発生する。

患者に重篤なアレルギー症状(呼吸低下、顔面蒼白)があったら、すぐ下記薬剤を筋肉注射(アドレナリン0.5 mg)

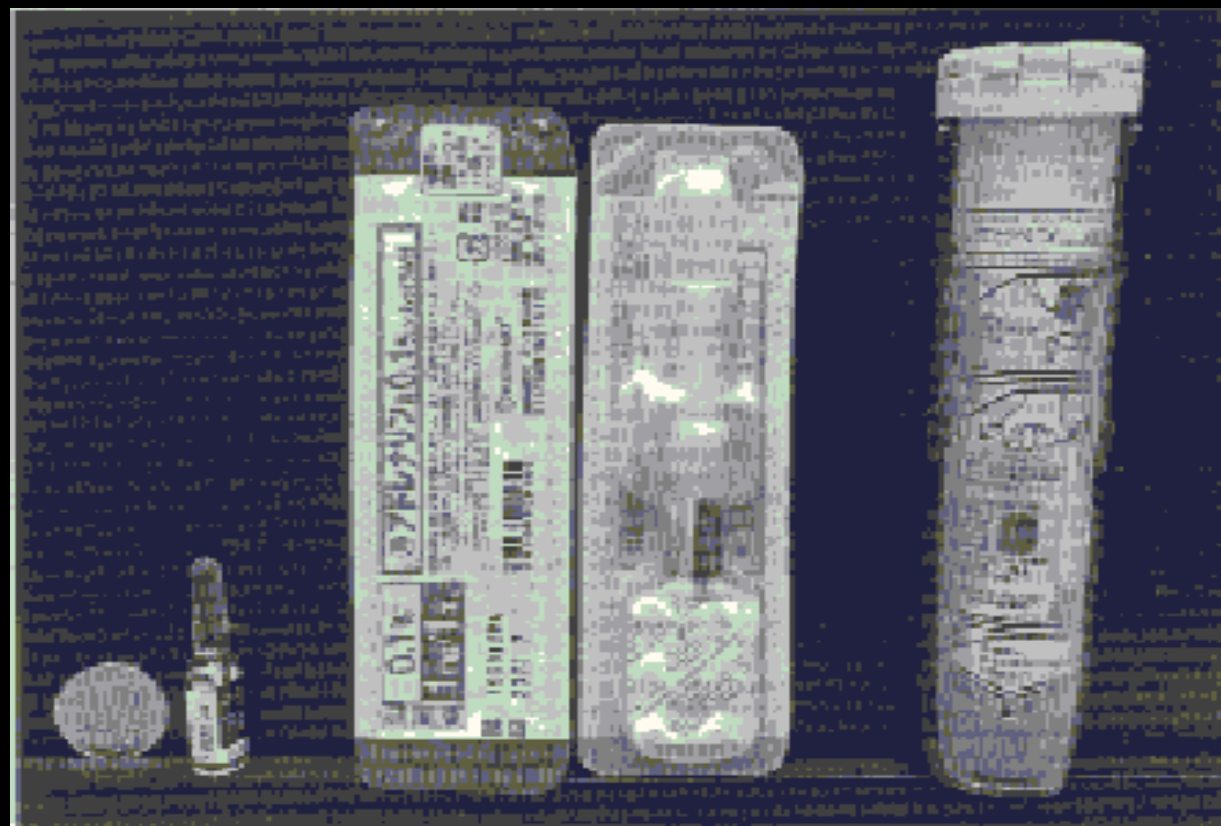


図1 アドレナリン製剤

左から、大きさ比較用の100円玉、ボスミン注1mgアンプル、アドレナリン注0.1%シリンジ(包装状態、表/裏)、エピベン注射液0.3mg(プラスチックカバー封入状態)。

アドレナリン製剤の比較

	ボスミン注1mg	アドレナリン注0.1%シリンジ 「テルモ」	エピペン注射液0.3mg
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	プレフィルドシリンジ	プレフィルドシリンジ
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ヵ月
そ の 他	・アンプルカット、注射筒内への吸引に時間がかかる ・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、0.7mg/0.7mlを正確に捨てるのが難しい	・注射筒が大きいので認識しやすい ・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)。エピペンとは2ml入り製剤ですが、0.3ml射出されます。

脂肪肝 Fatty liver

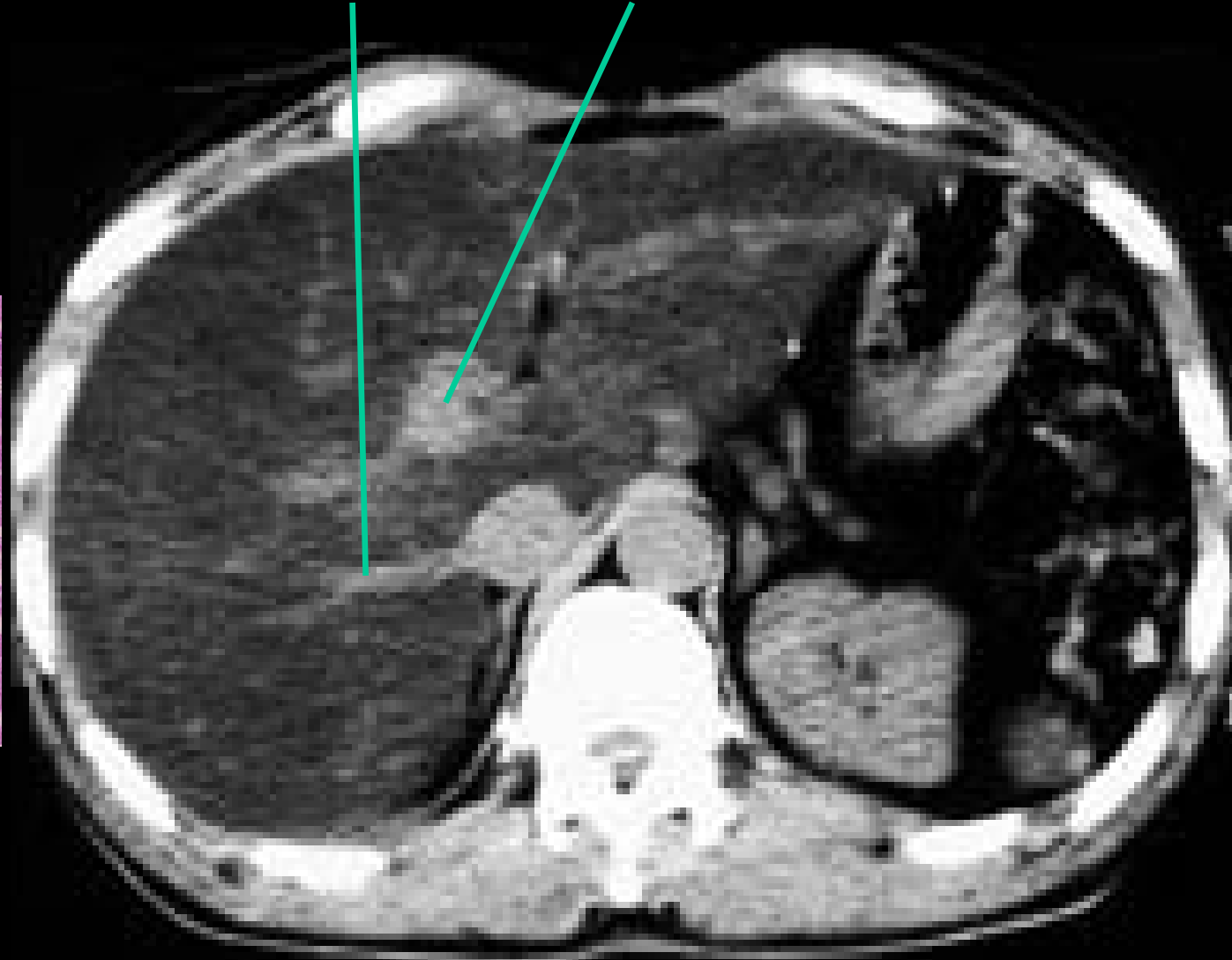
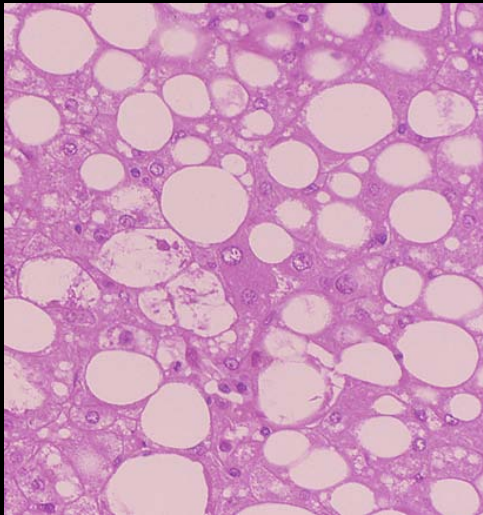
脂肪またはアルコールの過剰摂取によって肝実質に脂肪が蓄積した状態。
可逆的変化である。節制すれば正常に戻る。

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。



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

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。



被殻出血
putamen



視床出血
thalamus

脳内出血 Cerebral hemorrhage

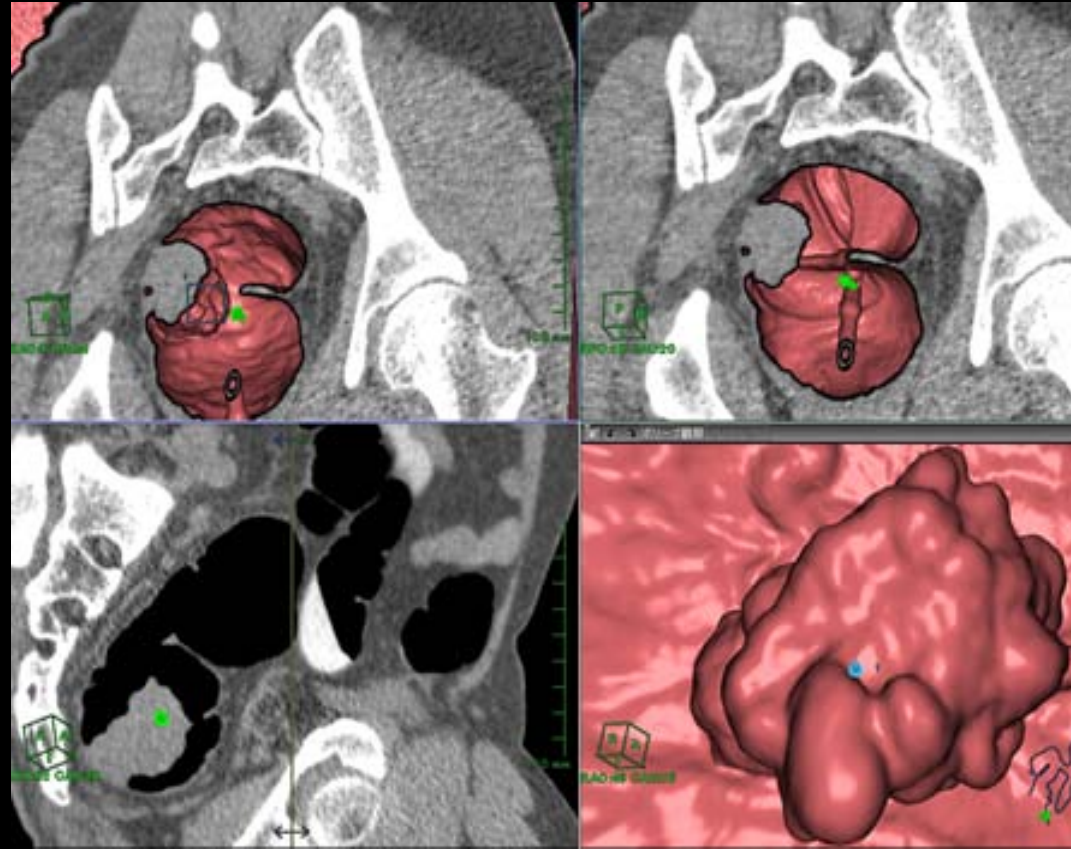
脳の白質のCT値が20～30、大脳皮質(灰白質)が30～40、血液が40～50、凝固血液が50～100なので、

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。

経口造影剤 バリウムはCTに使用しない。

1. **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滞する。
2. **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。
3. **陰性造影剤 炭酸ガス発泡剤の内服、注腸**
現在のヘリカルCTでは消化管描画に多用される。

CO₂ 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



MRI が CT よりも検出感度が高いのはどれか。
2つ選べ。

- | | |
|---------|------------|
| 1. 肺腺癌 | 4. くも膜下出血 |
| 2. 尿路結石 | 5. 前十字靱帯損傷 |
| 3. 子宮頸癌 | |

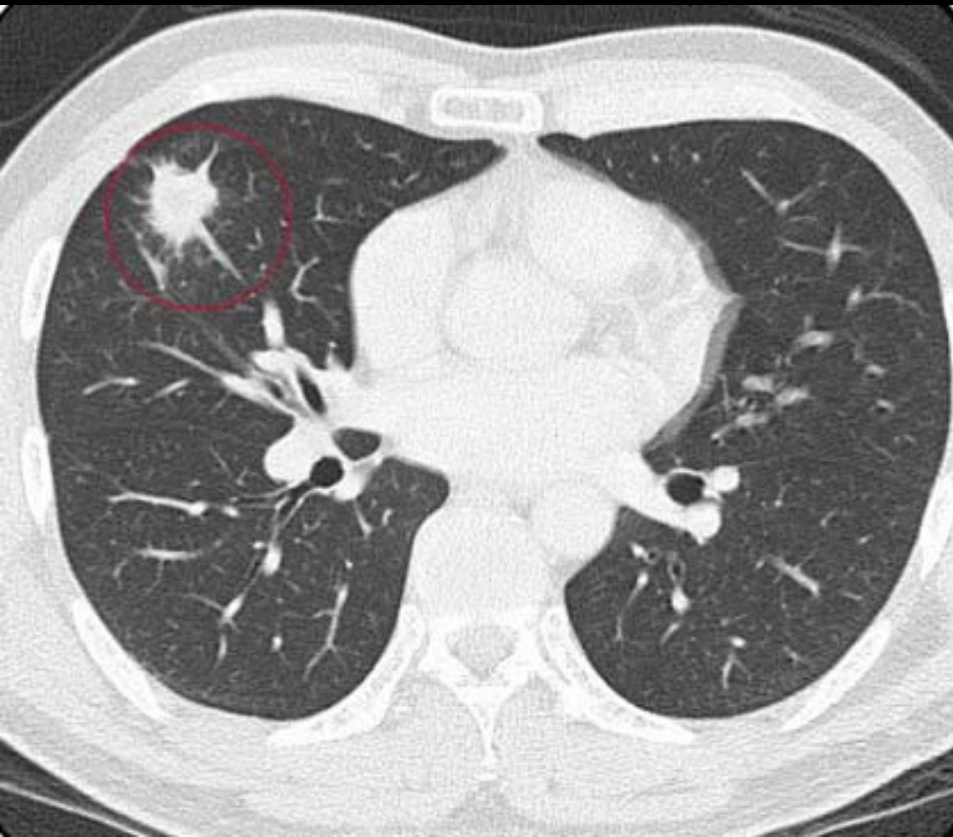
肺癌 Lung cancer

- 1. 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。
- 2. 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。
- 3. 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。

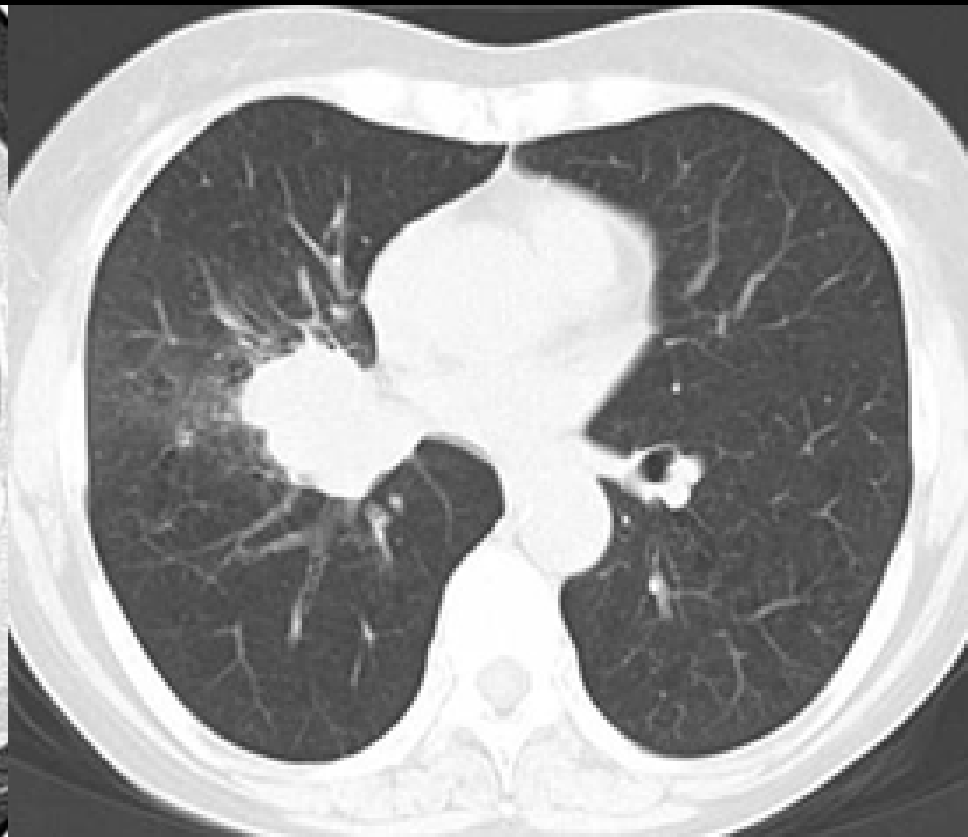
**CTでは数秒で肺の撮影が可能。
呼吸に伴う肺の動きは影響しにくい。**

**MRIでは数十秒以上の撮像時間を要し、縦隔内の
心臓や大血管内の血流も肺野の画質劣化を起こす。**

肺腺癌



肺扁平上皮癌



尿路結石 urinary calculus

80%がシュウ酸カルシウム結晶。
カルシウム含有量でCT値は変化するので
単純X線写真では診断困難な症例があるが、
尿より高吸収値なので単純CTで診断しやすい。

腎盂内結石



膀胱内結石

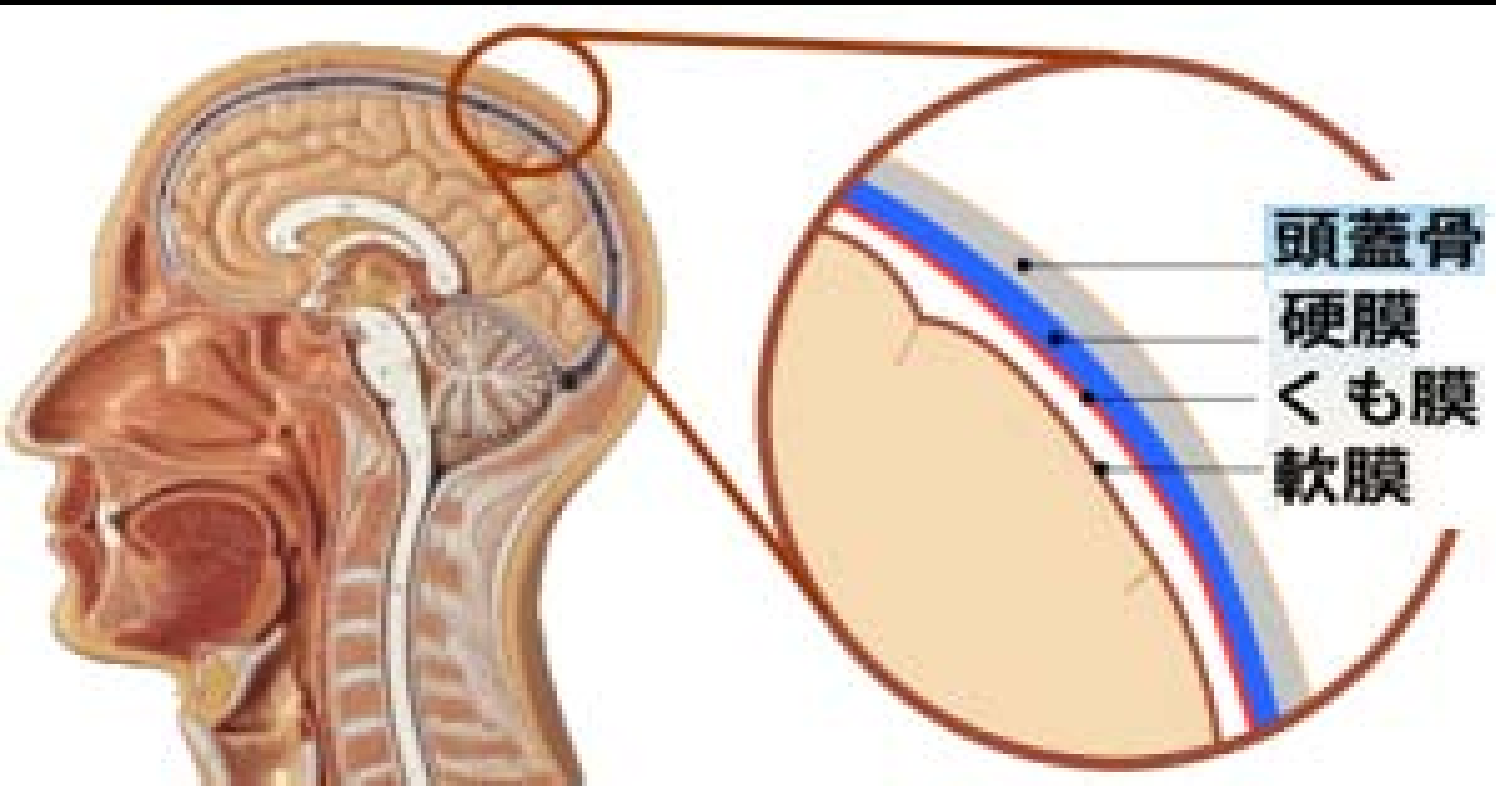


クモ膜下出血 Subarachnoid hemorrhage SAH

大脳動脈、脳脊髄液は、クモ膜と軟膜の間に存在。

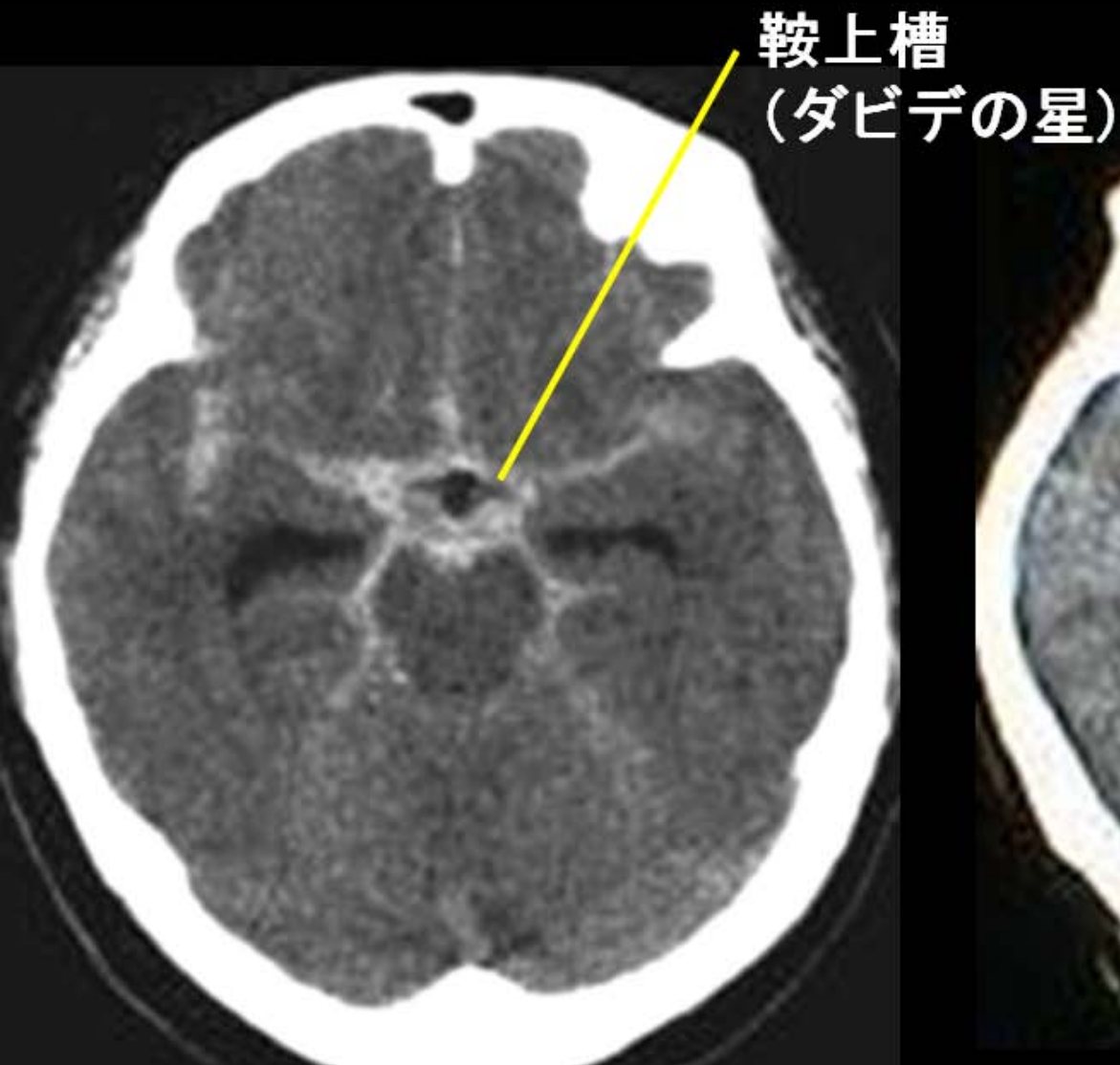
多くは脳動脈瘤の破裂(約80%)、その他に頭部外傷、脳腫瘍、脳動静脈奇形や脳動脈解離の破裂。

喫煙、高血圧、飲酒、隔世遺伝



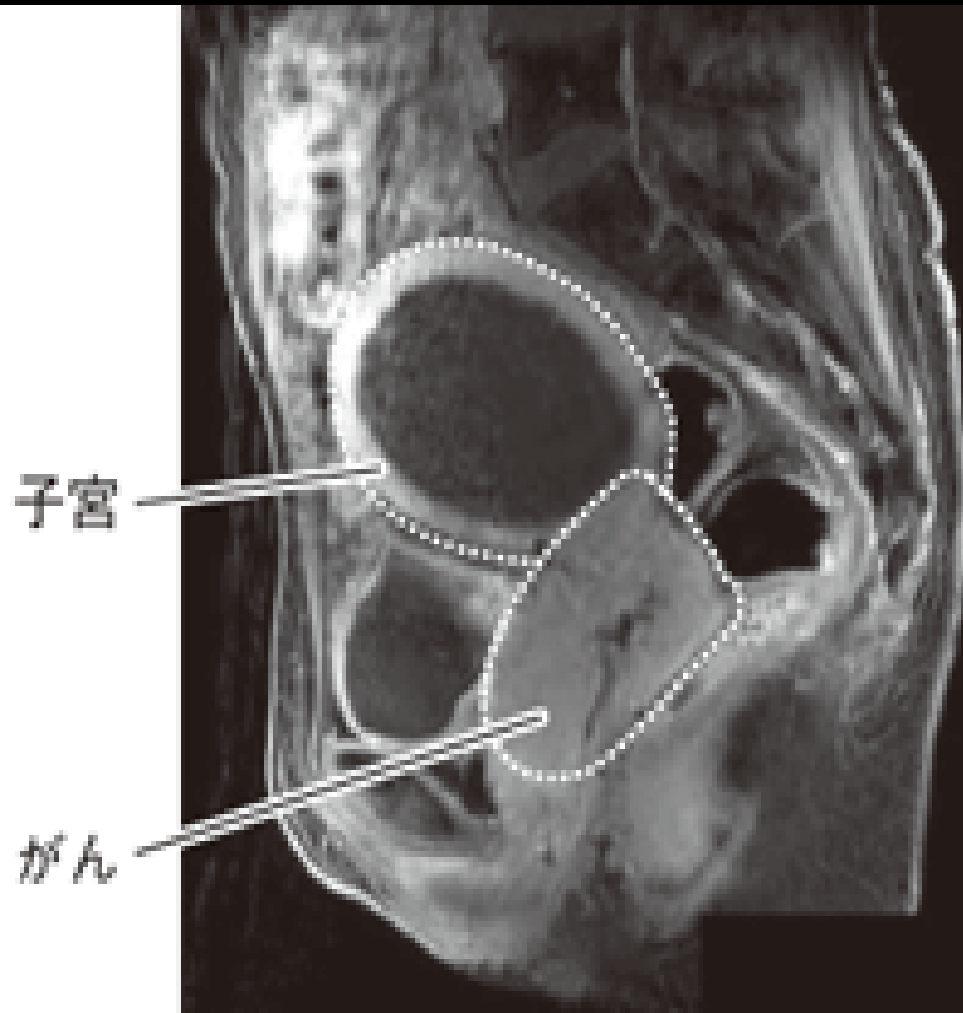
クモ膜下出血のCT像

脳脊髄液のCT値が血液の値に上昇。



子宮頸癌 Uterine cervical cancer

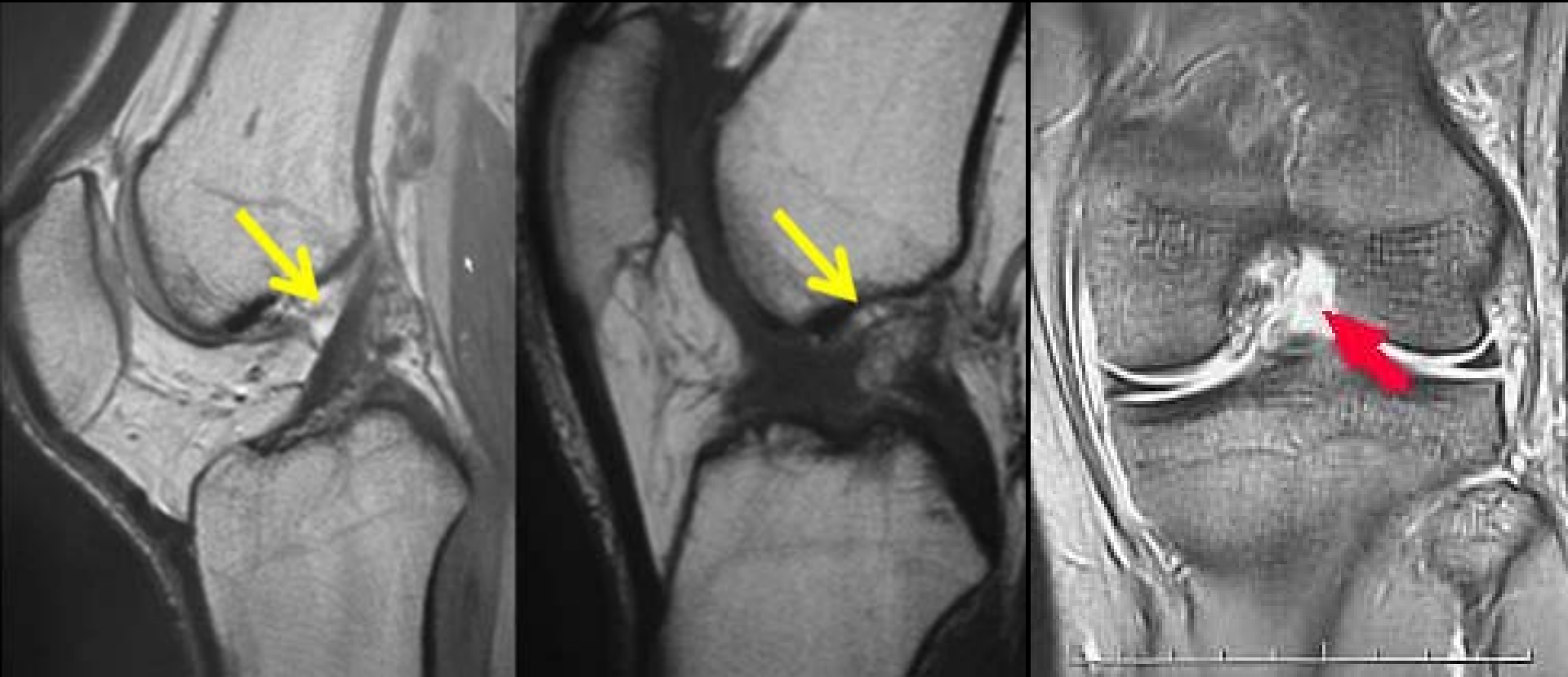
子宮病変は MRI の方が診断しやすい。



前十字靱帯 Anterior Cruciate Ligament ACL

前十字靱帯損傷など

関節内病変は MRI の方が診断しやすい。



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

椎間板ヘルニア herniated disc

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

