

胸部画像理解のために

編集：岡山胸部塾

胸部 X 線 CT 画像を理解し読み解くために

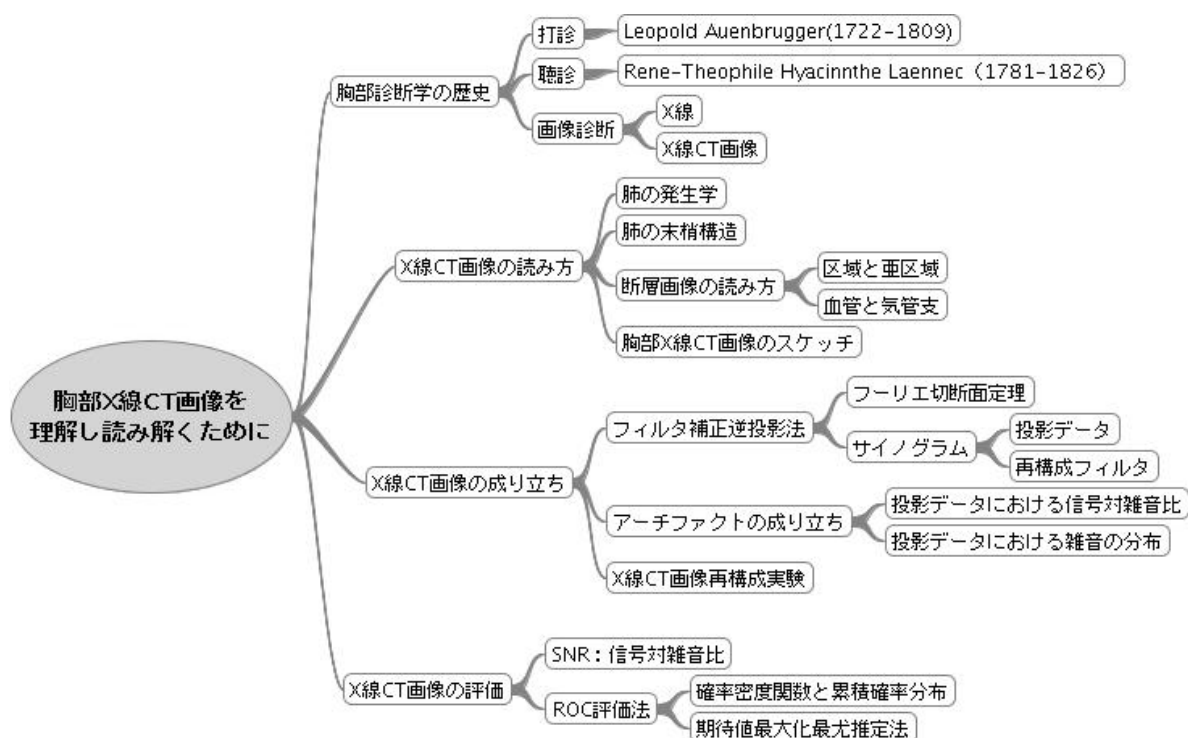


図 1 胸部 X 線 CT 画像を理解し読み解くためのマインドマップ

まず、本稿の紹介を簡単に述べる。導入部では、胸部 X 線 CT 画像の理解に必要であると考えている項目をマインドマップを用いて表す。本稿は導入部のマインドマップに基づいて各章を組み立て、第 1 章 胸部 X 線 CT 画像の読み方、第 2 章 肺の構造、第 3 章 フィルタ補正逆投影法とストリークアーチファクト、第 4 章 画質評価の 4 章で構成する。

第 1 章では日常の業務で心がけていること、実際の X 線 CT を撮像における要点を絞って解説する。この章の内容は最も何よりも伝えたい内容である。また、文面から、著者がどのような失敗を犯し、修正してきたかその経緯を探ることができるであろう。第 2 章および第 3 章では胸部 X 線画像を理解するための基礎知識をまとめている。第 2, 3 章は参考文献のほぼ写しである。最終章においては計算機実験を織り交ぜて SNR による画質評価を解説する。マインドマップでは ROC 評価を重要度の高い位置に掲げているが、現在は、未だ WORK IN PROGRESS の域であり、内容をまとめるに至っていないため割愛する。

田淵真弘

目次

第 1 章	胸部 X 線 CT 画像の読み方	1
1.1	胸部 X 線 CT 画像の撮り方と見かた	1
1.1.1	位置決め	1
1.2	X 線 CT 画像の読み方	2
1.2.1	断層画像の読み方と盲点	2
1.2.2	胸部 X 線 CT 画像の読み方	2
1.2.3	胸部 X 線 CT 画像において一体何が見えるか	3
1.2.4	気管支内および肺野との独立した読影の勧め	6
1.2.5	X 線 CT axial 画像における気管の見え方	8
第 2 章	肺の構造	11
2.1	概略	11
2.2	キーワード	12
2.3	気管支と肺の発生	15
2.4	肺胞の発生	17
2.5	肺の小循環	18
2.6	小葉	20
2.6.1	二次小葉と細葉に関する概念の歴史的推移	20
2.6.2	二次小葉とその構成要素	24
第 3 章	気管支体操を利用する肺区域の覚え方	27
3.1	目標	27
3.2	肺の解剖	27
3.2.1	気管，気管支の構造	28
3.2.2	小葉，細葉の構造	29

3.2.3	肺胞の構造	30
3.3	胸部 X 線 CT 画像および気管支体操	31
3.3.1	X 線 CT 三次元再構成画像および X 線 CT 軸位断面像で見る気管 支樹	31
3.3.2	気管支体操	33
第 4 章	フィルタ補正逆投影法とストリークアーチファクト	35
4.1	フィルタ補正逆投影法	35
第 5 章	画像評価	41
5.1	X 線 CT 画像における雑音の特徴	41
5.2	SNR	42
5.2.1	スライス厚および SNR との関係	42
5.2.2	微細構造陰影検出時の thin slice 画像におけるスライス厚および SNR との関係	44
5.2.3	計算機実験	44
参考文献		47

第 1 章

胸部 X 線 CT 画像の読み方

1.1 胸部 X 線 CT 画像の撮り方と見かた

1.1.1 位置決め

胸部 X 線 CT 検査においては、まず scanogram と呼ばれる位置決め画像を撮像する。次に scanogram を用いて撮像断面を決定する。図 1.1 に scanogram を示す。スライス厚は施設ごとに設定され、通常 10mm ~ 5mm が使用される。スライス厚が小さいほど、スライス間の量子化誤差および部分容積効果の影響は小さくなる利点がある。しかしながら小さなスライス厚を小さくすれば画像枚数が多くなり、読影および保存において不利にな



図 1.1 胸部 X 線 CT 検査におけるスキャノグラム
(右上腹部においては肝臓の構造が均一であるため右下葉下端を確認し易い)

る可能性があるため各施設ごとに最適な撮像プロトコルを採用する。

通常，肺尖から下葉下端までを撮像範囲とする．このとき scanogram における濃度階調を適切に調節し，両肺下葉下端を確認することが大切である．実際，左上腹部においては胃および腸管内の空気が左下葉と重なり観察し難いため，右上腹部における肝臓領域（コントラストが均一な領域）において右下葉下端を確認し，これを肺下葉における尾側最下端の指標とする場合が多い（fig.1.1 両矢印線）．

1.2 X 線 CT 画像の読み方

本節では胸部 X 線 CT 画像を元に断層撮影の基本的な読影方法を述べる．

1.2.1 断層画像の読み方と盲点

図 1.2 に連続した断層画像を示す．一般的な断層画像の読影は，ある方向に直交する被写体の断面を一定間隔で追跡することにより，被写体の立体構造を分析することである．しかしながら，本手法は断層面に平行な被写体の変化を認識し難い欠点を併せ持っており，盲点を心得て読影を行う必要がある．問題解決の方法として，薄いスライス厚と短い撮影間隔を用いた画像（thin-slice image）および直交多断面再構成（orthogonal multiplanar reconstruction: OMPR）の活用が挙げられる．

このような事例は胸骨骨折の断層像を作成する場合，よく遭遇することであろう．図 1.3 に胸骨骨折患者の X 線 CT 画像を示す．(a)，(b) および (c) はそれぞれ軸位断面画像，冠状断面画像および矢状断面画像である．軸位断面画像および冠状断面画像においては骨折の変異を認識し難いが，矢状断面画像において骨折の変異は明らかである．

1.2.2 胸部 X 線 CT 画像の読み方

胸部 X 線画像の読影において必要とされる基本的知識の修得は，他の臓器に比べて簡易である．なぜなら次章に後述するように肺の解剖学的構造は単純だからである．たとえば気管から左右主気管支へ，主気管支から区域枝へ，更に区域枝から亜区域枝へと気管枝樹は中枢から末梢に向かうにつれて滑らかに狭小化し，逆に肺泡から呼吸細気管支へ，呼吸細気管支から終末細気管支へと末梢から中枢に向かって滑らかに広大化していく．この様子は他の臓器と同様に中枢側の脈管系は太く末梢ほど細いという単純なルールに従っている．胸部 X 線 CT 検査においてはこのルールに留意して読影を進め，ルールに従わない不自然な形態的变化についてその構造を明らかにすることが大切である．

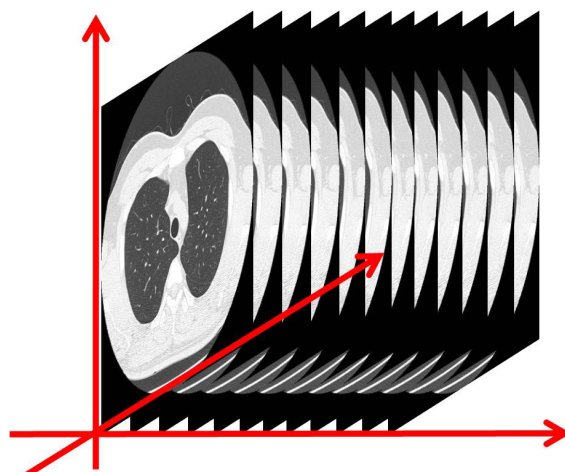


図 1.2 X 線 CT 画像の読み方

1.2.3 胸部 X 線 CT 画像において一体何が見えるか

胸部 X 線 CT 画像においては気管支、血管および病巣に付随したリンパ節の性状を中心に観察する。まれに神経への圧排等を予測する場合がある。

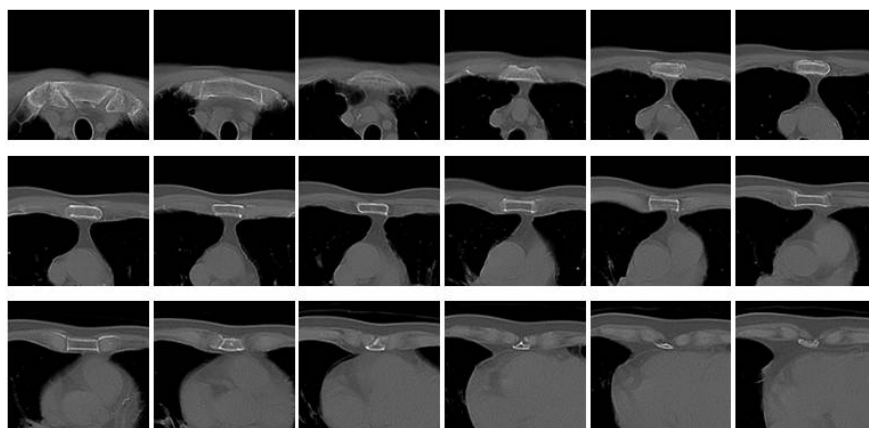
気管支および肺血管の主軸は同大分岐を繰り返す。また、X 線 CT 検査において観察される末梢気管支および末梢肺血管は高分解能 CT(HRCT:high resolution CT) において第 5 次分枝程度である。

臨床例

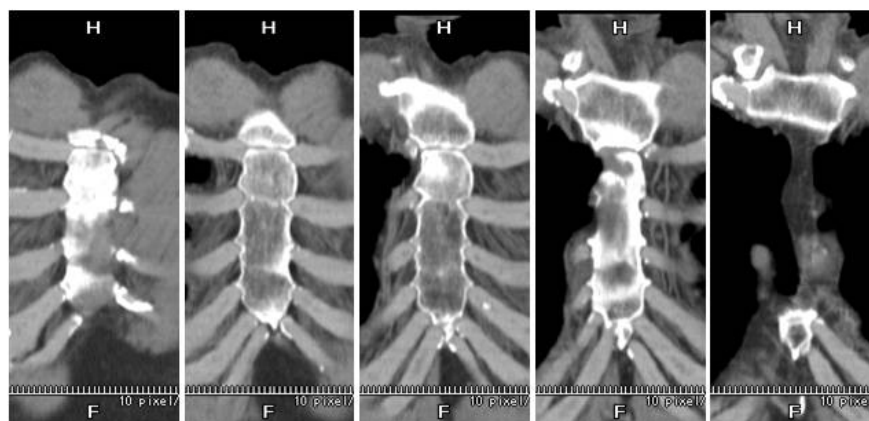
二つの臨床例を参考に断層画像の読み方をイメージして頂きたい。

まず、図 1.4 に右肺中葉 S5a に発見された結節影を示す。図 1.4(a) および (b) はそれぞれ 10mm スライス axial 画像および 2mm スライス axial 画像を示す。撮像中においては、10mm スライス画像を観察し右中葉 B5 の気管支に不自然な膨らみを検出した。この時点では構造は明らかではないが、中枢側から末梢へ向かう右中葉気管支の狭小化に滑らかさが失われていることが分かる。続いて 2mm スライス画像を再撮像し、B5a に隣接する結節影の存在を指摘した症例である。

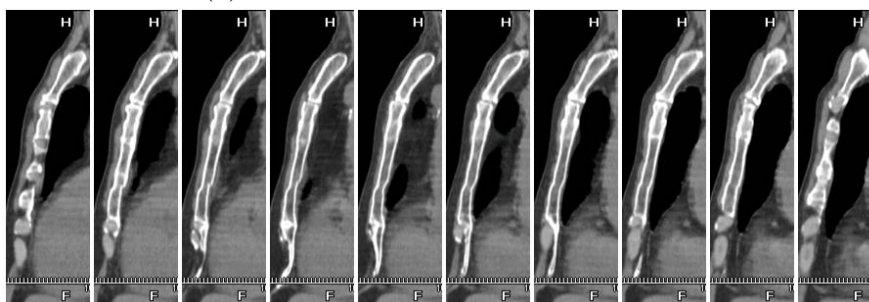
次に、図 1.5 に左上葉舌区幹枝を後方から圧排する塊状影を発見した症例を示す。図 1.5(a) および (b) はそれぞれ 10mm スライス画像および 2mm スライス画像を示す。10mm スライス axial 画像を観察すれば、まず左上葉下区末梢に胸膜に接する opacity shadow が目に留まるであろう。注意深く観察する読者は上流の左上葉舌区幹枝を後方から圧排する



(a) 胸骨骨折 X 線 CT 軸位断面画像



(b) 胸骨骨折 X 線 CT 冠状断面画像

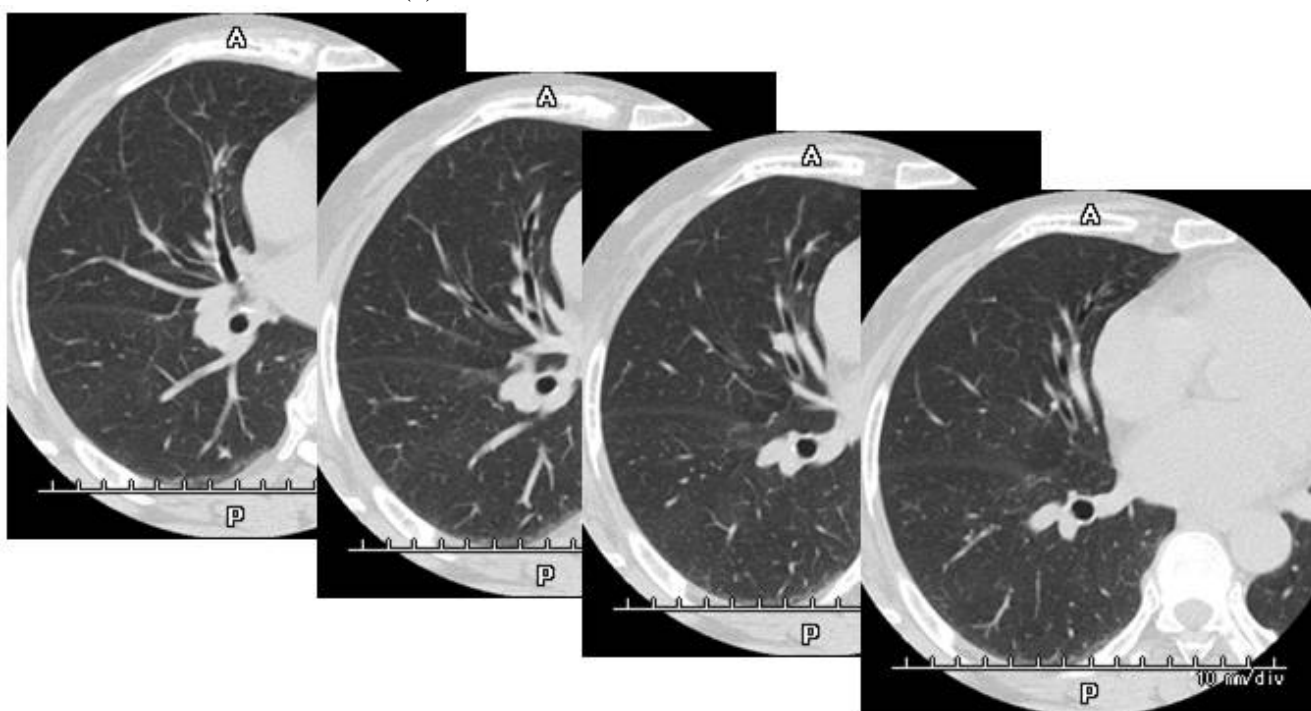


(c) 胸骨骨折 X 線 CT 矢状断面画像

図 1.3 X 線 CT 画像読影における盲点



(a)10mm slice thickness 画像



(b)2mm slice thickness 画像

図 1.4 case1:右肺中葉 S5a 結節影

塊状影を検出できるであろうか．この時点においても 10mm スライスを見る限り異常部の構造は明らかではなく，病変が本当に存在するのか，正常な血管が偽所見として写っているのか不明である．担当技師は図 1.4 の症例と同様に脈管の走行に不自然さを検出しており，同部位において 2mm スライス画像を再撮像し，左上葉舌区幹枝および左肺動脈との間に塊状影の存在を証明している．本症例のように異常陰影が多次元に分布する場合，ある一点の病巣にのみ着目し他の病変を見失う可能性があるため注意を要する．

1.2.4 気管支内および肺野との独立した読影の勧め

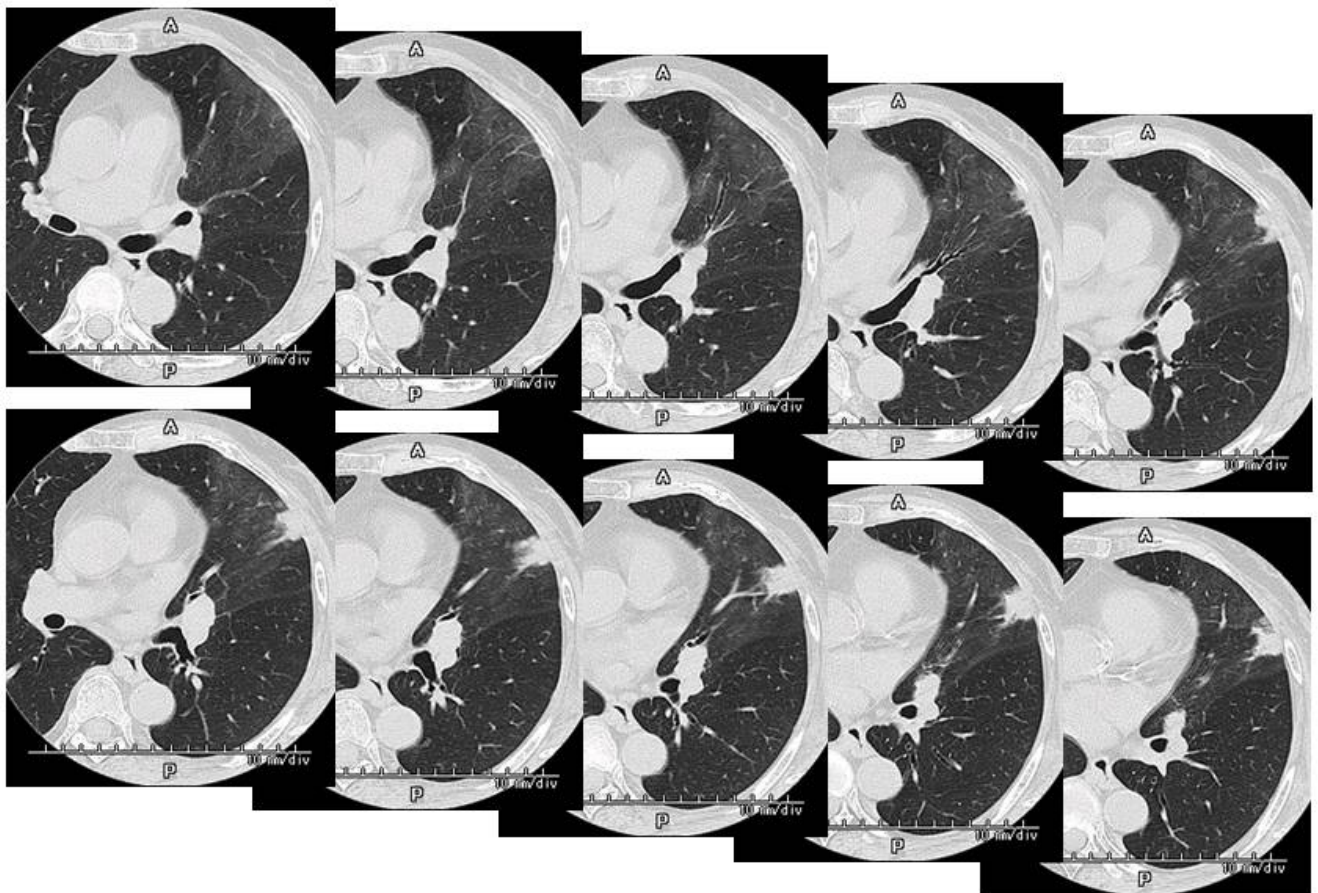
胸部 X 線 CT 検査における読影は，検査開始から終了までの間，得てして肺野内のみを注視してしまいがちである．肺病変の発生母地は気管支内の腺あるいは扁平上皮であるため気管支内腔へ突出する病変の検出を念頭に入れておかなければならない．仮に，末梢に近い気管支内腔に発生した病変が扁平上皮癌であるならば，容易に病巣の遠位側に無気肺を来し異常を検出するのは容易かもしれない．また，末梢に発生した病変が小細胞癌であるならば形態的变化は気管支の壁肥厚のみで病巣の遠位側は intact かもしれないが背景のテキスチャと比較すれば検出は意外に容易かもしれない．これら肺末梢における病変の発生は肺の二次的变化を伴いやすいと考えられ，病変検出は比較的容易である．しかしながら，中枢側気管支のように太い気管および気管支の中に病変が存在し二次的变化が見られない場合，肺野内のみ注視しては病変を見落としてしまう可能性がある．本小節では胸部 X 線 CT 検査において肺野および気管支を独立して読影されることをお勧めする．

臨床例

図 1.6 および図 1.7 に右主気管支および左主気管支の X 線 CT 画像を示す．双方ともにルーチン検査において 7mm スライス画像または 10mm スライス画像を撮像し，主気管支内に異常陰影を認めた症例である．担当技師はいずれも，thin slice 画像を追加撮像している．気管支内に異常陰影を認めた場合の追加撮像時におけるポイントは，被検者に咳をさせた後，追加撮像することである．咳をさせて異常陰影の位置が移動すれば，異常陰影は喀痰などの分泌物を示唆する所見である．逆に，異常陰影の移動が見られない場合は，病変を示唆する所見として捉える．図 1.6 の症例は，thin slice 画像を再撮像する前後で異常陰影の位置に変化が見られる．痰を示唆する所見である．図 1.7 の症例は，thin slice 画像を再撮像する前後で異常陰影の位置に変化が見られない．この症例は気管支内病変を示唆する症例である．

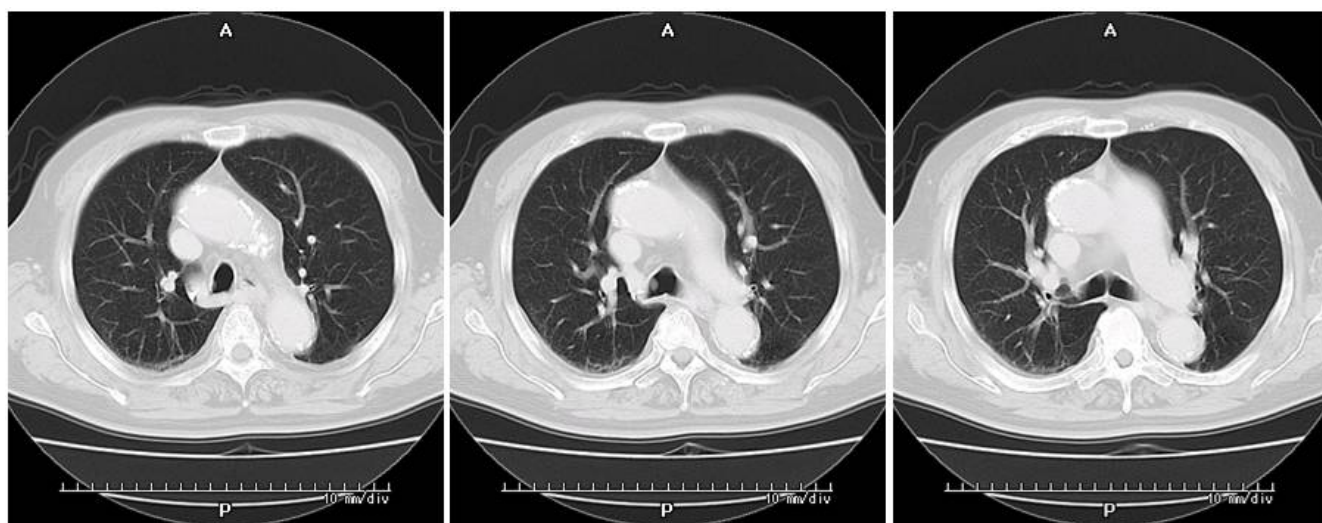


(a)10mm slice thickness 画像

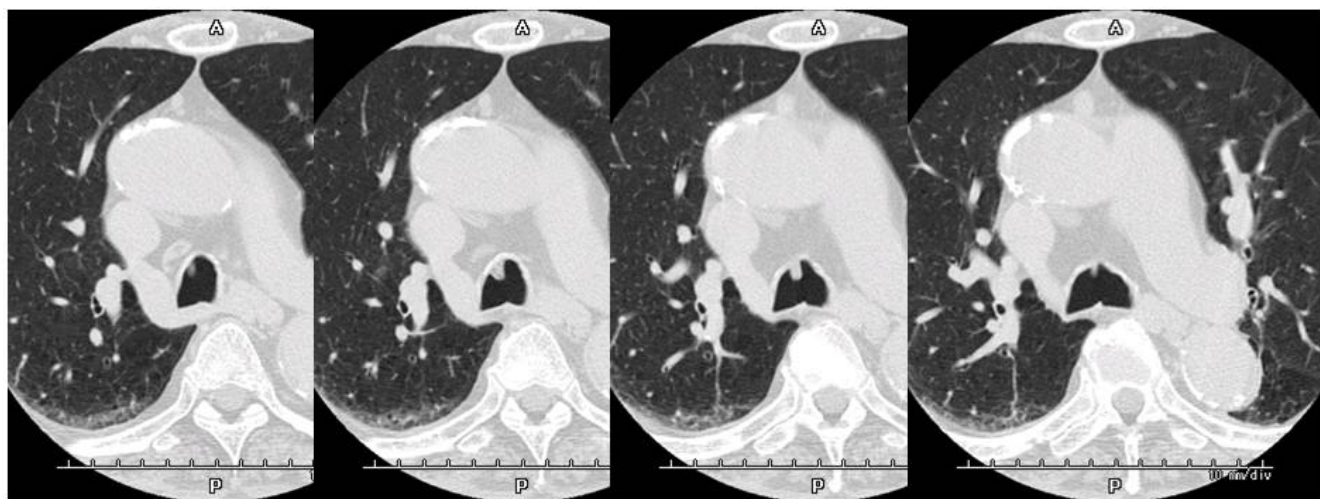


(b)2mm slice thickness 画像

図 1.5 case2:左上葉舌区幹枝を後方から圧排する塊状影 .



(a)7mm slice thickness 画像



(b)2mm slice thickness 画像

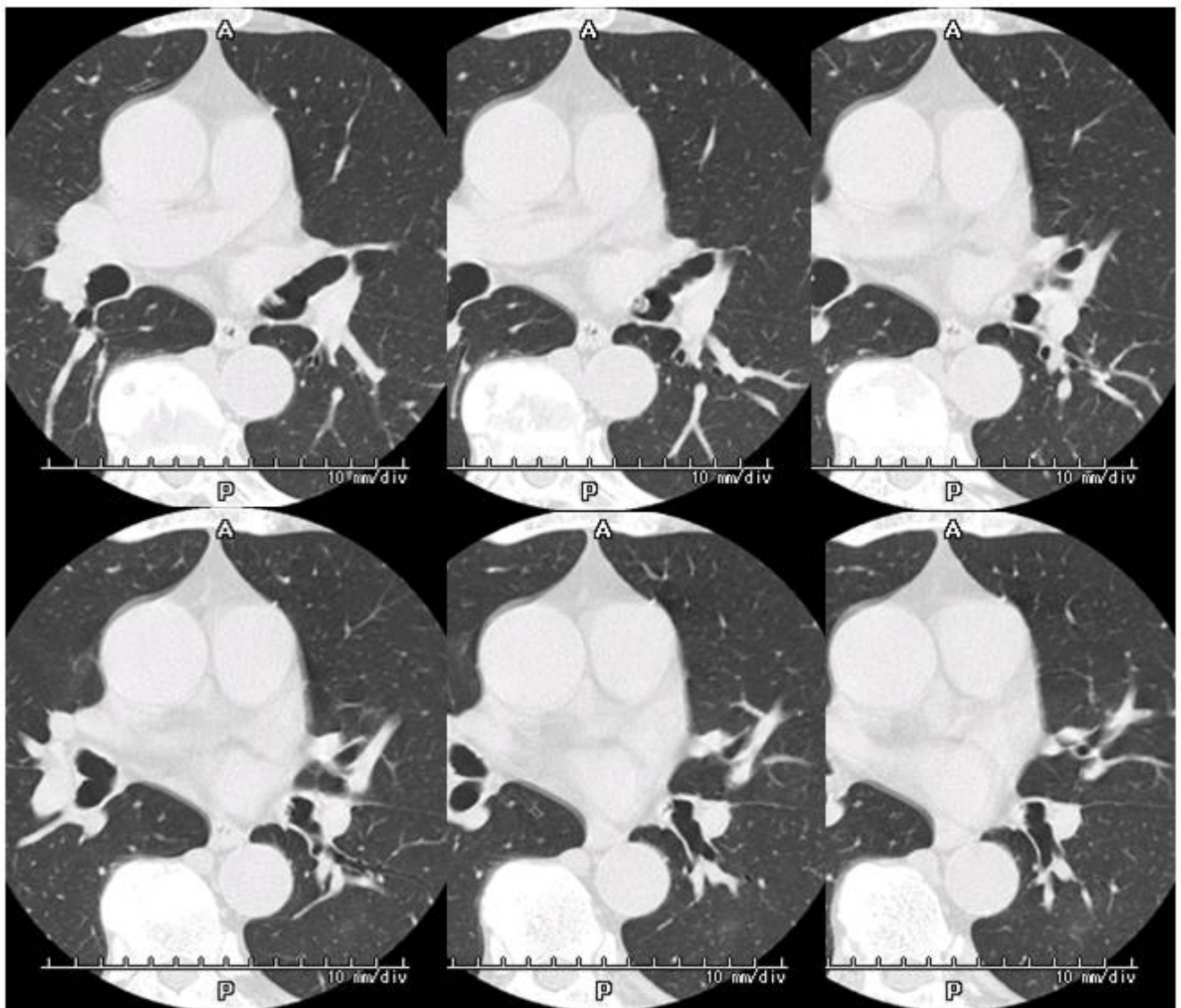
図 1.6 右主気管支内異物

1.2.5 X 線 CT axial 画像における気管の見え方

気管の前側は気管軟骨で覆われ、背側は筋線維および気管腺などの軟部組織で囲まれている。したがって呼気および吸気において気管背側の軟部組織は伸縮し、X 線 CT axial 画像における見え方に変化が見られる。図 1.8 に吸気時および呼気時における胸部 scanogram および同被写体の axial 画像をそれぞれ示す。図 1.8 において (c) および (d) は



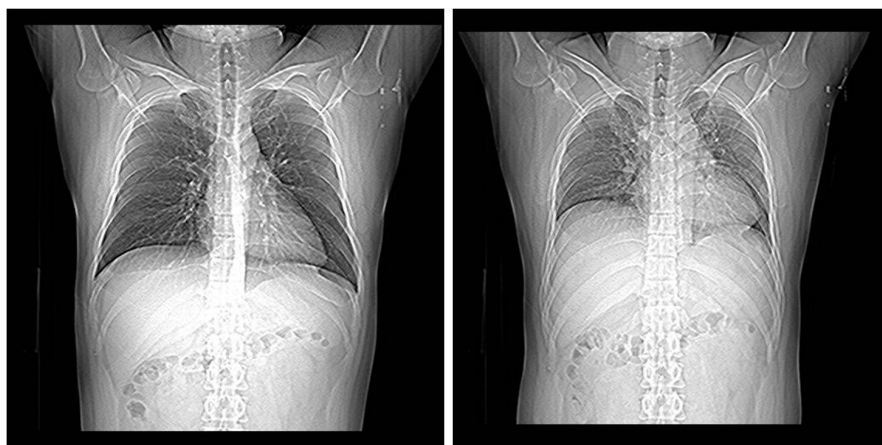
(a)10mm slice thickness 画像



(b)2mm slice thickness 画像

図 1.7 左主気管支内異物

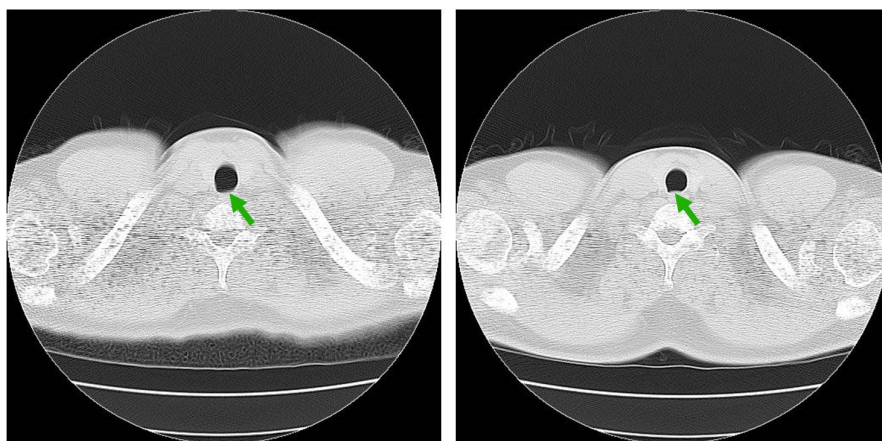
吸気・呼気



(a)

(b)

吸気・呼気



(c)

(d)

図 1.8 呼気および吸気の位置決め画像 (scanogram) における肺，横隔膜の差異および axial 画像における気管の変形

吸気時および呼気時における気管の axial 断面像であるが，矢印の示す気管背側に変形が見られる．特に呼気時において気管背側の軟部組織が内腔へ突出するシーンを病変と見間違えないよう留意することが大切である．

第 2 章

肺の構造

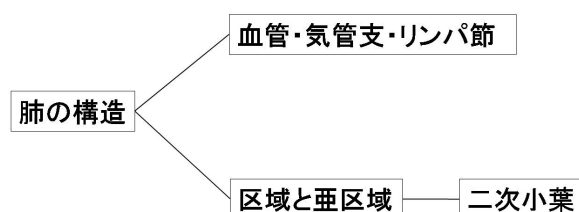


図 2.1 胸部画像理解のためのマインドマップ

本章では胸部画像理解のための肺構造の概略を述べた後，本章を理解するためのキーワードを示す．次に胸部画像を理解するために必要な肺の発生過程 [1] および二次小葉に関する事柄 [2] を述べる．

図 2.1 に胸部画像理解のためのマインドマップを示す．胸部 X 線 CT 画像の主たる観察目的は，筋骨格および神経を含んでいるものの，特別な場合を除いて ‘ 気管支，血管およびリンパ節 ’ における病巣に付随した性状変化である．肺の構造は気管支および血管をその分岐の特徴により命名されている．胸部画像検査および画像読影においては下記に述べる小循環および末梢構造を理解しておくことが大切である．

2.1 概略

- 解剖学的構成単位の中心を走行する気管支，肺動脈と辺縁に位置する肺静脈 [3]
気管支と動脈は解剖学的構成単位の中心を伴走し，辺縁に静脈が位置するが，終末細気管支から呼吸細気管支に分岐する二次小葉のレベルでも同様の関係があり，辺縁に静脈と小葉間隔壁が認められる．

- 同大分岐する主軸枝と不同大分岐する嬢枝

気管支の基本は同大分岐を繰り返すとされる．しかしながら主軸枝から嬢枝と呼ばれる主軸枝より細い分枝が直角に近い鈍角で分岐し，主軸枝間の気管枝および肺胞を形成する．嬢枝と類似した言葉に反回枝がある．反回枝は，通常，二次小葉内の分枝から派生する．

- 嬢枝に支配される肺門周囲領域と主軸枝末梢の胸膜直下

静脈嬢枝は自分自身が分岐した親枝である太い静脈の壁へ分布する場合があります，中枢静脈から分岐した静脈嬢枝が，肺門周囲の気管支嬢枝の壁に分布する場合もある．このような静脈嬢枝の存在は，たとえば左房圧の上昇に伴い，血液が静脈嬢枝末梢領域へ鬱滞し，蝶形陰影を形成する要因の一つであると考えられる．また，末梢肺における側副循環の存在，すなわち肺静脈血が気管支壁へ再循環することにより気管支動脈とともに酸素の供給源となっていることが示唆される．肺梗塞などの虚血性変化に対して肺組織が頑強であることが推定される．

- 細気管支や二次小葉とその支配領域

『亜区域支レベルにおける肺の解剖学を完全に理解するためには，気管支の形態，特に末梢気道の小さな分岐の特徴を理解することが必要である．近年，1本の気管から総数が3億個である肺胞までの形態学が活発な研究課題となっており，肺のX線写真の解釈の上で重要であると指摘されている [4] ．』

2.2 キーワード

下記に本章を理解するためのキーワードおよび図を示す．

- 小葉間隔壁

厚さ $100\ \mu\text{m}$ (0.1mm) 程度の線維性結合組織．胸膜に連続する．結合組織隔壁の浮腫や肥厚による小葉間隔壁のX線像は，Kerley 線として知られている．

- 二次小葉の定義...小葉間隔壁で境界される領域 (Miller)

小葉間隔壁の有無には必ずしも依存せず

- 終末細気管支 (図 2.2)...ガスの通路．ガス交換はしない．

- 呼吸細気管支 (図 2.2)

終末細気管支から分岐する．肺胞が直接付着し，ガスの導管であるだけでなくガス交換に寄与する．気管・気管支の断面積が急増すること，分岐数が多くなることにより気流速度が著しく減少する．これによりシリカあるいは炭粉のような粒子物質



図 2.2 終末細気管・呼吸細気管支・肺胞囊（文献 [4]）

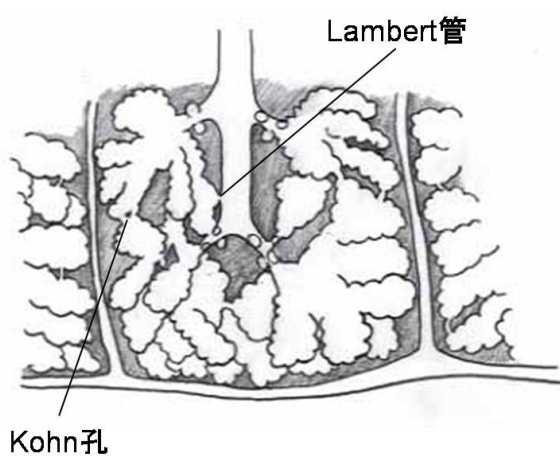


図 2.3 二次小葉における Kohn 孔と Lambert 管（文献 [5]）

が吸入されると呼吸細気管支に蓄積しやすい。これは気管支肺炎やウィルス性肺炎の患者で細気管支周囲の炎症がしばしば合併する原因であることが知られている。また、間質に生ずる肺気腫（間質性肺気腫）は肺胞嚢にある肺胞の破壊よりも呼吸細気管支に付着する肺胞の破壊が寄与する（Macklin）。これは呼吸細気管支に付着する肺胞の"入口部"は末梢の肺胞の入口部に比べて拡張性が乏しく、容易に破壊されることが原因であることが知られている。ただし、漏出した空気は気管支血管鞘（長軸方向の結合組織）に沿って縦隔へと達し、気縦隔が生じる。あるいはリンパ管腔に侵入する。

- 肺胞 (図 2.2)

ガス交換に寄与する。主に I 型肺胞上皮細胞により構成される。

- Kohn 孔 (図 2.3)

異なる肺胞嚢にあって隣り合っている肺胞を直接交通する小孔。5 ~ 15 μ m. Kohn 孔の機能異常が肺気腫の進展にかかわると考えられている。これは気道閉塞が生じた場合、側副換気の機能が保たれていることにより肺胞の破壊が回避できると考えられる。また、Kohn 孔は粘液栓塞や気管支閉鎖症のような気管支閉塞性疾患に対して肺組織に含気を与えるための役割を持っている。

- Lambert 管 (図 2.3)

末梢の細気管支、特に終末細気管支直前の気道と肺胞とを交通する細管。Lambert 管を介して炎症が波及すると考えられている。

- 肺間質

肺の基本構造、あるいは支持組織。

- 1) 末梢の結合組織：臓側胸膜および隔壁
- 2) 長軸方向の結合組織：主気管支および血管の外膜を構成する結合組織
- 3) 肺胞壁：プロテオグリカン（蛋白質とグリコサミノグリカンとの混合物）、弾性線維および膠原線維により形成される。I 型肺胞上皮細胞（扁平上皮細胞）および II 型肺胞上皮細胞（立方状細胞）から成っている。I 型肺胞上皮細胞は肺胞表面の 95 % を覆っており細胞損傷が起こった場合、それ自身の修復能力はない。II 型肺胞上皮細胞は幹細胞であり、I 型肺胞上皮細胞が生じる。

2.3 気管支と肺の発生

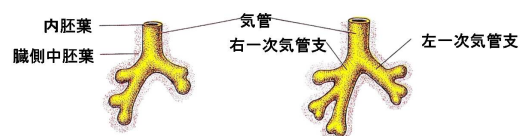
• 肺の発生



第4週

図 2.4 第 4 週

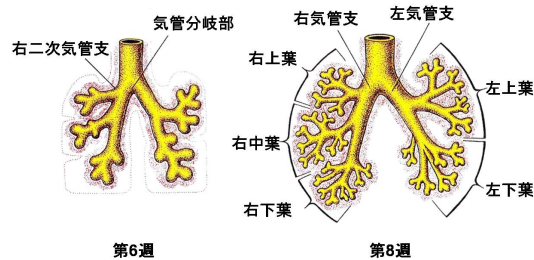
• 肺の発生



第5週

図 2.5 第 5 週

• 肺の発生



第6週

第8週

図 2.6 第 6 週から第 8 週

球状の肺芽 (lung bud) は喉頭気管の尾方端に発生し、まもなく 2 つのこぶ状の気管支芽 (bronchial bud) に分かれる。これらの内胚葉性気管支芽は胸膜腔の原基である心膜

腹膜管に向かって外側に発育していく。気管支芽は、周囲の内臓間葉と共に分化して気管支および肺内の気管支分枝となる。

第5週の初めに、各気管支芽は拡大して、原始的な一次気管支 (primary bronchus) を形成する。胚子の右気管支は左気管支よりやや太く、またより垂直に位置している。この発生学的関係は生後も存続し、そのため異物は左側より右気管支に落ち込みやすい。

一次気管支は分岐して二次気管支 (secondary bronchus) を生じる。右側では、上二次気管支 (superior secondary bronchus) は肺上葉に分布し、下二次気管支 (inferior secondary bronchus) はまもなく2つの気管支に分岐し、1つは右肺の中葉に、もう一つは下葉に分布する。左側においては2本の二次気管支が左肺の上葉と下葉にそれぞれ分布する。

おのこの二次気管支はその後次々と2本ずつに分かれていく。右肺に10本の、左肺に8~9本の第三区域気管支 [tertiary(segmental) bronchus] が第7週までに形成され始める。区域が形成されるに従い、周囲の間葉組織も分かれていく。

各第三区域気管支は周囲の間葉とともに気管支肺区域 (bronchopulmonary segment) の原基を形成する。第24週までに、約17段階の分枝が形成されて呼吸細気管支 (respiratory bronchus) が現れ、さらに7段階の分枝の気道が出生後発育する。

気管支が発生するにつれ、軟骨板が周囲の内臓間葉から形成される。この内臓間葉から気管支の平滑筋や結合組織ばかりでなく肺の結合組織や毛細管などもまた発生する。

・肺の発生

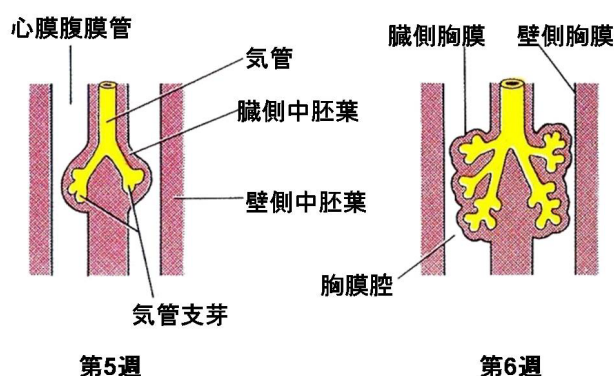


図 2.7 臓側胸膜 (visceral pleura) と壁側胸膜 (parietal pleura)

肺が発生するにつれ、肺は内臓間葉からの1層の臓側胸膜 (visceral pleura) に包まれるようになる。肺の拡張に伴い、肺と胸膜腔は尾方に向かって体壁の間葉内に向かって成長し、まもなく心臓の近くにいちするようになる。胸郭壁は臓側中胚葉由来の1層の壁側胸

膜（parietal pleura）によって覆われるようになる。

2.4 肺胞の発生

・肺胞の発生

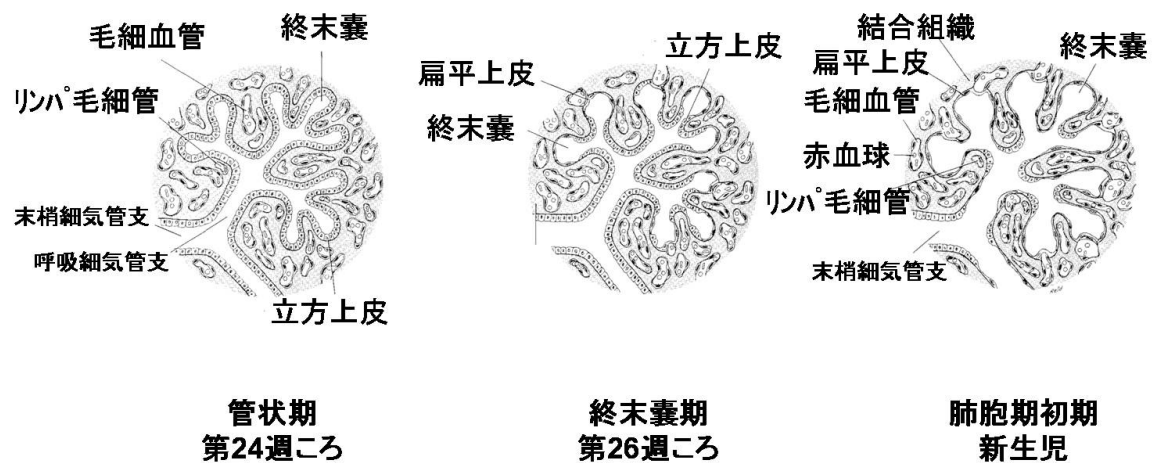


図 2.8 管状期・終末嚢期・肺胞期初期

・肺胞の発生

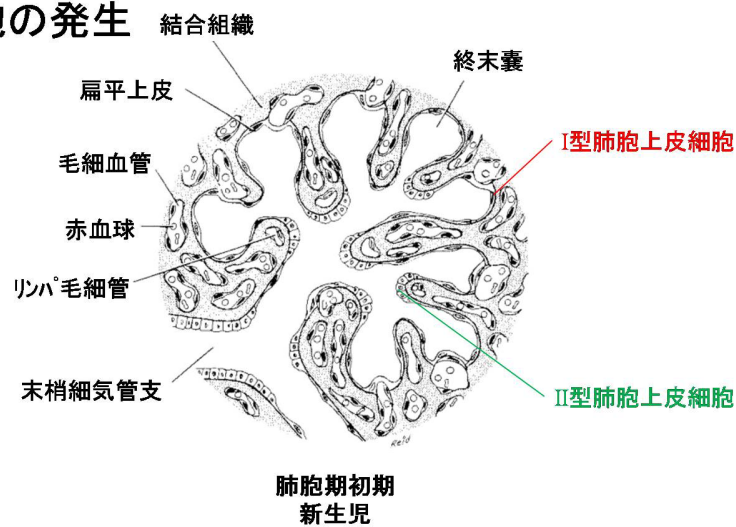


図 2.9 肺胞期初期

腺様期 pseudoglandular period (第 5～17 週) 発生中の肺は外分泌腺にやや似ており、第 17 週までにガス交換に関与する部分以外の肺のすべての主要部分が形成される。

管状期 canalicular period (第 16～25 週) 気管支および末梢細気管支の管腔はずっと大きくなり、肺組織は血管に富むようになる。第 24 週までに、おのおのの末梢細気管支 (terminal bronchiole) から 2～3 の呼吸細気管支 (respiratory bronchiole) が分岐する。呼吸細気管支の末端部から終末囊 (terminal sac) または原始肺胞 (primitive alveoli) と呼ばれる薄い壁をもつ肺胞囊 (alveolar succule) が発達し、この領域は血管に富むようになる。

終末囊期 terminal sac period (第 24 週～出生まで) さらに多くの終末囊が発達し、この終末囊の上皮は非常に薄くなる。これらの原始肺胞内に毛細管が入り込んでくる。発生第 24 週までに、終末囊の内面は内胚葉由来の I 型肺胞上皮細胞^{*1} (type I alveolar cell または pneumocyte) とよばれる扁平上皮細胞により覆われる。発生しつつある肺胞周囲の間葉内に毛細管網が急速に増殖し、同時にリンパ管の活発な発生が認められる。肺胞分泌上皮細胞あるいは II 型肺胞上皮細胞^{*2} とよばれる丸い細胞が、扁平上皮細胞の中に散在する。これらの II 型細胞は界面活性物質 (surfactant) を分泌する。

肺胞期 (胎児期の後期から 8 歳頃まで) 終末囊を覆っている上皮はきわめて薄い扁平上皮細胞層にまでなる。I 型肺胞上皮細胞が非常に薄くなるので、深部にある毛細血管は個々の終末囊内にふくれあがってくる。胎児期の末期までに、肺胞毛細管膜 (呼吸膜) [alveolocapillary membrane(respiratory membrane)] がガス交換をできるように十分薄くなるので、肺での呼吸が可能となる。肺胞期 (alveolar period) の初期には、おのおのの呼吸細気管支は、組成結合組織によって互いに隔離されている薄い壁のある終末囊の集まりの中で終わっている。これらの終末囊は将来、肺胞管 (alveolar ducts) となるものである。

2.5 肺の小循環

肺の小循環は右心房・右心室から始まり肺動脈・肺静脈を経て左心房・左心室に終わる。図 2.10, 図 2.11 に略図を示す。

^{*1} I 型肺胞上皮細胞：扁平な上皮細胞。細胞分裂能力はなく、細胞損傷が起こっても修復されない。肺胞表面の 95 % を覆う。

^{*2} II 型肺胞上皮細胞：立方形細胞。幹細胞として正常肺の発達過程および I 型肺胞上皮細胞の修復に寄与する。気管支肺胞上皮癌の発生母地である。

肺の小循環の知識は，胸部画像の読影において末梢における動静脈の識別に役立つ．肺末梢において動静脈の区別が困難な場合，末梢から肺動静脈起始部（肺動静脈幹）へ向かって血管の経路を追跡することにより観察血管が肺動脈であるか肺静脈であるかを識別する．

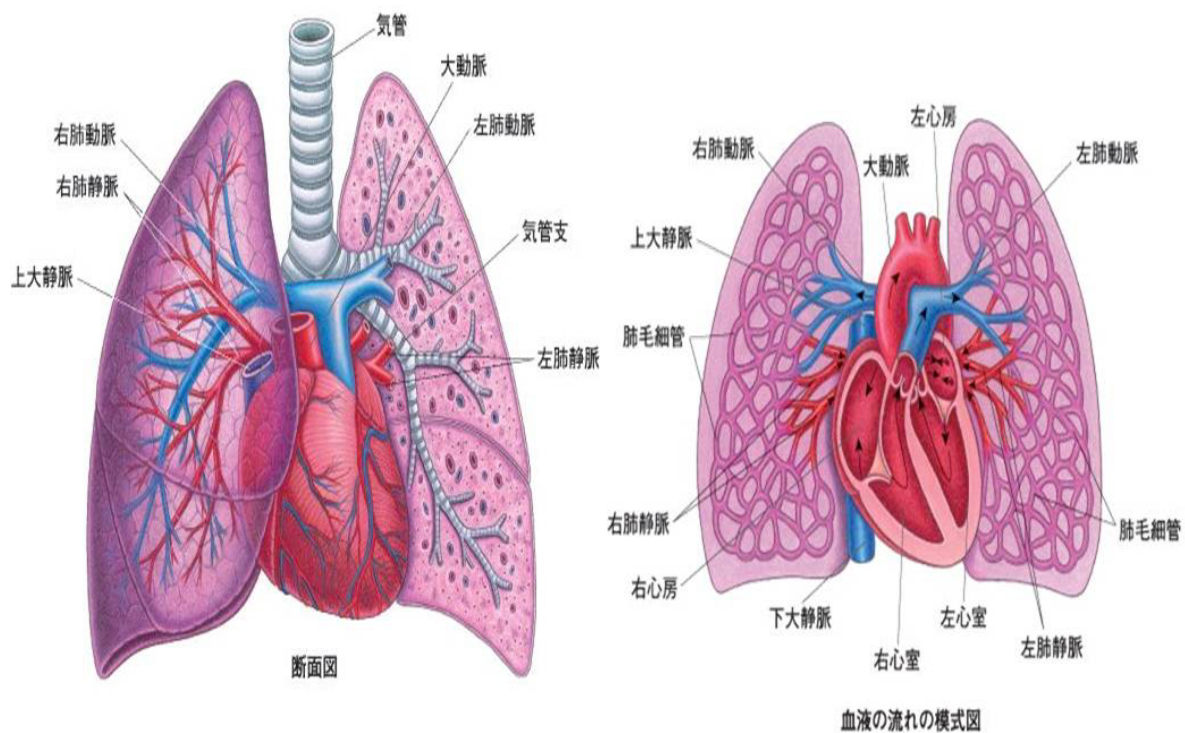


図 2.10 肺小循環

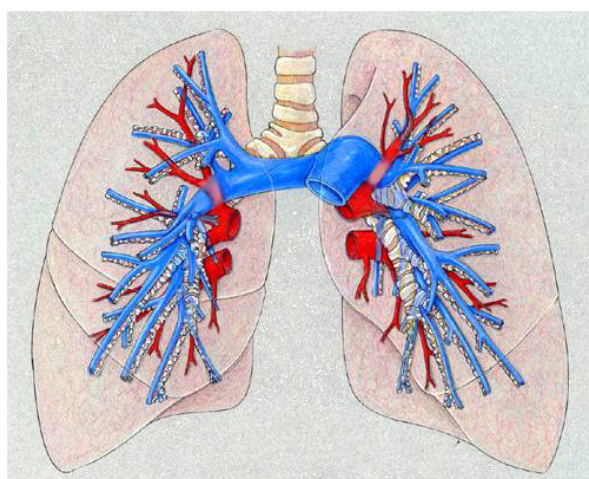


図 2.11 肺動静脈幹

2.6 小葉

2.6.1 二次小葉と細葉に関する概念の歴史的推移

図 2.12 に簡易年表，下記にその詳細を示す．

- 二次小葉の歴史
 - 1676 Thomas Willis 小葉 (lobule) を初めて議論
 - 1875 Georg Rindfliesch 小葉 \Leftarrow 細葉 (acinus)
 - 1881 Rudolph Kolliker
呼吸細気管支と終末細気管支とを区別
 - 1947 William Snow Miller 二次小葉 小葉間隔壁
 - 1958 Reid

図 2.12 小葉の歴史

二次小葉および細葉など肺の小単位に関する概念の重要性は解剖学，病理学および生理学の理解とともにここ 300 年の間に発展してきた．

1676 年 Thomas Willis は二次小葉に関する一番最初の記述を発表した．彼は水銀を気管支および脈管の中に注入することにより肺の構造を調べた．そして小さな気管枝から複数の小葉が派生し，膜によって境界されていることを発見した．また，小葉に入り込む細気管枝は多くのより細かい分枝へ枝分かれしていると記述されている．

1875 年 Georg Rindfliesch は小葉より小さな単位として細葉 (acinus) という言葉を初めて使用した．彼は二次小葉は細気管支によって構成され，漸進的により小さな気管支へと分岐し，最終的に樹枝状の構造を持つ肺胞の通路を派生すると述べた．正しくは細葉である．Rindfliesch によれば二次小葉はそのサイズが多様であるため細葉という概念の方が肺構造の単位として一貫性があると述べた．しかしながら彼は病理学的に"細葉"よりも"二次小葉"の方が重要であると考えた．すなわち病変の拡がりや小葉を境界する結合組織隔壁によって制限を受ける傾向があるということ述べた．

1881 年 Rudolph Kolliker は罪人の肺を使って気管支樹のより細かい分枝構造を詳細に分析した．そして気道へ付着する肺胞の有無により呼吸細気管支と終末細気管支とを区別した．こうして細葉の定義に関する考え方の基本を築いた．

1947 年 William Snow Miller は"The Lung"という彼の著書の中で肺解剖の詳細を再検討している．彼が定義した二次小葉および細葉の考え方は今日まで続いている．しかしながら彼は"primary pulmonary lobule"（一次肺葉）を肺構造の基本的単位とした．彼が定義した一次肺葉とは，血管，神経および結合組織に沿ったすべての肺胞管，肺胞嚢および呼吸細気管支遠位の肺胞を包含している．しかしながら今日では"primary pulmonary lobule"（一次肺葉）という言葉は一般的に使われていない．現在では"secondary pulmonary lobule"（二次肺葉），"secondary lobule"（二次小葉）あるいは単に"lobule"（小葉）という言葉がほとんど同じ意味で使用される．

1958 年 Reid は肺小葉に替わる定義を提案した．この定義は結合組織隔壁の存在や位置に依存しない気管支図によって同定される周辺細気管支の分岐パターンに基づいている．ブロンコグラムにおいてより大きな気道から分岐する小さな細気管支は 5mm から 10mm 間隔で分岐している．この小さな細気管支はさらにおよそ 2mm 間隔で分岐している．"millimeter pattern"と呼ばれる所以である．Reid が提唱する"millimeter pattern"毎の気道は終末細気管支に一致し，小葉間に存在する．彼女は 3～5 個の"millimeter pattern"で形成される肺の単位が小葉であると考えた．Reid の基準によると肺の構成単位は 3～5 個の細葉を含み，そのサイズはどれも同じ大きさでおよそ 1cm であると定義している．しかしながらこの定義は Miller によって定義される二次小葉に対して必ずしも等しくなくてもよいものと解釈されるべきである．Miller の定義は高分解能 CT の読影において最もよく適用されており，解剖学者および病理学者の双方に広く受け入れられている．なぜならば小葉間隔壁は組織学的切片上に認識できるからである．現在の二次小葉の解釈とその読影における有用性は，Heitzman らによって提唱された．彼は伸展固定肺標本を用いて小葉単位で現れる様々な異常像の発現メカニズムを発表し，代表的な論文において線維化またはリンパ管と肺静脈異常に関連する隔壁の肥厚像，肺梗塞および気管支炎における汎小葉性のコンソリデーションの発現について述べている．彼はさらに"lobular core"小葉中心の構造の放射線学的画像所見について強調し，細気管支周囲の結節および小葉内の不透明性陰影を示す病理所見に基づく画像所見を明らかにした．現在ではこの様な画像所見に対して"centrilobular"小葉中心性という言葉が用いられている．

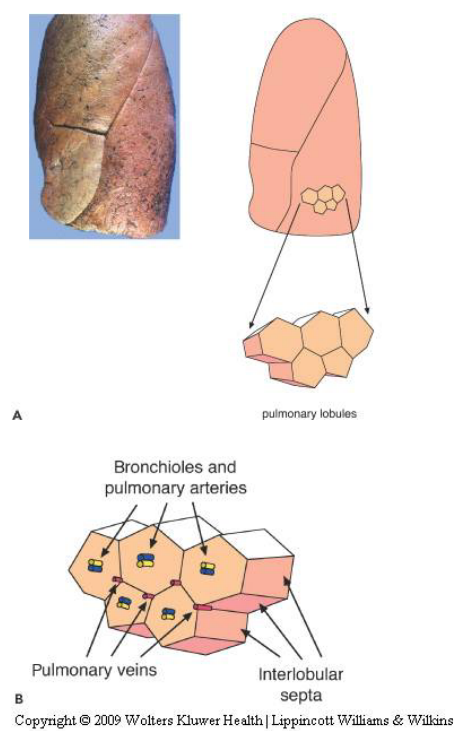


図 2.13 小葉概念図

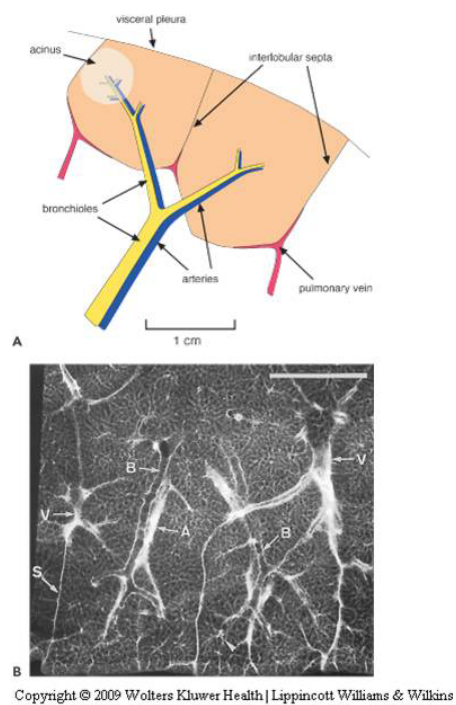


図 2.14 小葉の X 線像

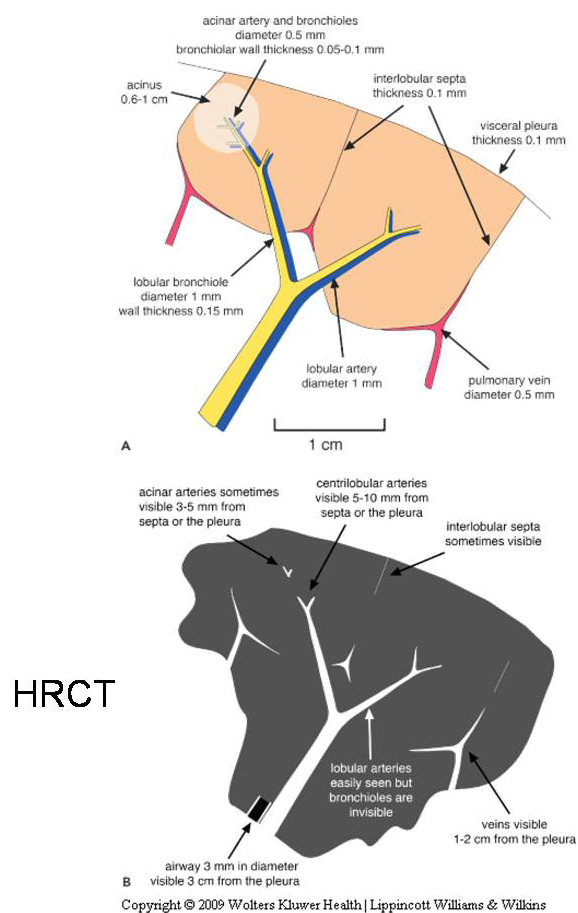


図 2.15 小葉の HRCT 像

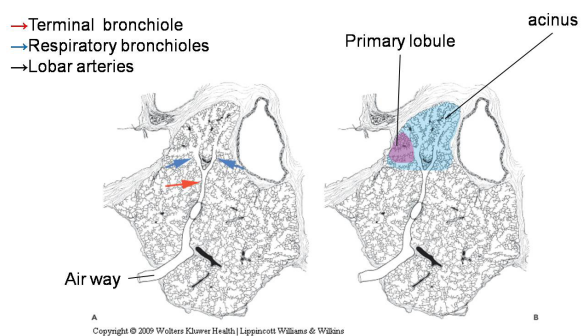


図 2.16 終末細気管支および呼吸細気管支・細葉および一次小葉

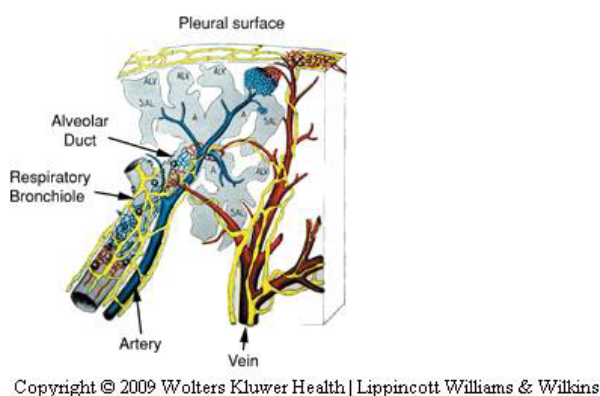


図 2.17 Miller の一次小葉

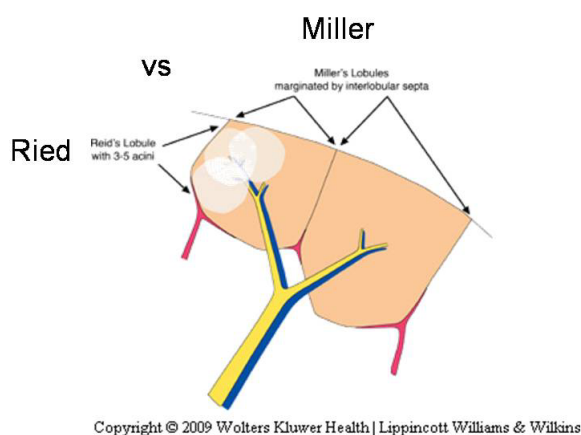


図 2.18 Miller の小葉と Reid の小葉

2.6.2 二次小葉とその構成要素

二次小葉の構成要素 小葉間隔壁と胸膜下に連続する間質，小葉中心性構造，葉実質と細葉

二次小葉と小葉間隔壁 二次小葉は結合組織である小葉間隔壁で境界され，胸膜下に拡がり，一辺 1cm～2.5cm の多角形状を呈する．Wiebel によれば小葉間隔壁は周辺の線維系の一つでありその厚みは 100 μ m(0.1mm) である，肺静脈とリンパ管を含んでいる．肺周辺部における二次小葉の大きさおよび形状は比較的大きく均一であり，立方状，三角錐状に現れる．これに対して肺中央部における二次小葉の大きさおよび形状は周辺部のものに対して比較的小さく不規則であり，認識できる場合は多角形状陰影として確認できる．X 線 CT 画像上において正常者よりも浮腫等の変

化がある方が小葉間隔壁を確認しやすい。また，肺静脈の走行から小葉間隔壁の存在を推定できる。

小葉中心部の構造 小葉中心部は肺動脈および細気管支で構成される。小葉内において細気管支は不規則な二分岐を繰り返す。一つの二次小葉に対して直径 1mm 程度の細気管支および動脈が流入している。さらに小葉内終末細気管支と追隨する動脈の直径はおよそ 0.7mm，細葉レベルにおいてそれらの直径は 0.3～0.5mm 程度になる。現在の X 線 CT 画像において細葉レベルの脈管は同定可能である。

第 3 章

気管支体操を利用する肺区域の覚え方

本章は前章を継承し気管支解剖における構造理解のための要点を述べ，簡便な体操を利用する肺区域の覚え方を紹介する．

3.1 目標

- 1) 肺区域，気管支の解剖を理解する．
- 2) CT 画像から肺区域，気管支解剖を言えるようにする．
- 3) リンパ節の分布を理解する．

3.2 肺の解剖

図 3.1 に呼吸器の構造を示す．呼吸器構造における要点は次のとおりである．

- 1) 肺は葉間胸膜により，右側が上葉，中葉，下葉の 3 葉，左側は上葉，下葉の 2 葉に分かれている
- 2) さらに右肺は 10 区域 (s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8, s9, s10), 左肺は 8 区域 (s1+2, s3, s4, s5, s6, s8, s9, s10) に分かれている．
- 3) 肺の最下部を肺底，最上部を肺尖という．
- 4) X 線写真で見えている肺野は，実際の肺の 70% 程度しか見えていない．肺の約 30% は横隔膜，縦隔，肺門陰影と重なっており，肺野として X 線写真で観察でき



図 3.1 呼吸器の構造

ない。

- 5) 肺の前方における上端は鎖骨の高さまで、後方は肺尖までである。下端は、第一腰椎レベルまでである。

3.2.1 気管、気管支の構造

図 3.2 に気管および気管支の構造を示す。図における BR:bronchus, BL:bronchiole, TBL:terminal bronchiole, RBL:respiratory bronchiole, AD:alveolar duct, AS:alveolar sac は気管支、細気管支、終末細気管支、呼吸細気管支、肺胞管、肺胞嚢をそれぞれ示す。気管支は原則として肺胞管に至るまで同大二分岐を繰り返す、TBL までを導入帯、RBL 以降を移行・呼吸帯と呼ぶ。

気管および気管支の構造における要点は次のとおりである。

- 1) 喉頭からは長さ約 11cm 程度の気管が食道前部を下降。気管の直径は 1.5-2.5cm であり、16 から 20 個の C 形（馬蹄形）の軟骨が連なるが、後方が開いた位置にあり、その部分は平滑筋に覆われている。
- 2) 気管は第 4-5 胸椎の高さで左右に分かれ、気管分岐部と呼ばれる。
- 3) 気管分岐部で気管は右主気管支と左主気管支に別れ、肺門に入る。右主気管支の方

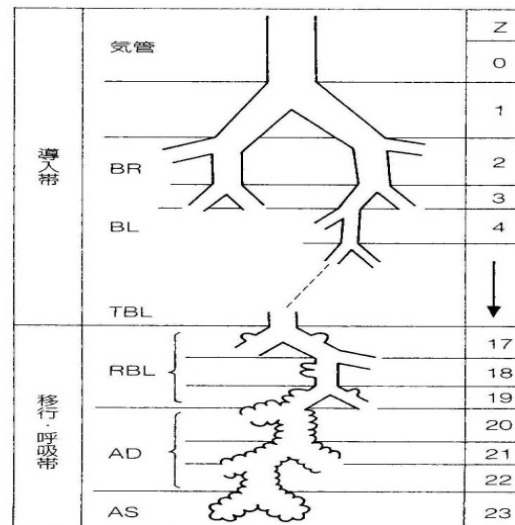


図 3.2 気管，気管支の構造

が左主気管支よりも垂直に近いので，気管に入った異物は右主気管支に入りやすくなる．

- さらに右主気管支は上葉，中葉，下葉の 3 つの葉気管支に分岐し，左主気管支は上葉と下葉の 2 つの葉気管支に分岐する．これらの葉気管支はさらに 24 回の分岐を繰り返し，肺胞へとつながる．

3.2.2 小葉，細葉の構造

図 3.3 に小葉および細葉の構造を示す．図右側の Lambert 管および Kohn 孔は，それぞれ呼吸細気管支と肺胞，肺胞同志を結合する通路である．小葉および細葉の構造における要点は次のとおりである．

- 小葉は二次小葉とも呼ばれ，小葉気管支の末梢で直径 1～2cm 大である．通常 3～5 個の細葉を含む．感染症をはじめ，多くのびまん性肺疾患における病変の場として注目されている．
- 細葉は，一本の終末気管支より末梢の呼吸気管支，肺胞管，肺胞嚢，肺胞を含む肺の末梢部分で，大きさは 5～7mm である．機能的にも病理学的にも重要な単位構造であり，肺胞性陰影（肺炎等）の最少単位は細葉である．

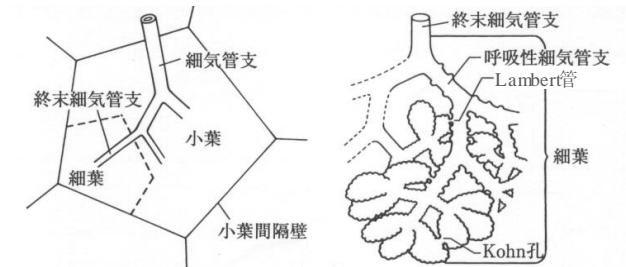


図 3.3 小葉，細葉の構造

3.2.3 肺胞の構造

肺胞の構造における要点は次のとおりである．

- 1) 肺の内部には，約 3 億個の肺胞がある．
- 2) 肺胞の直径は，約 0.1mm であり，すべての肺胞の総面積は， 60 m^2 にも及ぶ．
- 3) 肺胞の上皮は，95% が I 型細胞からなり，肺胞の骨格をなし，ガス交換を促す．残り 5% は，II 型細胞で，サーファクタントと呼ばれる表面活性物質（リポ蛋白）を分泌し，肺の虚脱を防いでいる．

3.3 胸部 X 線 CT 画像および気管支体操

本節においては，まず肺 X 線 CT 画像より得た三次元再構成画像および断面像を用いて気管支樹を示し，次に気管支樹を理解するための簡便な体操を利用する気管支体操を紹介する．

3.3.1 X 線 CT 三次元再構成画像および X 線 CT 軸位断面像で見る気管支樹

図 3.4 において右上葉枝，左上葉枝および左下葉枝は第 1 斜位像，右中葉枝および右下葉枝は第 2 斜位像である．また，図中における矢印内の B は気管支，数字は区域番号を示す．

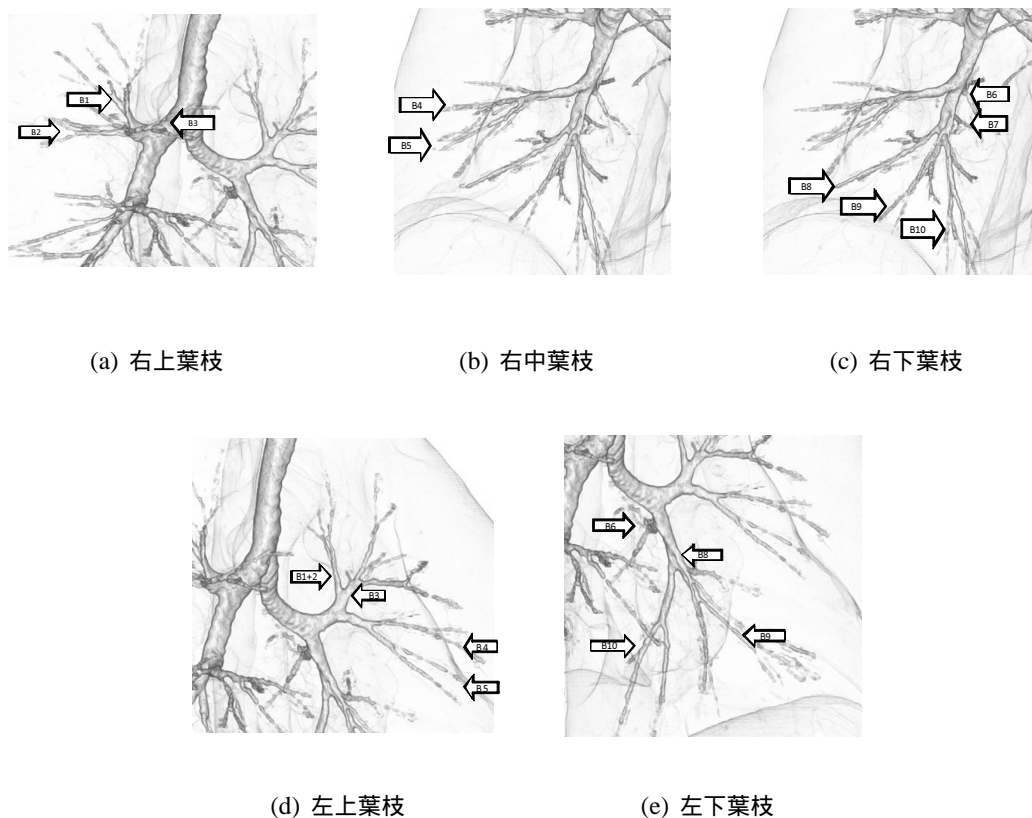
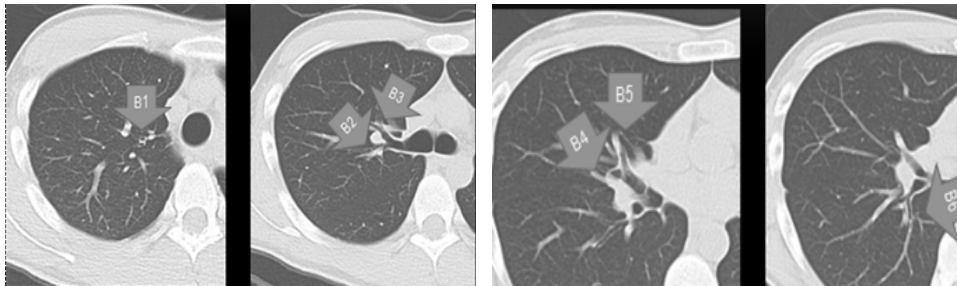
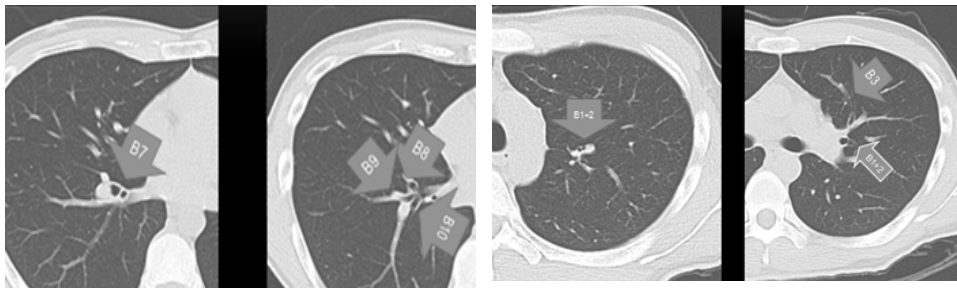


図 3.4 X 線 CT 三次元再構成画像で見る気管支樹



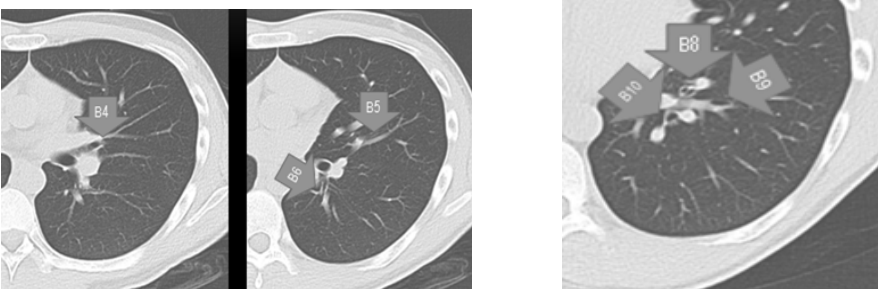
(a) 右上葉枝

(b) 右中葉枝



(c) 右下葉枝

(d) 左上葉枝



(e) 左上葉舌区および下葉枝

(f) 下葉枝

図 3.5 X線 CT 軸位断面像で見る気管支樹

3.3.2 気管支体操

図 3.6 において左側に体操ポーズを正面から見た写真，右側に右側面から見た写真を示す．一般的に B7 は右肺にのみ認められるため，ポーズは右手の動作のみである．

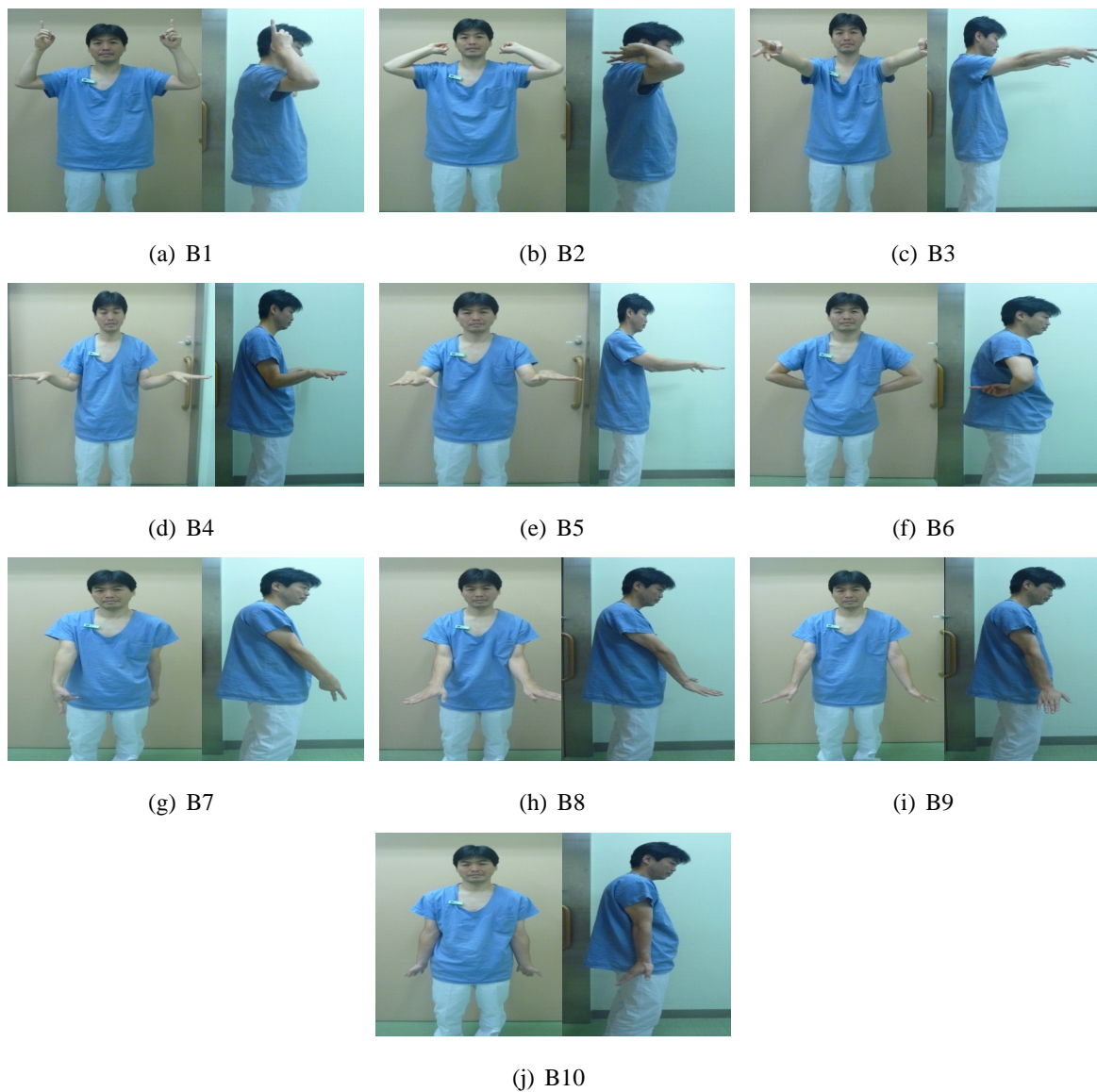


図 3.6 気管支体操

第 4 章

フィルタ補正逆投影法とストリークアーチファクト

4.1 フィルタ補正逆投影法

まず X 線 CT 画像の再構成によく用いられているフィルタ補正逆投影法 [7] について説明する．次に Shepp & Logan Head phantom を用いてストリークアーチファクトについて説明する．ただし，本章では簡単のため X 線は平行ビームとし，逆投影法による復元対象は二次元画像であるとする．

X 線 CT の投影データ

投影データからの画像復元は，医療はもとより電波天文学，光干渉計，電子顕微鏡，地球物理学的探査に応用されている．

X 線 CT における投影データからの画像復元は，被写体の X 線吸収係数 $f(x, y)$ の分布を求めることによって実現される． f と入射 X 線量 I_0 および被写体通過後の X 線量 I との関係は次式 (4.1) で表され， f の単位は m^{-1} あるいは cm^{-1} である．

$$I = I_0 \exp\left[\int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) ds\right] \quad (4.1)$$

通常 f の分布は被写体通過後の X 線光子数 I_0/I の対数変換値 (投影データ) からフィルタ補正逆投影法などを用いて推定される．この投影データは，X 線の通過経路 s に沿って被写体の吸収係数 f を線積分した値に等しい．また，この投影データを被写体を中心に角度 θ で入射 X 線方向に対して垂直な直線 t 上に得たとすると投影データは次式 (4.2) で表される． $P(\theta, t)$ は f のラドン変換と呼ばれる．

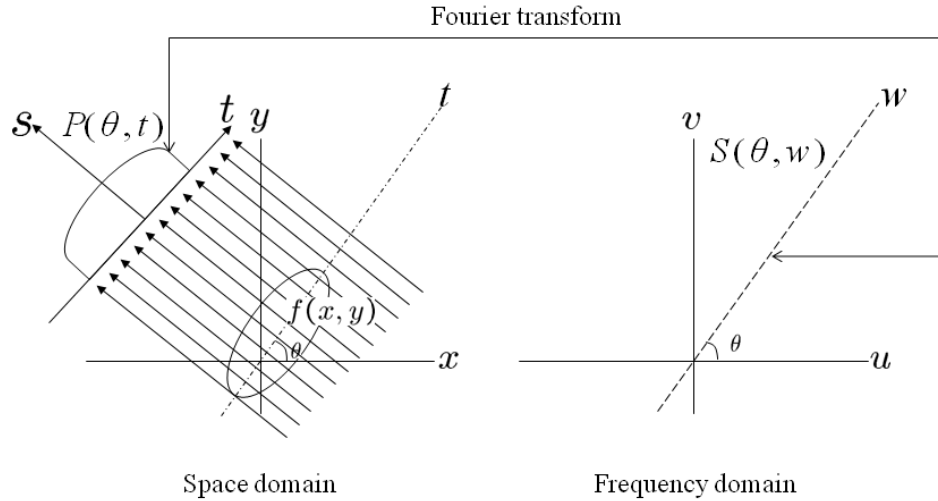


図 4.1 空間領域（左図）における投影データ $P(\theta, t)$ と周波数領域（右図）におけるそのフーリエ変換 $S(\theta, w)$ との関係

$$P(\theta, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - t) dx dy \quad (4.2)$$

$f(x, y)$: 被写体における X 線吸収係数の分布

$t = x \cos \theta + y \sin \theta$: 入射 X 線に対して垂直方向の直線

$P(\theta, t)$: 角度 θ における投影データ

$\delta()$: デイラックデルタ関数

投影切断面定理

$f(x, y)$ の角度 θ の投影データにおける一次元フーリエ変換は, $f(x, y)$ の二次元フーリエ変換域において原点を中心とした角度 θ の直線上の数値列と等価である .

[証明]

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{j2\pi(ux+vy)} dx dy \quad F(u, v): \text{Fourier transform of the image } f(x, y)$$

$$S(\theta, w) = \int_{-\infty}^{\infty} P(\theta, t) e^{-j2\pi wt} dt \quad S(\theta, w): \text{Fourier transform of the projection } P(\theta, t)$$
(4.3)

上式 (4.3) において $v = 0$ の場合 , 次式の関係が成り立つ .

$$\begin{aligned}
 F(u, 0) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi ux} dx dy \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy \right] e^{-j2\pi ux} dx \\
 &= \int P(0, t) e^{-j2\pi ut} dt \\
 &= S(0, w)
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

このとき $f(x, y)dy$ は , $\theta = 0$ における画像の投影データであり x と t は同じ意味を持つ . よって $F(u, v)$ は , θ を使って極座標表現できる .

$P(\theta, t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t, s) ds$ とすると ,

$$\begin{aligned}
 S(\theta, w) &= \int_{-\infty}^{\infty} P(\theta, t) e^{-j2\pi wt} dt \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(t, s) ds e^{-j2\pi wt} dt
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

となり , さらに上式 (4.5) の右辺を (x, y) 軸に変換すると

$$\begin{aligned}
 S(\theta, w) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi w(x\cos\theta + y\sin\theta)} dx dy \\
 &= F(u, v) \quad \text{for } u = w\cos\theta, v = w\sin\theta \\
 &= F(\theta, w)
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

となる . 図 4.1 に空間領域における投影角度 θ の投影データ $P(\theta, t)$ とそのフーリエ変換 $S(\theta, w)$ との関係を示す . ただし , $f(x, y)$ は被写体における X 線吸収係数の分布を示す .

この結果は , 投影切断面定理として知られている .

フィルタ補正逆投影法

まず , 逆フーリエ変換を用いた画像再構成法について述べる .

$f(x, y)$ は , $F(u, v)$ の逆フーリエ変換を使用して復元される .

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{j2\pi(ux+vy)} du dv \tag{4.7}$$

しかしながら有限な投影データから投影切断面定理を用いて周波数領域への極座標変換をすれば中心付近は信号が密になり周辺ほど信号が疎になる . このため近傍補間あるいは線形補間を用いざるを得ず , 周辺ほど補間による誤差が大きくなり , すなわち高周波成分の

画像劣化を生じる．現在，逆フーリエ変換を用いた X 線 CT 画像再構成法はあまり用いられていない．

次にフィルタ補正逆投影法について述べる．

前述のとおり， (w, θ) が uv -plane での極座標であるとしたならば，式 (4.7) は，次のように表現される．

$$\begin{aligned}
 f(x, y) &= \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w, \theta) e^{j2\pi w(x\cos\theta + y\sin\theta)} w dw d\theta \\
 &= \int_0^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w, \theta) e^{j2\pi w(x\cos\theta + y\sin\theta)} w dw d\theta + \int_0^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w, \theta + \pi) e^{j2\pi w(x\cos(\theta+\pi) + y\sin(\theta+\pi))} w dw d\theta \\
 &= \int_0^{\pi} \left[\int_{-\infty}^{\infty} F(w, \theta) |w| e^{j2\pi w t} dw \right] d\theta \\
 &= \int_0^{\pi} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{\theta}(w) |w| e^{j2\pi w t} dw \right] d\theta
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

上式 (4.8) における $|w|$ は一般的に再構成関数あるいは再構成フィルタと呼ばれており，装置により数種類から数十種類のフィルタが用意されている．通常は復元画像の性質に応じてフィルタを選択し再構成に用いる．式 (4.7) は，式 (4.8) を使用して次式 (4.9) および (4.10) により表される．

$$f(x, y) = \int_0^{\pi} Q_{\theta}(x\cos\theta + y\sin\theta) d\theta \tag{4.9}$$

$$\text{where} \quad Q_{\theta}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\theta}(w) |w| e^{j2\pi w t} dw \tag{4.10}$$

フィルタ補正逆投影法は，まずはじめに式 (4.10) を使用してそれぞれの角度毎の投影データ $P(\theta, t)$ からフィルタ補正投影データ $Q(\theta, t)$ を計算し，式 (4.9) を使用して逆投影法により $f(x, y)$ を再構成する手法である．

Shepp - Logan 頭部ファントムを用いた画像再構成シミュレーション

数値ファントムである Shepp - Logan の頭部ファントムを用いてフィルタ補正逆投影におけるサイノグラムおよび再構成画像を示す．また本研究の対象である X 線 CT 画像の雑音を模擬し示す．サイノグラムは式 (4.2) に示すように投影方向 θ および X 線光子の検出位置 t における投影データの同時分布を図示したものであり，図 4.2(a) および (b) に示す．適度な X 線強度で検出されたサイノグラムは図 4.2(a) に示すように投影方向に沿って滑らかな正弦波を描く．しかし過度な X 線強度や雑音を伴う投影データにより正弦波

は滑らかさを失い、また被写体の動きにより断続的になる。図 4.2(a) のサイノグラム上にガウス性雑音を重畳し、被写体の動きを模擬し投影方向が丁度 45 度付近において連続性を失わせたサイノグラムを図 4.2(b) に示す。投影データは雑音によりざらついており、白抜き太矢印に示す方向において投影データの連続性が失われていることがわかる。図 4.2(b) のサイノグラムから逆投影法を用いて再構成した画像を図 4.2(d) に示す。図 4.2(b) において白色性雑音のようなざらつきと共に左上方から右下方に斜走する黒と白の縞状陰影が認められる。この縞状陰影はストリークアーチファクトと呼ばれている。

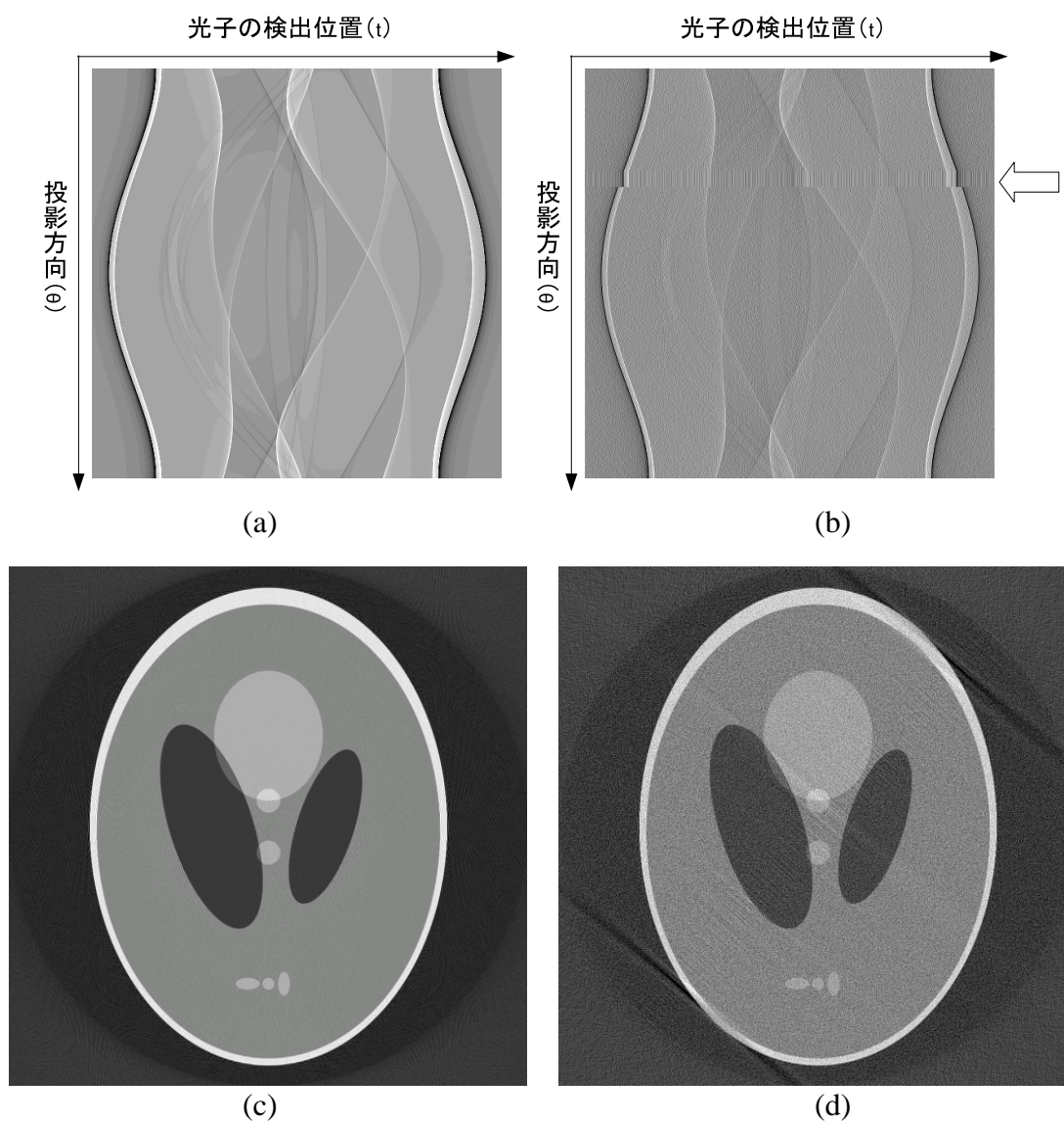


図 4.2 Shepp-Logan head phantom のサイノグラムおよび再構成画像を示す．(a) 無雑音なサイノグラム，(b) ガウス性雑音を重畳し，投影方向 45 度付近において連続性を失わせたサイノグラム，(c) (a) の再構成画像，(d) (b) の再構成画像，(d) において左上方から右下方へ向かって斜走する縞状陰影がストリークアーチファクトである．

第 5 章

画像評価

本章では、まず X 線 CT 画像雑音の特徴を述べ、次に X 線 CT 画像の評価方法として信号対雑音比 (signal to noise ratio : SNR) について解説する。

5.1 X 線 CT 画像における雑音の特徴

X 線 CT 画像においては一次検診における被ばく線量低減のための低線量撮像および二次検診もしくは精密検査における thin slice CT と呼ばれる撮像法において、X 線量が著しく不足し、雑音による画質の劣化がしばしば問題となる。代表的な偽像として第 3 章において説明したストリーク状雑音が挙げられる。その原因は再構成法の不完全性である。また、X 線ビームが高吸収域を通過するとき投影データが低信号対雑音比となる [8, 9]。このような雑音を含む投影データを用いた不完全な逆投影法は、顕著なストリーク状雑音を生じ、低吸収域にまで影響を及ぼす。ストリーク雑音が重畳されると白色性雑音もしくは縞状雑音が発生するため、CT 画像の雑音は、非定常且つ非ガウス性雑音である。

図 5.1(a) , (b) および (c) に胸部ファントム画像を低線量 (10mAs) で撮像した 2mm slice 画像、高線量 (190mAs) で撮像した 2mm slice 画像および (a) から (b) を差分した画像をそれぞれ示す。本論文では、高線量 (190mAs) で撮像した画像の含有する雑音の振幅は、低線量 (10mAs) で撮像した画像に対して十分低いものとする。よって 190mAs 画像を原画像、10mAs 画像を観測画像とし、190mAs 画像および 10mAs 画像との差分を雑音とする。図 5.1(c) に見られる雑音は、画像内の位置により振幅が変化し、ストリークアーチファクトを含有していることから非定常雑音であることが分かる。このことから十分な線量を与えられていない X 線 CT 画像の画質は、局所のみで評価するのではなく可能な限り広域かつ多次元で評価することが理想的である。



(a)10mAs 2mm slice

(b)190mAs 2mm slice

(c)subtracted image (b) from (a)

図 5.1 observed image (10mAs) & original image (190mAs) & subtracted image 2mm-thickness

後述の SNR は，簡便な画質評価方法として広く知られており本章においては X 線 CT 画像の画質評価に SNR を用いる．

5.2 SNR

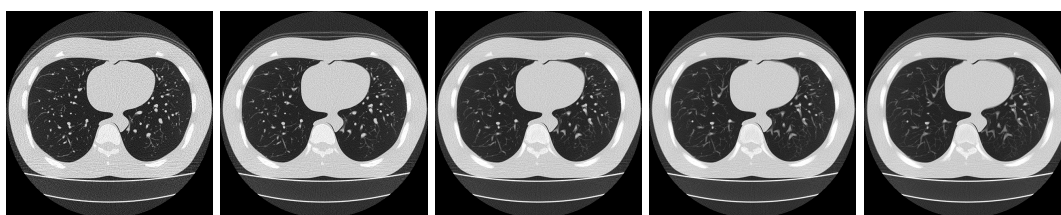
SNR は次式により求められる．

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{\sigma_{\text{signal}}^2}{\sigma_{\text{noise}}^2} \quad [\text{dB}] \quad (5.1)$$

σ_{signal}^2 および σ_{noise}^2 は，信号および雑音の分散値をそれぞれ示す．単位は [dB] デシベルである．本論文において σ_{signal}^2 は原画像の画素値の分散値， σ_{noise}^2 は雑音画像の画素値の分散値を示す．

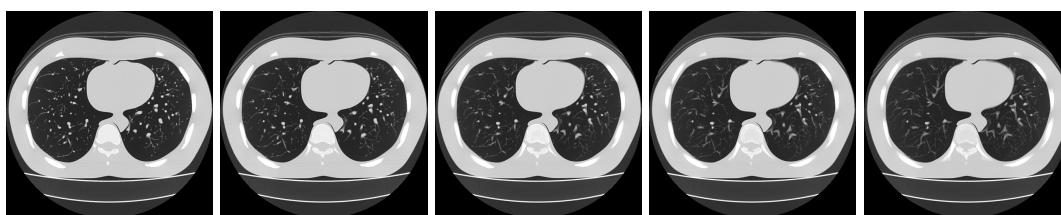
5.2.1 スライス厚および SNR との関係

図 5.2，図 5.3 および 5.4 は，観測画像，原画像および雑音画像を 2mm スライスから 10mm スライスまでスライス厚毎に各画像を並べて表示したものである．これらの画像はあらかじめ 2mm スライスで撮像した連続切片画像を複数枚加算平均し求めている．スライス厚が厚いほど雑音の振幅が小さくなっていることが分かる．また，図 5.5 にスライス厚および観測画像の SNR との関係を示す．スライス厚が厚くなるにつれ SNR が改善される様子が伺える．



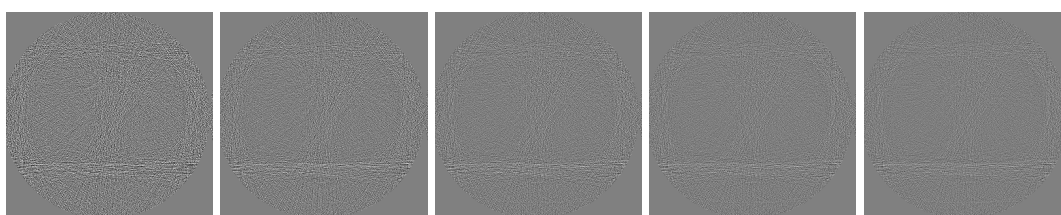
(a)2mm-slice (b)4mm-slice (c)6mm-slice (d)8mm-slice (e)10mm-slice

图 5.2 observed images vs. slice thickness



(a)2mm-slice (b)4mm-slice (c)6mm-slice (d)8mm-slice (e)10mm-slice

图 5.3 original images vs. slice thickness



(a)2mm-slice (b)4mm-slice (c)6mm-slice (d)8mm-slice (e)10mm-slice

图 5.4 subtracted image (noise image) vs. slice thickness

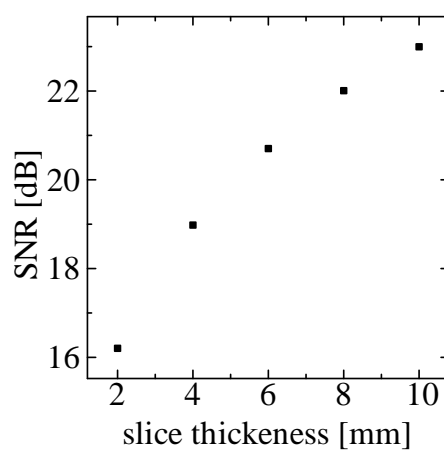


图 5.5 the slice thickness vs. SNR of the observed images

5.2.2 微細構造陰影検出時の thin slice 画像におけるスライス厚および SNR との関係

本小節では簡単な計算機実験を織り交ぜて X 線 CT 画像における部分容積効果と SNR との関係を解説する。

胸部 X 線 CT 検査においては厚いスライスを用いていてもある程度小さな脈管を観察可能であり、また、胸部 X 線 CT 検査においては脈管の周囲が空気で満たされているため、造影剤を用いないことなく容易に小さな脈管構造を観察することができる。これらの利点を踏まえても尚、肺 X 線 CT 検査において有用性が見出せる場合は、しばしば thin slice 画像による微細構造の分析を求められる。

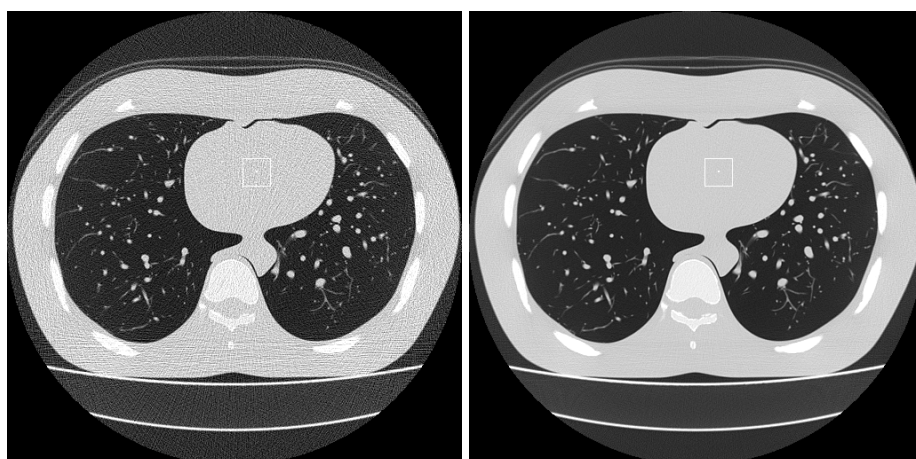
近年、thin slice 画像を得るために再撮像を実施するか否か、また、X 線量を増加させるべきか否か、等の照射線量と画質と関係に係わる最適化問題が議論の対象となっている。部分容積効果による信号強度の低下および画質との関係はトレードオフの関係にあり、また、thin slice 画像における SNR は、観察する被写体の信号強度に依存するため、照射 X 線量の最適化は極めて困難な問題である。通常、照射 X 線量の調整は撮像を担当する技術者の裁量に委ねられる。

前小節においてスライス厚および SNR はほぼ比例関係であることを示した。ならば厚いスライス画像の方が役に立つか、または良い画像であるかといえ、常に当てはまらない。なぜならば部分容積効果と呼ばれる断層画像特有の画像劣化が生じるからである。一般的な X 線 CT 画像はスライスの厚さに比例して部分容積効果が大きくなるため、厚いスライス画像による観察は微細構造の検出能力を低下させる。一方、thin slice CT 画像は一見雑音が多く、SNR が低下するよう感じられるが、部分容積効果の減少により目的とする構造物の信号強度を強くする。

次小節では注目する領域に絞って SNR を計測した場合、thin slice CT 画像であっても見かけ上の SNR は改善されることを明らかにする。

5.2.3 計算機実験

図 5.6 に 10mAs, 190mAs 2mm スライス厚で撮像した胸部ファントムの X 線 CT 画像をそれぞれ示す。腫瘍性病変内における石灰化の検出を想定し、白枠内中心部に画素値 500, サイズ 2*2 の点状陰影を埋め込んでいる。図 5.7 は図 5.6(a) に示す 10mAs の観測画像に図 5.2 と同様にあらかじめ用意しておいた 2mm スライスの 10mAs 画像の連続切片を加算平均したものであり、白枠内の画像を局所的に切り出した画像を並べたものであ



(a)10mAs 2mm slice

(b)190mAs 2mm slice

図 5.6 Images superimposed dot like shadow of the pixel value:500, pixel size:2*2. The SNR to be described in this subsection is calculated with the pixels in the white square.



(a)2mm-slice

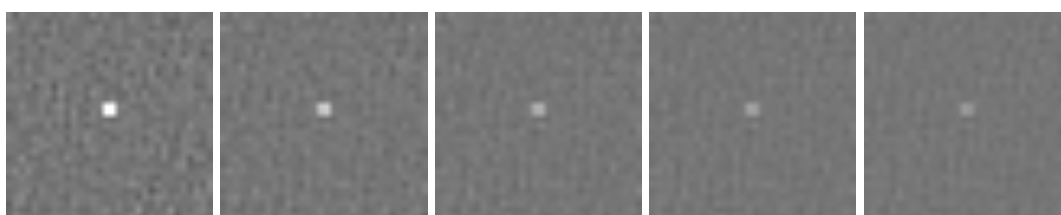
(b)4mm-slice

(c)6mm-slice

(d)8mm-slice

(e)10mm-slice

図 5.7 10mAs observed images with Fig.5.6(a) vs. slice thickness



(a)2mm-slice

(b)4mm-slice

(c)6mm-slice

(d)8mm-slice

(e)10mm-slice

図 5.8 190mAs original images with Fig.5.6(b) vs. slice thickness

る．2mm スライス画像では白い点状陰影を認識可能であるが，10mm スライス画像においては白い点状陰影は背景の雑音に埋もれ同定は困難である．

図 5.9 に観測画像の SNR およびスライス厚との関係を示す．本実験で述べる SNR は図 5.6(a) に示す白枠内部の画素値を用いて計算される．図 5.9 においてスライス厚を示す横軸は，部分容積効果と読み替えても差し支えない．すなわち部分容積効果の大きさと

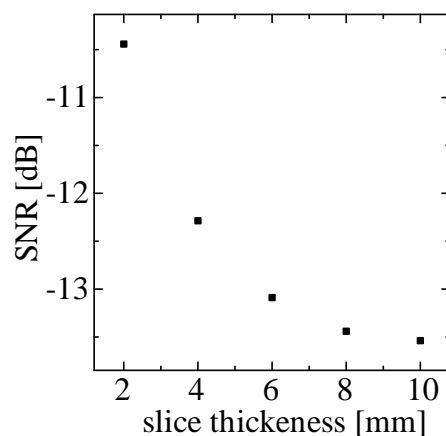


図 5.9 the slice thickness vs. SNR of the observed images considered partial volume phenomenon

SNR は負の相関があり，目視の場合と同様にスライスが厚くなるにつれ SNR が顕著に減衰していることが分かる．これは加算平均による雑音の低下よりも部分容積効果による信号の低下の方が画質低下の要因として影響が大きいことを示唆している．

参考文献

- [1] Moor 人体発生学 第4版, K.L.Moor (著), 星野一正 (訳), 医師薬出版, 東京, (1993)
- [2] High-Resolution CT of the Lung 4th Edition, W.Richard Webb, Nestor L.Muller, David P.Naidich, Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, (2009)
- [3] 肺末梢構造にせまる胸部画像診断, 田邊正忠, 伊藤春海, 金芳堂, 京都, (1995)
- [4] ハイツマン肺の診断 第3版, Stuart A.Groskin (著), 太田保世・堀江孝至 (訳), 医学書院 MYW, 東京, (1995)
- [5] 胸部 X 線写真の撮りかたと見かた, 堀尾重治, 医学書院, 東京, (1991)
- [6] Sobotta 図説 人体解剖学 第4版, Jochen Staubesand (著), 岡本道雄 (訳), 医学書院, 東京, (1999)
- [7] Azriel Rosenfeld and Avinash C. Kak, Digital Picture Processing Second edition Volume 1, Academic Press, (1982).
- [8] Jiang Hsieh: Adaptive streak artifact reduction in computed tomography resulting from excessive x-ray photon noise. American Association of Physicists in Medicine, vol.25, no.11, 2139-2147, (1998).
- [9] 森一生, 風間正博: ストリーク状 CT アーチファクトの緩和. Med Imag Tech, vol.21, no.4, 272-276, (2003).