ノート

Radiologic-anatomic Correlationによる
胸部単純X線画像に描出される胸椎・肋骨陰影の解析山口 功^{1,2)}・伊藤春海³⁾論文受付
2007年3月6日論文受理
2007年8月22日

Code No. 230

1) 福井大学医学部附属病院放射線部
2) 金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻
3) 福井大学医学部病態解析医学講座放射線医学領域
(現 福井大学)

緒言

近年, computed tomography(CT)などの医療機器の進歩にともない, 単純X線画像の重要性が薄れてきたかのように錯覚することがある。しかし, 単純X線画像は画像診断の基礎をなすことは疑う余地もなく, その汎用性の高さから初期検査や経過観察としての位置づけは非常に高い。特に胸部領域の診断において胸部単純X線画像の重要性は非常に高く, これを十分に評価することが, その後に続くCT診断の精度を向上させることは言うまでもない。

胸部単純X線画像を理解するためには解剖学的知識が必須である。伊藤は, 正常像を理解することの重要性を訴え, 正常像を的確に理解するにはradiologic-

anatomic correlationの観点に立った標準観察が必要と述べている¹⁾。この考えは, high-resolution CT(HRCT)による肺診断学の確立に多大な貢献をしたradiologic-pathologic correlation²⁻⁶⁾と合わせて画像診断の根幹を形成するものと考えられる。

通常, 撮影される胸部単純X線背腹画像でみられる胸椎陰影は, 上部胸椎と中・下部胸椎で形状に差異がある。これは解剖学的形態の違いや投影方向の違いから生じることが予測できるが, これらの基本的なX線画像解剖を理解することは撮影された整位の状態や被検者の体型を把握するために重要である。また, 二次元に投影された胸椎陰影は前後方向に重なり合っているため, 胸椎陰影を構成する椎体, 椎弓などがどの程

Radiologic-anatomic Correlation of Thoracic Vertebrae and Rib Shadows in Chest Digital Radiograph

Isao Yamaguchi,^{1,2)} and Harumi Itoh³⁾

1) Radiological Center, University of Fukui Hospital

2) Division of Health Sciences, Kanazawa University Graduate School of Medicine Science

3) Department of Radiology, Faculty of Medical Sciences, University of Fukui

(Current address: University of Fukui)

Received March 6, 2007; Revision accepted August 22, 2007; Code No. 230

Summary

The purpose of this study was to provide an introduction to parsing the radiologic appearance of thoracic vertebrae and ribs. In the study, the radiologic-anatomic correlation technique was applied to promote further understanding of normal chest radiographs. The thoracic vertebrae and ribs of chest radiographs were compared with each macroscopic radiologic and computed tomography(CT) image. The rib parsed the linear shadow of the body of the rib. The macroscopic and radiologic images of thoracic vertebrae and ribs were evaluated to explain their normal radiologic findings. The results of such correlation were summarized as follows: 1) The lamina of the vertebral arch was visualized due to anterior rotation of the upper thoracic vertebrae. 2) The density ratio of the thoracic-vertebrae shadow was almost the same in the vertebral body and vertebral arch. 3) The linear shadow superimposed on the rib corresponded to the inferior margin of the rib. The radiologic-anatomic correlation technique was useful to evaluate normal radiologic findings, and the study was useful to radiological technologists.

Key words: chest radiograph, pre-existing structure of lung, thoracic vertebrae, rib, radiologic-anatomic correlation別刷資料請求先: 〒910-1193 福井県吉田郡永平寺町松岡下合月23-3
福井大学医学部附属病院放射線部 山口 功 宛

度，X線写真濃度に関与しているかを把握することで，胸椎病変の発生部位を同定する貴重な情報の一つになると考えられる．胸部単純X線画像では，これらの投影形態やX線写真濃度に加えて，近年のデジタル画像技術の進歩にともない周波数処理などの画像処理が可能になったことから，これまで同定されなかった肋骨内部の線状陰影などの正常構造物が描出されるようになり，それらの解剖学的な解析も必要となった．

しかし，胸椎陰影の投影形態および濃度構成，また，肋骨内部の線状陰影を詳細に解説した成書や報告はなく，教育的見地からも明確にしておくことが必要である．そのため，われわれは，胸部単純X線背腹画像でみられる胸椎陰影，肋骨陰影の構成を理解するため，radiologic-anatomic correlationの観点に立って胸部単純X線背腹画像，胸椎・肋骨の乾燥骨標本および，そのX線画像，CT画像を相互に比較検討することを試みた．

1. 方法

1-1 上部胸椎陰影と下部胸椎陰影との描出形状の違い

1-1-1 胸部背腹正面および側面撮影体位での胸椎前傾角度

ボランティア10名(22～42歳，男性6名，女性4名)の胸椎前傾角度を皮膚表面において以下の基準で測定した．上部胸椎は検出器面と第7頸椎棘突起および肩甲骨下端部胸椎棘突起の接線がなす角度(Fig. 1-a)，下部胸椎は検出器面と肩甲骨下端部胸椎棘突起以下の背面に沿った直線がなす角度(Fig. 1-b)を胸椎前傾角度と定義し，背腹正面および側面撮影体位に整位した状態にて個々に測定した．また，胸厚と胸椎前傾角度の関係を解析するために肩甲骨下端部における胸部前後方向の胸厚を測定した．

1-1-2 胸部背腹正面X線画像の胸椎陰影と胸椎乾燥骨標本との比較

第1～3胸椎および第7～9胸椎の乾燥骨標本の椎体前面角度を前傾角度として，前項で測定した背腹正面撮影体位での前傾角度に合わせてX線画像を撮影し，椎体，椎弓，棘突起，横突起などが投影される形態を乾燥骨標本と比較した．

乾燥骨標本のX線画像は，富士フイルムメディカル株式会社製FCR5000Hおよび島津製作所株式会社製X線高電圧発生装置UD150B-30を使用して，管電流100mA，管電圧40kV，撮影時間40msec，撮影距離100cmにて各乾燥骨標本の中心付近にX線を入射し撮影した．

1-2 胸椎陰影のX線写真濃度に関与する解剖学的構成 胸椎陰影濃度に関与する解剖学的構成を分析するた

Fig. 1 Measurement of a thoracic-vertebrae anterior rotation angle.

a: Upper thoracic-vertebrae anterior rotation angle.

b: Lower thoracic-vertebrae anterior rotation angle.

め，最初に骨組織単独での構成を把握する目的で乾燥骨標本を用いた測定を行った．第7～9胸椎の乾燥骨標本をmulti-detector row CT(MDCT)にて撮影し，multi-planar reconstruction(MPR)を利用して椎体部と椎弓部(椎体部以外)に分離した．そして，それぞれの部位を前後方向で表示し(Fig. 2)，胸椎ごとにCT値の測定を行い，その平均値をもとに濃度に関与する割合を相対値として算出した．なお，相対値の計算は，測定したCT値に1000を加算した再計算CT値(recalibrated CT value: RCT)を用い次式にて行った．

$$\text{Density ratio of Vertebral body(\%)} = \frac{\text{RCT}_{\text{VB}}}{(\text{RCT}_{\text{VB}} + \text{RCT}_{\text{VA}})} \times 100$$

$$\text{Density ratio of Vertebral arch(\%)} = \frac{\text{RCT}_{\text{VB}}}{(\text{RCT}_{\text{VB}} + \text{RCT}_{\text{VA}})} \times 100$$

RCT_{VB} : Recalibrated CT value of Vertebral body,

RCT_{VA} : Recalibrated CT value of Vertebral arch

CT値は，それぞれの胸椎椎体陰影面積の90%以上をカバーする関心領域(region of interest: ROI)を設定し，椎骨全体，椎体部，椎弓部すべて同一位置で測定した(Fig. 2)．次に，通常の人体における濃度構成を分析するために正常ボランティア(42歳，男性：標準人体)の胸部CTより胸椎を抽出して同様の測定を行った．

CT画像は，GE横河メディカル株式会社製LightSpeed Ultraを使用し撮影した．撮影パラメータは，乾燥骨標本では管電流150mA，管電圧120kV，スキャン時間1.0sec/rot，スライス厚0.625mm，ピッチ1.0，再構成間隔0.3mm，また，正常ボランティアでは管電流

Fig. 2 Density ratio of thoracic-vertebrae shadow.

(a)Vertebrae.

(b)Vertebral body.

(c)Vertebral arch.

These images were reconstructed using MPR. Moreover, the ROI showed the CT value measurement area.

a | b | c

Fig. 3 Chest radiograph of the linear shadow superimposed on the rib(arrow)

100mA, 管電圧120kV, スキャン時間 0.7sec/rot, スライス厚1.25mm, ピッチ 0.875, 再構成間隔 0.5mmとした。そして, それぞれのデータセットを使用してMPR画像を作成した。なお, ボランティアは, 本研究に対する理解と同意を得たうえで撮影を実施した。

1-3 肋骨内部線状陰影の構成

近年のX線画像の描出能の向上によって, 第2から第8肋骨程度の肋骨陰影の内部に高吸収を示す線状陰影が観察されるようになり, われわれの施設で撮影された胸部単純X線背腹画像のほとんどで確認され, 形

状も近似したものであった(Fig. 3)。この構造物陰影の形成構造を明らかにするため, 第2肋骨および第6肋骨の乾燥骨標本ならびにそのX線画像を比較し仮説を立てた。そして, 予測された部位に金属糸を貼り, X線画像を撮影することで仮説を証明した。

2. 結果

2-1 上部胸椎陰影と下部胸椎陰影との描出形状の違い

2-1-1 胸部背腹正面および側面撮影体位での胸椎前傾角度

ボランティア10名の胸椎前傾角度をTable 1に示し

Table 1 Thoracic-vertebrae anterior rotation angle.

	Sex	Chest depth (cm)	The angle in P-A position(deg.)		The angle in Lateral position(deg.)		The angle difference of P-A and LAT(deg.)	
			Upper thoracic vertebrae	Lower thoracic vertebrae	Upper thoracic vertebrae	Lower thoracic vertebrae	Upper thoracic vertebrae	Lower thoracic vertebrae
1	M	18	25	1	18	0	7	1
2	M	20	30	2	19	1	11	1
3	M	23	35	1	24	1	11	0
4	M	22	30	2	20	1	10	1
5	F	16	26	1	16	1	10	0
6	F	19	29	1	21	1	8	0
7	M	21	28	2	20	1	8	1
8	M	22	35	0	24	0	11	0
9	F	16	25	0	17	0	8	0
10	F	19	32	1	23	1	9	0
Average		19.6	29.5	1.1	20.2	0.7	9.3	0.4

P-A: postero-anterior, deg.: degree, LAT: lateral

た．背腹正面撮影体位における上部胸椎および下部胸椎の前傾角度はそれぞれ， $29.5 \pm 3.69^\circ$ (range : 25 ~ 35度)， $1.1 \pm 0.74^\circ$ (range : 0 ~ 2度)であった．側面撮影体位における上部胸椎および下部胸椎の前傾角度はそれぞれ， $20.2 \pm 2.82^\circ$ (range : 16 ~ 24度)， $0.7 \pm 0.48^\circ$ (range : 0 ~ 1度)であった．また，Fig. 4に示すように上部胸椎の前傾角度は胸厚と相関があり，胸厚が厚くなるほど前傾角度が大きくなる傾向にあった．そして，これらの結果より背腹正面X線画像に描出されている上部胸椎は，側面X線画像でみられる胸椎前傾角度より約10度前傾した状態で投影されていることが理解できた．

2-1-2 胸部背腹正面X線画像の胸椎陰影と胸椎乾燥骨標本との比較

Fig. 5aに上部胸椎(第1, 第2胸椎)の乾燥骨標本を前傾角度30度にて撮影した肉眼的写真を，Fig. 5bにFig. 5aと同一方向から撮影した第1~3胸椎(上部胸椎)の乾燥骨標本のX線画像を示した．また，Fig. 5cに，第7~9胸椎(下部胸椎)の乾燥骨標本を前傾角度0度で撮影したX線画像を示した．これらの画像より，上部胸椎は下部胸椎と比較して異なる投影画像となっており，胸椎を正面視していないことから，以下のよう特徴的な投影形状を示すことが明らかになった．

- ・上部胸椎の椎間板は下部胸椎のように明瞭に分離されず，重なり合う椎体の境界が不明瞭となる．
- ・第1, 第2胸椎の横突起は上下方向で近接し，部分的に重なり合って投影される．
- ・第1胸椎椎弓板下縁と第2胸椎椎弓板上縁とで構成される領域が低濃度域として描出される．

Fig. 4 Relation between chest depth and upper thoracic-vertebrae anterior rotation angle.

- ・下部胸椎の棘突起は椎体の尾側に投影されるのに対して，上部胸椎では横突起や椎弓根とほぼ同一の高さに投影される．

2-2 胸椎陰影のX線写真濃度に関する解剖学的構成

Fig. 2に第7~9胸椎の乾燥骨標本の椎骨全体(a)，椎体部(b)，椎弓部(椎体部以外)(c)のMPR画像を示した．また，Table 2に乾燥骨標本および標準人体の各椎骨のCT値の平均値と含有濃度(百分率)の割合を示した．胸椎陰影の濃度に占める椎体部の割合は，乾燥骨標本で $56.78 \pm 3.22\%$ ，標準人体で $50.25 \pm 0.03\%$ であった．すなわち，乾燥骨標本および標準人体ともに胸椎陰影の濃度に占める椎体部と椎弓部の割合は，ほぼ同一であった．

Fig. 5 Macroscopic photograph and digital radiograph of thoracic vertebrae.

(a) Macroscopic photograph of 1st and 2nd thoracic vertebrae.

(b) Digital radiograph of 1st, 2nd, and 3rd thoracic vertebrae.

(c) Digital radiograph of 7th, 8th, and 9th thoracic vertebrae.

These images mimic the ones seen in chest radiographs.

a | b | c

Table 2 Density ratio of thoracic-vertebrae shadow.

		Vertebra	Vertebral body	Ratio(%)	Vertebral arch	Ratio(%)
Bone specimen	7	-571.93	-504.57	58.54	-649.19	41.46
	8	-567.39	-546.10	53.07	-598.56	46.93
	9	-533.02	-457.59	58.74	-619.04	41.26
Human body	7	219.21	226.32	50.27	213.21	49.73
	8	229.77	233.22	50.26	220.42	49.74
	9	215.41	231.30	50.22	220.42	49.78

2-3 肋骨内部線状陰影の構成

肋骨において肋骨体陰影の内部に観察される高吸収を示す線状陰影は、乾燥骨標本との比較により、肋骨が側胸部でねじれることによって肋骨体内面下部の尖部が描出されたものであることが予測された。Fig. 6に、肋骨体内面下部の尖部に添って金属糸を貼り付け、背腹方向でみられる方向に合わせて撮影した右第2肋骨の乾燥骨X線画像を示した。金属糸がない画像(Fig. 6a)でみられる肋骨体の線状陰影と、金属糸を貼った画像(Fig. 6b)とが一致することが確認された。また、第6肋骨においても同様の結果が得られたことから、肋骨体内面下部の尖部が投影されたものであることが証明された。

3. 考 察

本研究では、胸部背腹正面X線画像における胸椎陰影および肋骨陰影の投影構成を明らかにするため、乾燥骨標本と視覚的、X線学的な比較を行い解析した。

上部胸椎陰影と下部胸椎陰影の投影像における形状

の違いは、胸椎の生理的湾曲にともなう上部胸椎の前傾によって生じることが理解できる。この前傾角度は胸部側面X線画像でみられる胸椎前傾角度より約10度大きい角度となっている。これは、通常の背腹正面を撮影する体位が前胸部を検出器に密着させるために前傾角度の増大が生じたものと考えられる。また、胸厚によって胸椎前傾角度が変化することから、体型により上部胸椎の投影形態も異なることが示唆される。このような解剖学的な相違によって胸部背腹正面X線画像における上部胸椎は下部胸椎と比較して投影される方向に大きな差異が生じている。しかし、これとは対照的に、撮影距離100cm程度で撮影された胸部背腹正面X線画像では、上部胸椎においても椎間板が分離され投影されることが多い。これは、生理的湾曲に一致したX線束の広がりによって椎間板に平行にX線が入射されるために生じるものと考えられる。このように、撮影される環境によって胸椎陰影の形状が変化することがあり、正常像を理解しておくことが病態解析においても有用である。特にパンコースト型肺がんや

Fig. 6 Linear shadow superimposed on the rib.

(a) Digital radiograph of right 2nd rib.

(b) Digital radiograph of right 2nd rib pasted to the metallic thread.

The linear shadow superimposed on the rib corresponded to the inferior margin of the rib (arrows).

a | b

胸椎病変の観察には重要な情報になり得ることが考えられる。

胸椎陰影の濃度構成は、乾燥骨標本と標準人体の測定結果から算出した構成因子ごとの相対的割合がほぼ等しいことから、骨構成成分⁷⁾であるミネラルおよび骨基質のX線吸収が写真濃度に大きく関与していることが理解できる。また、胸椎陰影の構成因子のなかで椎体は、その大きさから大部分の濃度を占めているように思われがちである。しかし、今回の検討では、椎体とそれ以外の椎弓などが構成する部分の濃度の割合はほぼ等しいという結果が得られている。これは、椎体が椎弓などと違い海面骨を多く有する構造になっている⁸⁾ことで、保有する体積に比してX線吸収が少なくなることに起因していると考えられる。

近年のデジタル技術の進歩によって、今までのX線画像では指摘できなかった陰影が描出されることがある。その一つに、今回検討した肋骨体内部の線状陰影がある。通常では見過ごされるような陰影ではあるが、同部位に骨折や転移などの病変が疑われる場合、正常な構造を理解していないと評価できないということも起こりかねない。肋骨は後上方から前下方へ向かい、胸骨近くで角をなし、上方へ向かう。第1、第2肋骨では肋軟骨との境界部で、他の肋骨では肋軟骨部で曲がっている。その前胸部で尾側に向かう経路で肋骨がねじれ、そのねじれの部分が投影像では重なり合い高吸収域となる。また、肋骨体内面下部には肋骨頸から前方に走る肋骨溝があり、溝は前端近くで不明瞭となる。この肋骨溝は、肋間神経・肋間動静脈が入る

ため薄く尖った構造になっており、肋骨のねじれとの相乗効果によって強い線状陰影として描出されたものと考えられる。

以上のように標本との比較によって極めて有用な結果が得られ、radiologic-anatomic correlationの重要性^{9~12)}を再認識することができた。また、正常像の理解を進めるradiologic-anatomic correlationは、教育、指導していく立場から重要であり、この方法を多くの場面で実践することは解剖学的知識のみならず、画像検査技術の向上にもつながるものと考えられる。

4. 結 語

胸部単純X線背腹画像にみられる胸椎陰影および肋骨陰影を胸椎、肋骨の乾燥骨標本およびそのX線画像、CT画像と相互に比較することで解析した。胸椎陰影は生理的湾曲で生じる前傾によって、上部胸椎では前上部から標本を観察した構造がX線画像上に投影されることになる。これによって椎体の境界が不明瞭になり、横突起、棘突起、椎弓板などが下部胸椎とは異なる形状で描出される。また、胸部X線画像に投影される胸椎陰影の濃度は、椎体とそれ以外の椎弓部でほぼ同一の割合で構成されている。肋骨体内部の線状陰影は、肋骨が側胸部で捻じれることによって肋骨体内面下部の尖部が描出されたものである。

本研究では、胸椎陰影および肋骨陰影の解析とともに乾燥骨標本との比較によって極めて有用な結果を得ることができ、radiologic-anatomic correlationの重要性を再認識できるものであった。

参考文献

- 1) 伊藤春海: 胸部エックス線写真, CTの正常像を見直す - Radiologic-Anatomic Correlation - . 肺癌, 46(1), 49-57, (2006) .
- 2) Itoh H, Tokunaga S, Asamoto H, et al.: Radiologic-pathologic correlations of small lung nodules with special reference to peribronchiolar nodules. AJR Am J Roentgenol, 130(2), 223-231, (1978) .
- 3) Murata K, Itoh H, Todo G, et al.: Centrilobular lesions of the lung: demonstration by high-resolution CT and pathologic correlation. Radiology, 161(3), 641-645, (1986) .
- 4) Hruban RH, Mezziane MA, Zerhouni EA, et al.: High resolution computed tomography of inflation-fixed lungs. Pathologic-radiologic correlation of centrilobular emphysema. Am Rev Respir Dis, 136(4), 935-940, (1987) .
- 5) Mezziane MA, Hruban RH, Zerhouni EA, et al.: High resolution CT of the lung parenchyma with pathologic correlation. Radiographics, 8(1), 27-54, (1988) .
- 6) Stein MG, Demarco T, Gamsu G, et al.: Computed tomography: pathologic correlation in lung disease due to tocinide. Am Rev Respir Dis, 137(2), 458-460, (1988) .
- 7) 腰原康子: 14 骨の構造. 骨の辞典, pp.240-241, 朝倉書店, 東京, (2003) .
- 8) 三木隆己: 15 骨の破壊と再生. 骨の辞典, pp.252-255, 朝倉書店, 東京, (2003) .
- 9) Torres WE, Clements JL Jr, Austin GE, et al.: Cricopharyngeal muscle hypertrophy: radiologic-anatomic correlation. AJR Am J Roentgenol, 142(5), 927-930, (1984) .
- 10) Ehara S, el-Khoury GY, and Bergman RA: Target pedicle of T-12: radiologic-anatomic correlation. Radiology, 174(3), 871-872, (1990) .
- 11) Bankier AA, Fleischmann D, Mallek R, et al.: Bronchial wall thickness: appropriate window settings for thin-section CT and radiologic-anatomic correlation. Radiology, 199(3), 831-836, (1996) .
- 12) Ibukuro K, Tsukiyama T, Mori K, et al.: Precaval draining vein from paraesophageal varices: radiologic-anatomic correlation. AJR Am J Roentgenol, 172(3), 651-654, (1999) .

図表の説明

Fig. 1 胸椎前傾角度の測定

a: 上部胸椎, b: 下部胸椎

Fig. 2 胸椎陰影の濃度構成(乾燥骨標本のX線画像)

(a) 椎骨全体, (b) 椎体部, (c) 椎弓部(椎体部以外)

写真は, MPRを利用して再構成することで作成した. 関心領域は, CT値測定領域を示した.

Fig. 3 胸部X線画像に描出された肋骨内部の線状陰影(矢印)

Fig. 4 胸厚と胸椎前傾角度との関係

Fig. 5 乾燥骨標本とそのX線画像

(a) 第1, 第2胸椎の乾燥骨標本写真

(b) 第1~3胸椎のX線画像

(c) 第7~9胸椎のX線画像

写真は, 胸部X線画像の描出形態を模擬したものを示した.

Fig. 6 肋骨内部の線状陰影

(a) 右第2肋骨の乾燥骨X線画像

(b) 金属糸を貼った右第2肋骨の乾燥骨X線画像

肋骨体の線状陰影は, 肋骨体内面下部の尖部が描出されたものであった(矢印).

Table 1 胸椎の前傾角度

Table 2 胸椎陰影の濃度構成(乾燥骨標本および標準人体)