

□ 講 座 □

ICUにおけるX線診断の基礎 —胸部のX線・CTによる診断について—

塩谷清司* 小田切邦雄* 安藤和夫*

ICUにおけるX線診断に役立つ基礎的な解説のテーマとして、本編ではX線画像の成り立ちおよび比較的新しい検査法のいくつかを取り上げてみたい。

1. X線画像の成り立ち

X線画像とは被写体コントラスト (subject contrast) すなわちさまざまな組織を通過してフィルムに達するX線量の差をフィルム上の濃度差すなわちX線画像コントラスト (radiographic contrast) として描出した画像である (図1)。

X線画像上の陰影は基本的にX線の透過性の高い (= X線吸収が少ない = フィルム上で黒く写る) ものから順に、

1. 空気濃度 (air density) : 気管, 気管支, 肺内のガス
2. 脂肪濃度 (fat density) : 皮下の脂肪
3. 水または軟部組織濃度 (water or soft tissue density) : 心臓, 大血管, 肺血管, 縦隔, 横隔膜
4. 金属または骨濃度 (metallic or bone density) : 骨, 石灰化, 重金属 (手術用金属ベツ, 造影剤)

に分けられる (金属濃度と骨濃度を分ける場合もある)。X線吸収係数が同じ組織が接している場合, X線画像で両者の境界は描出されない (= シルエットサイン, 図2)。血管, 尿路, 胆道, 消化管などのX線吸収係数を人為的に変化させて, 周囲の組織との間にコントラストをつけるのが各種の造影検査である。

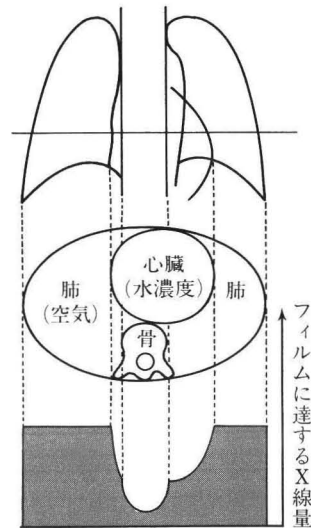


図1 X線コントラスト

X線写真は体内の組織のX線画像コントラストから成り立っている。陰影は基本的にガス濃度, 脂肪濃度, 水または軟部組織濃度, 金属または骨濃度の4つから成り立っている。横線部分においてフィルムに達するX線分布は下段のヒストグラムのようなになる。これがフィルム濃度に反映される。骨や縦隔の輪郭がフィルム上で認識されるのは, X線量 (フィルム濃度) で段差のある部分にコントラストがつくためである。X線写真は普通一般の写真からすると陰画 (ネガ) に相当する。フィルムに達するX線量が多いほど感光が大きくなり, 黒く写ることになる。

2. シルエットサイン (silhouette sign)

シルエットサインとは, 心辺縁や横隔膜などに接する肺の空気が肺炎・無気肺など同じ水濃度の物質で置換されて, X線上, これらの構造の輪郭が消失することをいう (図3)。シルエットサインは病変の位置判定に役立つ。すなわち, 心の辺

* 神奈川県立がんセンター放射線第1科

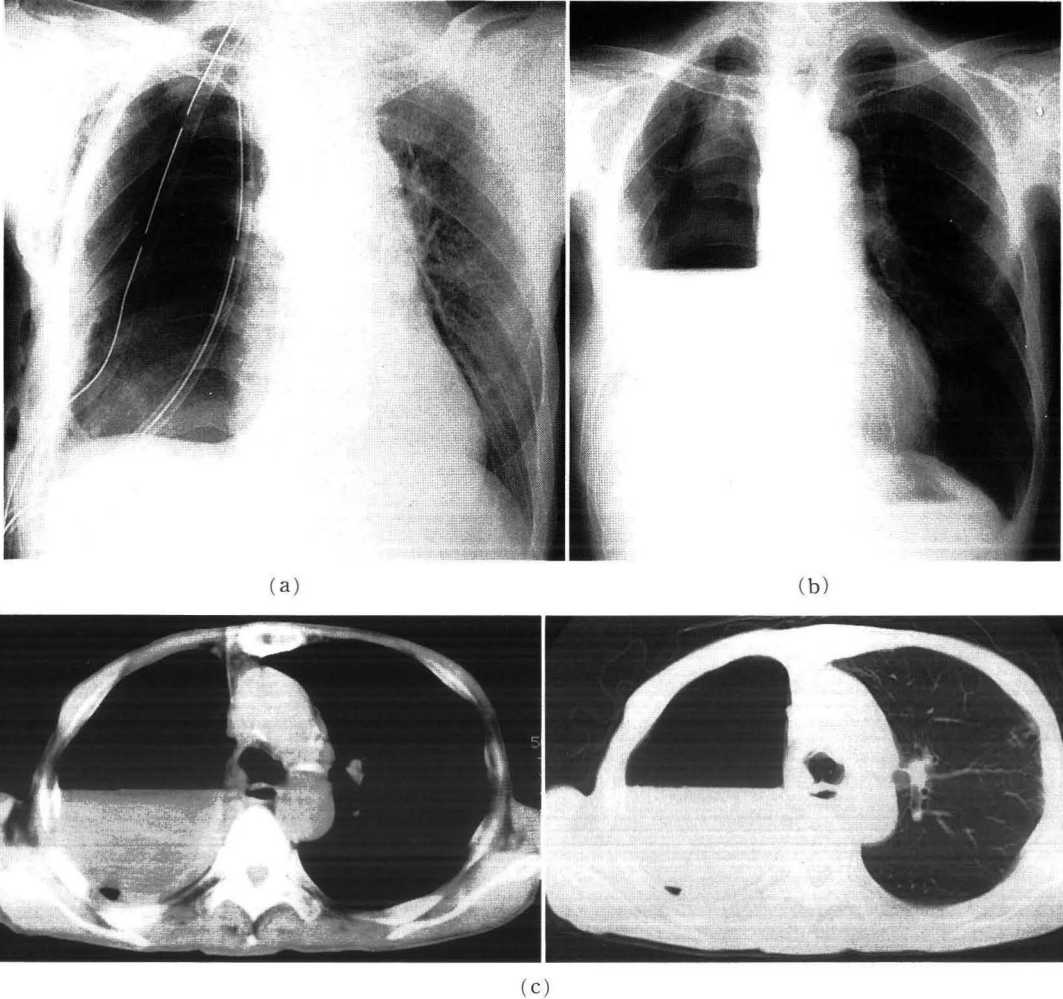
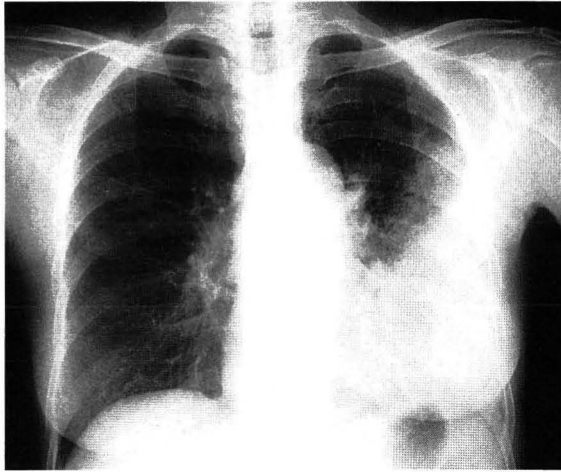


図2 シルエットサイン陽性の基本モデル

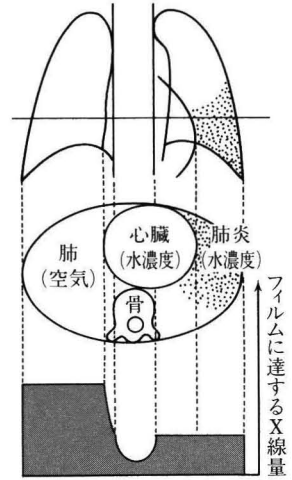
- (a) 右肺全摘直後のX線写真：ドレーン留置状態。右胸腔には空気しか存在しない。
- (b) 1週間後のX線写真：右胸腔半分の高さにまで胸水（滲出液、フィブリン、血液など）が貯留しており、心臓の右辺縁のシルエットは消失している。
- (c) (b)と同日に撮影されたCT（大動脈弓レベルでの縦隔条件と肺野条件）：右胸腔半分の高さにまで胸水が貯留している（X線写真は立位、CTは仰臥位で撮影されることに注意）。

縁を消失させる陰影は病変が心に接する腹側（左右葉，左上葉舌区）にあることが示唆され，消失しなければ心より背側（下葉上区）の病変であることが分かる。上葉が陰影化すれば上縦隔の辺縁が消失する。下葉の病変では横隔膜の辺縁が不明瞭となる。また，シルエットサインはとくに心陰影と重なった下葉の病変の存在診断にも有用である。

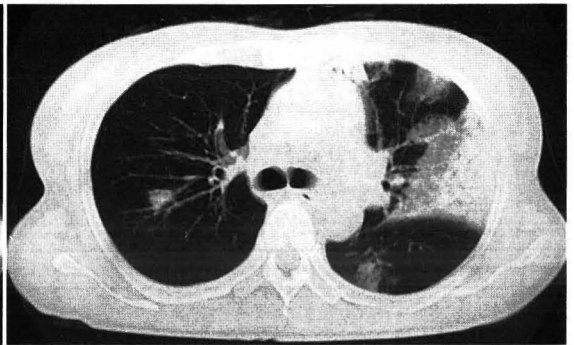
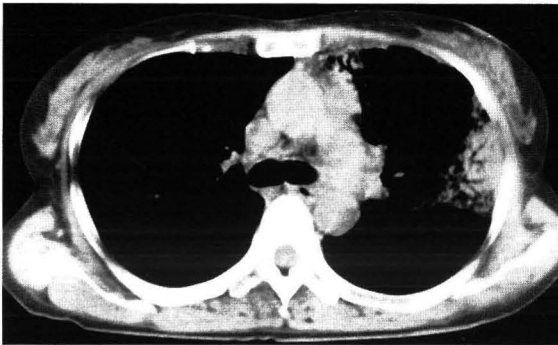
肺血管についてもシルエットサインを応用して，肺病変の発見および肺外性陰影と肺病変の鑑別に役立てることができる。肺野の陰影によって肺血管が消失していれば，病変は肺内にあることが分かる（これを肺血管のシルエットサイン陽性と呼ぶこともある）。逆に，明らかな陰影に重なって肺血管陰影が認められる場合，その陰影は胸水および胸膜腔や胸壁腫瘍など肺外の原因によ



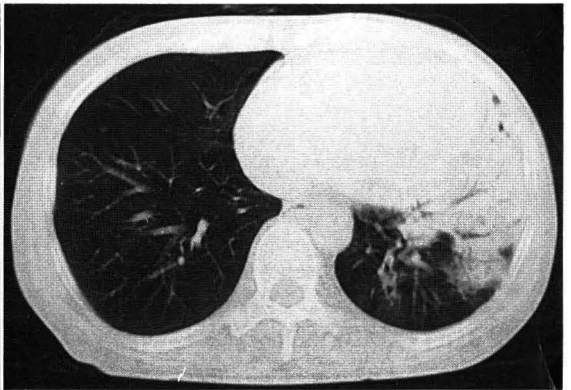
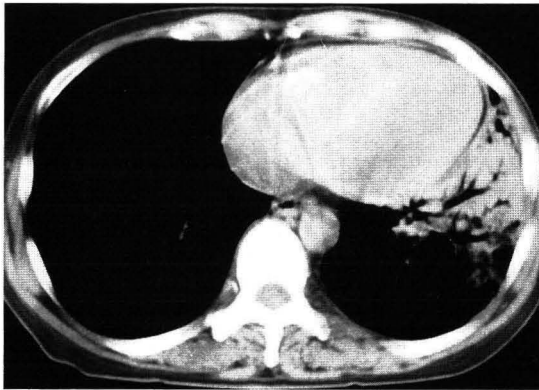
(a)



(d)



(b)



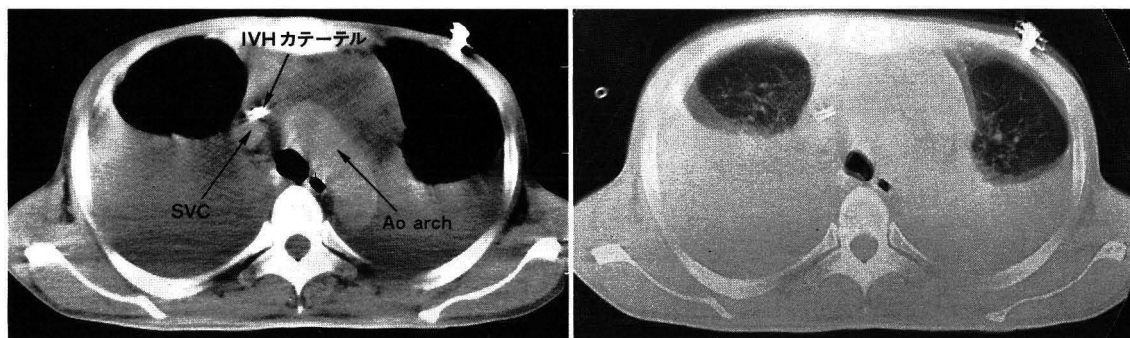
(c)

図 3 シルエットサイン陽性例 (肺炎)

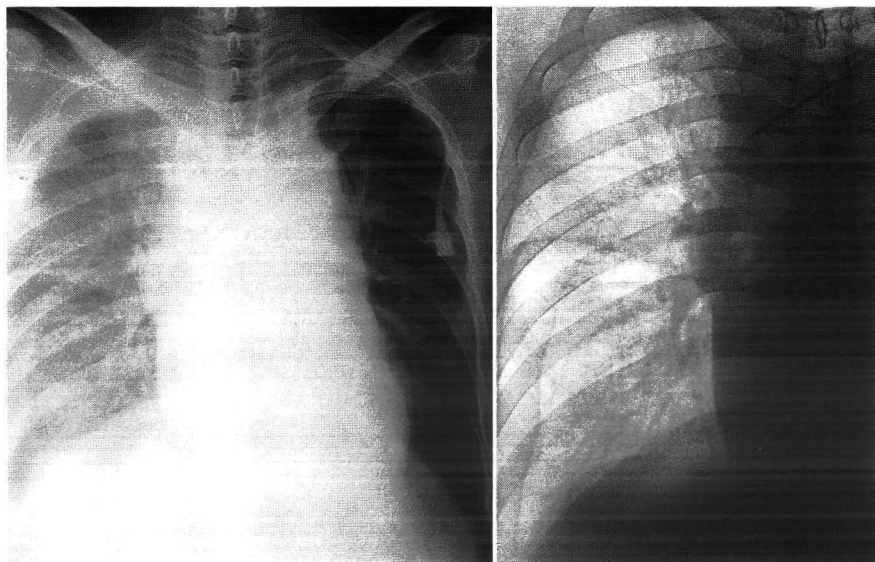
(a) X線写真：左中～下肺野にかけて気管支透亮像を伴った不均一な濃度上昇領域があり、心臓の左辺縁は認められない (シルエットサイン陽性)。また、この領域の肺血管は認められない (肺血管のシルエットサイン陽性)。

(b)(c) CT (気管支分岐部と左心室それぞれのレベルでの縦隔条件と肺野条件)：左上葉に気管支透亮像を伴った濃度上昇を認める。気管支分岐部レベルでは、上葉と下葉の境界が明瞭に示されている。CT にも心臓と濃度上昇領域は同じような濃度 (水または軟部組織濃度) を持ち、左心室レベルで接している。両者は心膜下脂肪の存在により区別される。

(d) X線コントラスト：肺炎 (水濃度) によりフィルムに達するX線量は縦隔 (水濃度) と同じ程度にまで減少する (両者間にコントラストがつかない)。



(a)



(b)

(c)

図4 血管影のシルエットサイン (IVHカテーテルの位置不良による輸液の胸腔内貯留)

(a) CT (大動脈弓レベルでの縦隔条件と肺野条件)：IVHカテーテルは上大静脈内になく縦隔に迷入している。輸液が行われたため縦隔と両側（とくに右）胸膜腔内に液体が貯留している。

(b) X線写真：背臥位ポータブル撮影。CT所見に対応して縦隔陰影は拡大し、両肺野全体、とくに右肺野の透過性が減少しているが、肺陰影に重なった部分でも右肺血管陰影は認められている。同じ水濃度である血管と肺野の異常陰影が重なっている場合、血管のシルエットが認められれば、異常影とその血管は離れて存在する（この例では肺血管は肺内で、胸水は肺外）。逆に血管のシルエットが消失してなくなる場合、その血管の位置に異常影が存在することになる（図3）。

(c) X線写真：(b)の所見が分かりやすいように画像処理を施した。

るものであることが示唆される（図4）。

3. エアブロンコグラム (air bronchogram)

いずれも空気濃度を示す末梢の気管支と肺胞は、正常の肺ではコントラストがつかないため、区別できない。しかし、肺胞性病変 (alveolar

or air-space consolidation) や末梢性気道閉塞による無気肺のために、肺胞内の空気が水濃度の組織で置き換わっている場合、肺陰影内に気管支内の空気が樹枝状の透亮像を呈することがある。これをエアブロンコグラムと呼ぶ。エアブロンコグラムは肺野の陰影が肺内にあることを確実に示す

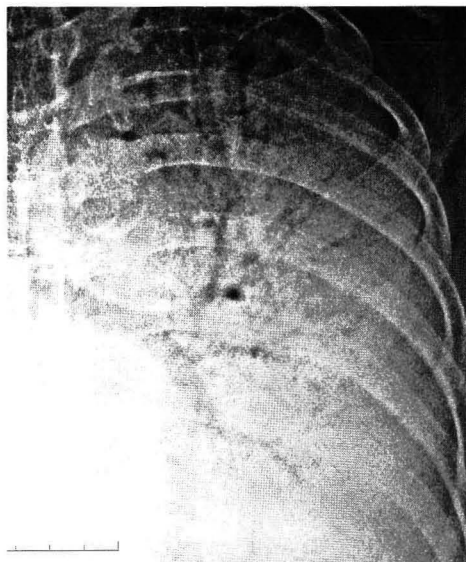


図 5 エアブロンコグラム

図 3 と同一症例。エアブロンコグラムを際立たせるために画像処理を施した。

所見としても重要である (図 5)。

4. CR [コンピューテッドラジオグラフィー (computed radiography)]

CR はわが国で開発されたデジタルラジオグラフィー、すなわちレントゲン画像をデジタル化する検査の一方式である。CT、超音波、MR などはいち早くデジタル化されていたが、単純 X 線撮影系も 80 年代に登場した CR によってようやくデジタル化の時代に入った。従来のフィルム法との違いは、X 線に対するセンサーとして X 線フィルムや増感紙の代わりにイメージングプレート (IP) というものを使用することである。IP の表面にはハロゲン化バリウムを主成分とする結晶が塗ってある。X 線に曝射した後にこれをレーザービームでスキャンすると、入射した X 線量に応じて発光する (これは輝度蛍光現象と呼ばれる)。CR では、この光を電気信号に変え、さらにデジタル信号に変換し、画像処理を行う。読影に供される画像は、この画像情報をもとに、フィルムをレーザー光でスキャンして作られる (図 6)。

CR には、① フィilm法と違って任意の濃度特性曲線が選択できる、② 種々の画像処理が可

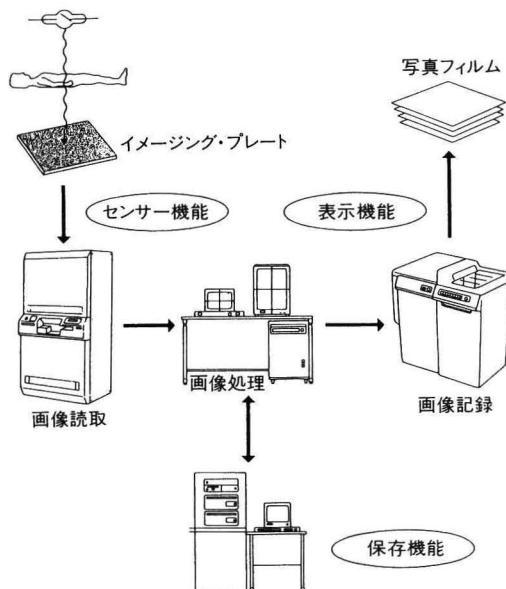


図 6 CR システムの概要

ポータブル撮影のさい背中にカセットを入れて撮影するが、CR ではこの中にフィルムは入っておらず、代わりにイメージングプレートが入っている。

(臨床画像 5(7) : 9, 1989 より図 2 を許可を得て引用)

能である、という特徴がある (図 7)。① によって透過 X 線量の多い肺と少ない縦隔部を同一画面上に鮮明に表示できる。画像処理のうちで、濃度とコントラストの調節により低線量での撮影が可能である。また、撮影条件の誤りも濃度補正で修正でき、再撮影の回数を減らすことができる。これらの特性は、撮影条件の設定の困難なポータブル撮影でとくに有用である。通常フィルム法に近い画像と周波数処理や白黒反転などの処理をした画像の 2 枚が同じフィルム上に表示される。空間周波数処理によって辺縁強調効果 (edge enhancement) を出した画像は気道などの観察に適している。直線的な特性曲線を用いた白黒反転画像では、心陰影と重なった部分の椎骨や肺血管陰影が見やすい。画像処理のパラメータやおよその線量を反映するシステム感度は、CT などと同様にフィルムの欄外に表示される。CR の画像処理はパラメータが多く、選択の幅がきわめて大きい。また、CR は濃度補正ができるため、低線量で撮

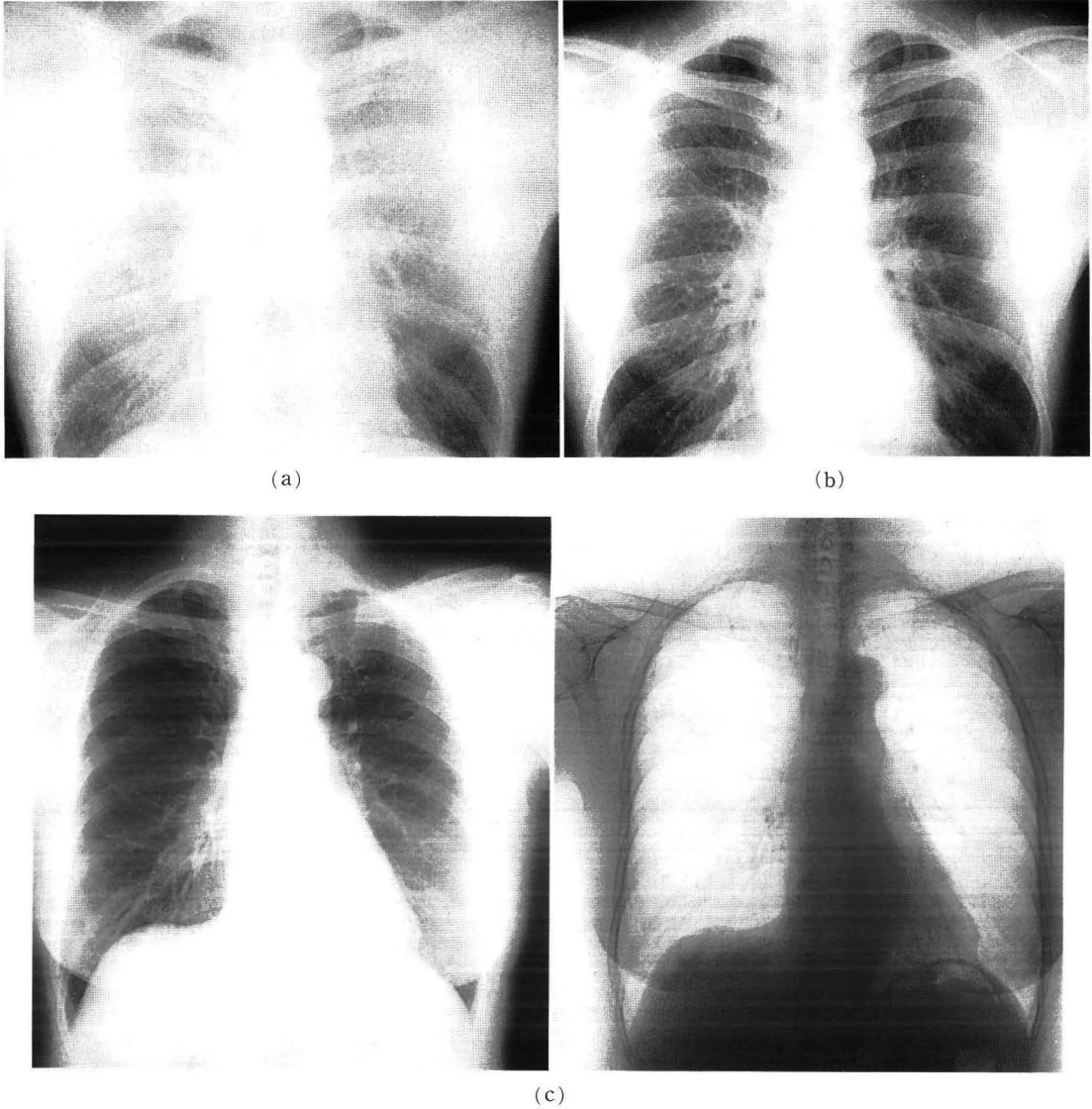


図 7 従来法とCRとの比較

(a) 単純X線写真（従来法）：適正線量の1/4で撮影した。肺野は全体に白く、診断には使えない。

(b) 単純X線写真（CR）：(a)と同一症例。適正線量の1/4で撮影した。全体にいくぶんザラザラした感じはするが、一応は診断にも使える。

(c) CRのフィルム：サイズはB4判相当である。被写体部位の大きいものは縮小されるが、診断上十分受け入れられている。診断を容易にするため、原則として同一フィルムに画像処理条件の異なる2枚の画像を左右に並べて出力する。左画像は通常のX-pフィルムに近い画質のもの、右画像は処理を行ったものである。

CRには、画像処理により従来のフィルムに比べて観察可能領域が非常に広い、コンスタントにいい写真が撮れる、被曝が少ないなどの利点がある。麻酔科領域の画像ではポータブル撮影の占める割合が大きく、従来の方法では診断に適する良い画像を得ることは困難な場合が少なくなかったが、CRの導入により撮影条件が悪い場合でも画像処理によって読影可能な良い写真を撮ることができるようになった。

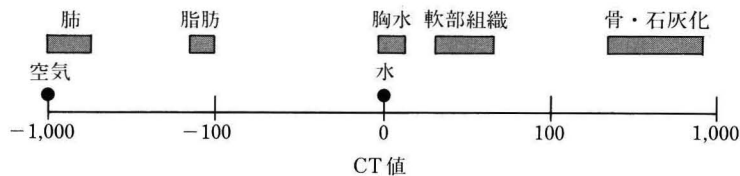
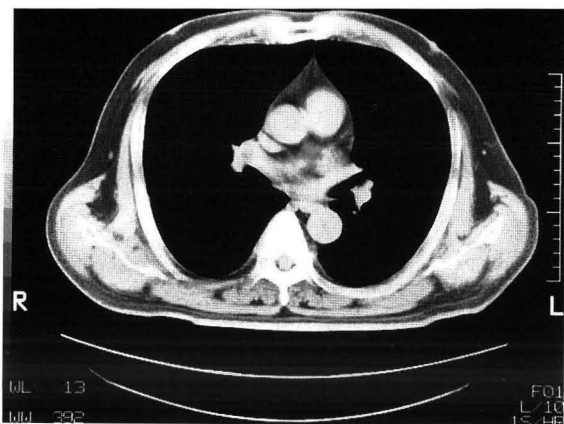


図 8 各組織の CT 値

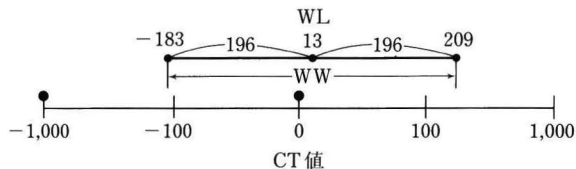
空気の CT 値はその定義から -1000 である。肺のほとんどは空気だが、実質成分の存在によりその CT 値はやや高くなる。また、純粋な水の CT 値もその定義から 0 だが、生体内に純水はありえず、胸水などは 0 よりも少し大きな CT 値を示す。脂肪の CT 値は -120 前後、骨・石灰化の CT 値は一般に 500 以上である。CT 画像では、この CT 値の小さい方から大きい方に向かって黒→灰→白のグレースケールで描出する。



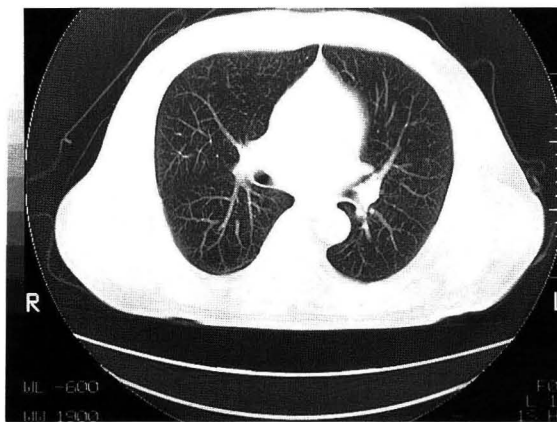
(a)

図 9 縦隔条件と肺野条件

胸部の CT 画像は、肺、軟部組織および骨組織などのさまざまな吸収値の構造物を含んでいるが、これらの構造を観察するには、画像表示を変えることによって、もっとも必要な領域の画像を選択しなければならない。そのためにはウインドウのレベル (WL) と幅 (WW) の設定が必要である。ウインドウ幅は画像表示にさいし選択する CT 値の範囲で、ウインドウレベルは選択した CT 値の範囲の中央の値である。例えば、縦隔条件 (a) での WL 13, WW 392 という表示は、レベルを CT 値 13 に合わせ、その両側にそれぞれ 196 (=392÷2) ずつ幅をとったということである (b)。肺野条件 (c)、骨条件 (d) も同様。通常の胸部 CT では、主に肺野を見るための肺野条件と主に縦隔を見るための縦隔条件の 2 つの画像表示を行う。



(b)



(c)



(d)

影しても通常の黒化度の画像を得ることができ
る。しかし、詳しく観察してみると、X線線量の
低減法は、当然、粒状性や細部の描出不良などの
画質低下を伴う。線量低減の程度およびとくに右
画像の処理法については放射線科医および放射線
技師とともに検討し、臨床現場の要望を反映させ
るべきである。

5. CT

1) CTの特徴

CTはコンピュータを用いて被写体のわずかな
X線吸収差を拡大して肉眼での識別を可能化した
装置である。CTの特徴は、三次元構造物を重なり
のない断面で描出でき、また単純X線写真と比較
してその濃度分解能が高いことである。例えば
X線像であれば縦隔も胸水もすべて水濃度（また
は軟部組織濃度）を示すが、CTでは軟部濃度の
大血管、心臓と水濃度の胸水などが区別できる。
縦隔内脂肪など脂肪濃度の組織も明瞭に描出され
る。静注された造影剤は通常のX線撮影では写ら
ないが、CTでは血管と周囲の軟部組織ははっき
り区別できる。このような特性からCTによって
肺陰影、腫瘍、液体貯留などの病変の正確な形
態、広がり、周辺臓器との関係、内容（空洞石灰
化、脂肪、液体、vascularity）、肺の含気の評
価、カテーテルやチューブ類の正確な位置評価な
どに、きわめて重要な情報を比較的侵襲的に得

ることができる。したがって、患者の状態が許せ
ば集中治療室の患者にもCT検査の適応のある例
は少なくない。

2) window

X線の透過性の程度をCTではCT値というス
ケールで表現する。CT値は水を基準物質として
0を与え、空気を-1000として定めたX線吸収値
の尺度であり、臨床目的のための単位である（図
8）。胸部のCT画像は、肺、軟部組織および骨組
織などのさまざまな吸収値の構造物を含んでいる
が、これらの構造すべてを1枚の画像で表示する
と、人間の目ではわずかな濃度差を識別できな
い。したがって、一定範囲のCT値の幅をとりグ
レースケールで表示する。そして、それより高い
CT値を有するものはすべて黒として、低いCT
値のものは白く表現される。この幅をウインドウ
幅（window width：WW）、中心の値をwindow
level（WL）と呼び、画面の欄外に表示される。
通常の胸部CTでは、主に肺野を見るための肺野
条件と主に縦隔を見るための縦隔条件の2つの画
像表示を行う（図9）。

結 語

以上ICUで接するX線画像の成り立ちについ
て解説した。実際の読影にさいしては、基本的な
原理の理解が必要である。