

伸展固定ヒト肺を用いた気管支分岐様式の検討

— 気管支娘枝とその他の気管支分枝との対比を中心に —

加藤 誠也 小場 弘之
札幌医科大学内科学第3講座 (主任 鈴木 明 教授)

Analysis of Bronchial Branching Pattern Using Inflated and Fixed Human Lung

— With Special Reference to Comparison Between Daughter Branches
and the Other Types of Branches —

Seiya KATOH and Hiroyuki KOBA
Department of Internal Medicine (Section 3), Sapporo Medical College
(Chief : Prof. A. SUZUKI)

ABSTRACT Numerous studies on bronchial branching pattern were performed in the 1960's using the bronchial cast. Weibel's symmetrical branching model is still very popular and was widely applied for physiological studies. However, it was confirmed by Horsefield *et al.* that a lot of asymmetrical dichotomy exists in human lungs.

In Japan, Yamashita used the term daughter branches for smaller branches of asymmetrical dichotomy. The concept of daughter branches become important as a result of recent advances in the modality of image diagnosis which made it possible to visualize the inner zone in the transaxial plane. Although the outline of the daughter branches has already been reported, detailed measurement of daughter branches in comparison with the other types of branching has not yet been done.

In this study, we measured the diameter and branching angle of almost all bronchi using an inflated and fixed lung prepared by Heitzman's method. The branching angles were determined using a three-dimensional image analyzing system. The bronchi were classified into several groups according to the branching patterns. Daughter branches and axial branches are the smaller and larger branches of asymmetrical dichotomy, respectively. Symmetrical branches are branches with symmetrical dichotomy.

The ratio of diameters of daughter, axial and symmetrical branches to parent branches were 0.54 ± 0.11 , 0.91 ± 0.10 and 0.77 ± 0.15 (mean \pm S. D.), respectively. The ratio of diameters of daughter, axial and symmetrical branches to other branches bifurcating from the same parent branch were 0.61 ± 0.15 , 1.69 ± 0.33 and 1.03 ± 0.25 , respectively. The branching angles of daughter, axial and symmetrical branches were 56.3 ± 19.6 , 21.0 ± 14.9 and 34.8 ± 16.1 , respectively. Daughter branches frequently exist in S⁸ and S⁹.

Ninety percent of the symmetrical and axial branches supplied the outer layer in the transaxial plane, however, almost the same percentage of daughter branches supplied the inner layer. The favorable ratio of diameters of one branch to another to select daughter branches from dichotomous branches was 0.75.

These results are expected to contribute a great deal to the study of the influence of branching pattern on unhomogeneity in the transaxial plane of the human lung.

(Received September 10, 1991 and accepted september 25, 1991)

Key words: Daughter branch, Inflated and fixed lung, Three-dimensional image analyzing system

1 結 言

気管支の分岐形態については1960年代までにシリコン樹脂等を気管支から注入して作製した鋳型模型を用いて気管支径や分岐角度などについて多くの研究がなされている。それらの中でもWeibel¹⁾の業績は特に有名で呼吸生理学の分野でのモデルになっているが、Weibelが実際に標本で検討したのは第5次分岐程度までであり、それより末梢は同大分岐するという仮定のもとに計算されたものである。これに対して、Horsefield and Cumming²⁾はさらに末梢にいたるまでの気管支について検討し、ヒトの気管支分岐には多くの不同大分岐が存在することを確かめている。一方、山下ら³⁾は気管支分岐を親枝と娘枝に分けて、胸膜表面に到る親枝が気管支の走行を決定する主軸枝の役目を果たすのに対して、娘枝は同大分岐と同大分岐の間で適当な間隔をおいて分岐し、親枝の間の空間を埋めるように配置しているとしている。

このように気管支の不同大分岐に関する解剖学的事実は知られるところであったが、臨床的な事象との関連については検索する方法がないために、充分な知見が得られないままであった。

肺の病変分布あるいは機能の上での不均一性については常識となっており、上葉と下葉での換気血流比、リンパ流、代謝、力学などによって説明されていたが⁴⁾、CT, single photon emission computed tomography (SPECT) あるいはpositron emission transaxial tomography (PETT) によって横断画像が容易かつ明瞭に得られ、層別の病態の違いが指摘されるようになると、それらの背景として気管支分岐の様式とその支配領域に関する詳細な知識がむしろ臨床に近い場面で求められるようになってきた⁵⁻⁷⁾。また、コンピュータを用いたシミュレーションによって、種々の分岐形態における気流の分配あるいは粒子の沈着についての検討がなされている⁸⁾。

このような視点から娘枝の分布、気管支径、支配領域等の概要については、佐藤ら⁹⁾、伊藤ら¹⁰⁻¹¹⁾、伊藤¹²⁾、著者ら¹³⁾によって報告されているが、同大分岐及び不同大分岐を含めて包括的かつ計量的な検討は不十分である。

本論文では臨床的な層別の病態の違いと気管支の分岐様式に起因する換気あるいは粒子沈着の違いを関連

させるのに必要な基礎的なデータを得るため、一側肺のほぼ全ての気管支の分岐について、特に娘枝と娘枝以外の気管支との対比において計測と検討を行った。

2 材料及び方法

2.1 材 料

今回検討に用いた材料は窒息死した22歳女性の左肺であった。軽度のうっ血を認めた他には、気管支を中心とした形態を検討するのに問題となるような病変は存在しなかった。

2.2 伸展固定標本の作製

左主気管支にカニューレを挿入し、Heitzmanの方法による固定液(ポリエチレングリコール400:95%エタノール:ホルマリン:水を10:5:2:3の割合で混和したものを30 cm H₂Oの圧になるように注入して3日間固定した後、スタンドに吊してコンプレッサー(BENET TA-1)を用いて10 cm H₂Oの定圧で送気し、乾燥させた。この乾燥させた全肺を約5~6 mm厚の横断方向のスライス標本にした¹⁴⁾。

2.3 軟X線像の作製

軟X線像は遮光のための黒袋で包んだ軟X線用フィルム(FUJI, INDUSTRIAL, FR)の上に標本を置いて、軟X線装置(ソフテックス社CMS-2)を用いて、14KVp, 3mA, 2分30秒、焦点スィフム間距離62 cmの条件で撮影した。

2.4 トレース図の作製及び立体構築

軟X線像を写真撮影し、正確な2倍大の白黒写真を作製した。この2倍大の写真にトレース用の白紙を重ねて、トレース台の透過光上で全体の輪郭と主要な構造を記入した。ついで、ズーム機能と描画装置のついた実体顕微鏡の拡大率を上述のトレース図に一致するように合わせて、標本の表面に見られる構造を片面ずつトレース図の表裏に描き写した。軟X線像についても同様に拡大率を合わせて実体顕微鏡下に詳細にトレースを行い、スライスの内部の構造とトレース図の両表面の構造をつなぎ合わせた。このように2倍大の写真を作製し、予め主要な構造を記入しておく、実体顕微鏡の周辺視差に起因する像の歪みによって起こるズレを防ぐことができる。このようにして描いたトレース図をFig. 1に示す。

上下の連続したスライスのトレース図を透過光上で重ね合わせて、気管支血管系や小葉間結合織等の立体

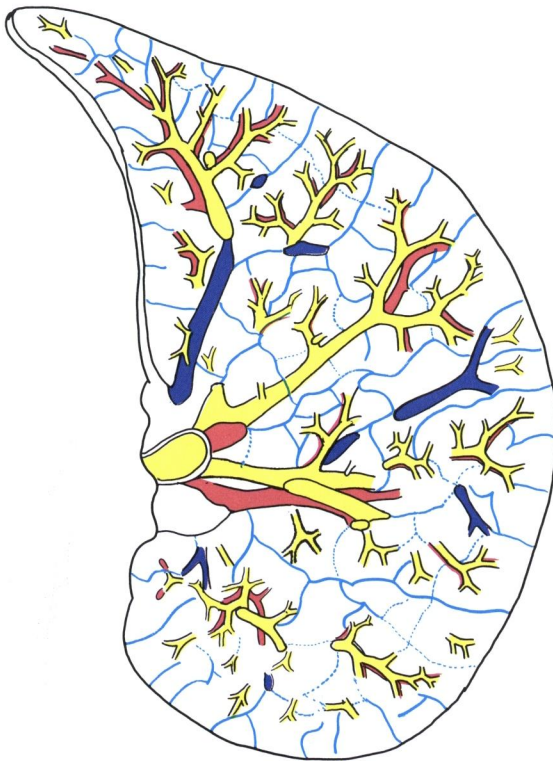


Fig. 1 Schematic drawing of a traced slice.

Bronchi, pulmonary arteries and pulmonary veins are colored in yellow, red and blue, respectively. The light blue lines are interlobular septa observed under a dissection microscope. The light blue dotted lines indicate the borders of the secondary pulmonary lobules estimated from the directions of the alveolar ducts. The thickness of this slice is about 6 mm.

的再構築を行い、個々の気管支の支配領域を決定した。検討した気管支はMillerの定義による二次小葉(すなわち、小葉間結合織に囲まれた部位)⁹⁾を支配する気管支までで、小葉間結合織の発達が悪い部位については肺泡道の流れより小葉の辺縁を推定した¹⁰⁾。

2.5 分岐様式に基づく気管支の分類方法

気管支分岐は一つの気管支から分岐する気管支の数によって二分岐、さらに三分岐、四分岐といった多分岐に分けられる。本研究での二分岐の気管支の分類の方法をFig. 2に示す。主に気管支の支配領域を比較の基準として、同大分岐した2本の気管支を“同大分岐枝”，不同大分岐した気管支の大きい方を“主軸枝”，小さい方を“娘枝”とした。三分岐した気管支にも不同大分岐が存在するが、今回の検討では一括して“三分岐枝”として扱った。また、娘枝の末梢にも同大分岐、

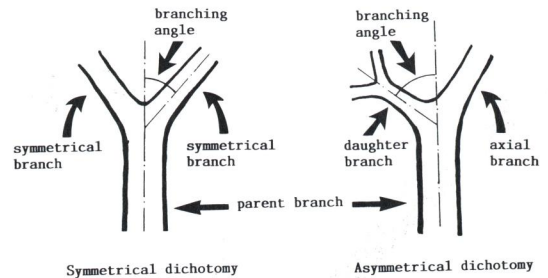


Fig. 2 Classification of the bronchi and measurement of branching angle.

The symmetrical branch is defined as a branch with symmetrical dichotomy. The daughter branch and axial branch are the smaller and larger branches of asymmetrical dichotomy, respectively.

不同大分岐、三分岐枝とも存在するが、すべて一括して“娘枝の末梢枝”として分類した。また、“親枝”はいづれの分岐様式においても、分岐の中軸側の気管支とした。

2.6 計測項目及びその方法

2.6.1 気管支の区域解剖学的部位及び分岐次数

気管支及びその支配領域の区域解剖学的部位はYamashitaの区域解剖学に従った¹⁵⁾。

分岐次数は日本肺癌学会の肺癌取扱規約に基づいて、葉枝を1次、区域枝を2次、亜区域枝を3次、以下同大2分岐毎に一つ次数を増やす方法で記載した¹⁶⁾。ただし、不同大分岐については娘枝のみ次数を一つ増したが、主軸枝側については娘枝の存在を分岐次数の算定に含めず、分岐後も同じ分岐次数とした。

2.6.2 気管支の直径の計測

気管支の直径は軟X線像を用いて、分岐と分岐の概ね中間点で気管支壁が平行になるところの内腔を0.1 mm単位の日盛りの付いたルーペを用いて測定した。計測値は平均±標準偏差で示した。

2.6.3 気管支の分岐角

気管支の分岐角は親枝の進行方向に対する角度を三次元画像処理システムを用いて計測した(Fig. 2)。今回検討に用いた三次元画像処理システム(Shadow System)はパーソナルコンピュータ(日本電気製、PC-9800)にデジタイザー(フォトロン社製グラディマスタU4-30, Mark II)を接続したもから成り立っている。デジタイザーを使って断面像を入力し、その間のスライス厚を与えると任意の方向からの三次元画像を表示し、その体積を求めることが出来る。また、三次元内に存在する任意の断面上の任意の3点を指定するとその角度を計算することができる。

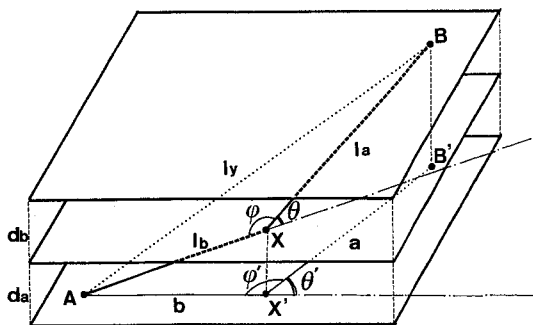


Fig. 3 Estimation of the angle in three-dimensions from the length and angle in the plane and thickness of the plane.

測定する3点の一つのスライス内の5~6mmの厚さの中での位置は必ずしも厳密には特定できないので、これに起因する誤差は避けられない。そこで許容できる誤差で測定可能な水平方向と垂直方向の距離と一平面上での角度の関係を明らかにするため、以下のような検討を行った (Fig. 3)。

異なる水平面に存在する3点をA, X, B, とし、それぞれの向かい合う辺 BX, AB, AX の長さを l_a, l_y, l_b , とする。 $\angle AXB$ を φ とすると測定する角度 $\theta = \pi - \varphi$ となる。

X 及び B を A が存在する平面に投影した点をそれぞれ X', B' , そして、A, X', B' のそれぞれ向かい合う辺 $B'X', AB', AX'$ の長さを a, y, b とする。A および X が存在する平面の間隔を d_a , B および X が存在する平面の間隔を d_b とすると、3次元での実際の長さ l_a, l_b, l_y はそれぞれ

$$l_a^2 = a^2 + d_b^2,$$

$$l_b^2 = b^2 + d_a^2,$$

$$l_y^2 = y^2 + (d_a + d_b)^2,$$

となる。

$\angle AX'B'$ を φ' とすると平面に投影される角度 $\theta' = \pi - \varphi'$

余弦の定理より

Table 2 Incidence of daughter branches in the broncho-pulmonary segments

Segment	1+2	3	4	5	6	8	9	10
N	31	30	15	10	26	29	25	28
Incidence	14.5%	17.1%	18.5%	14.7%	16.4%	24.2%	21.7%	18.5%
Diameter (mm)	0.97	1.03	1.09	1.16	0.96	1.09	1.03	1.06
R to P. B.	0.54	0.53	0.50	0.55	0.53	0.56	0.57	0.55
R to A. B.	0.59	0.61	0.60	0.70	0.61	0.62	0.66	0.60

R to P. B.: ratio to parent branch

R to A. B.: ratio to the other branch bifurcating from the same parent branch

$$y^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \varphi'$$

$$\cos \varphi = \frac{(l_a^2 + l_b^2 - l_y^2)}{2 l_a l_b}$$

$$= \frac{ab \cos \varphi' - d_a d_b}{\sqrt{(a^2 + d_b^2)(b^2 + d_a^2)}}$$

$$\theta = \pi - \cos^{-1} \frac{(ab \cos(\pi - \theta') - d_a d_b)}{\sqrt{(a^2 + d_b^2)(b^2 + d_a^2)}}$$

このようにして計算した理論的な誤差が10°以内になる範囲は平面上での角度が概ね5°以上で、それをほさむ2辺の平面上に投影される距離が概ね10mm以上のものであったので、測定はこれらの範囲のものについて行った。計測値は平均±標準偏差で示した。

2・6・4 水平方向の層別分類

水平断面上で胸壁に接する胸膜から概ね1.5cm程度までを外層、それよりも内側を内層とした。中枢部から分岐する太い気管支は内層にも外層にも支配領域を持っているが、これらは外層支配群に含めた。

3 成績

3・1 分岐様式と分岐次数

Table 1 Class and order of the measured bronchi

Order	DB	AX	SYM	TRI	DBD	Total
3	1	6	8	0	0	15
4	9	34	37	9	4	93
5	34	47	72	10	18	181
6	50	66	101	46	26	289
7	62	33	132	21	21	269
8	30	12	79	19	8	148
9	8	1	33	9	5	56
10	1	0	14	6	0	21
	195	199	476	120	82	1072

DB : daughter branch, AX: axial branch

SYM: symmetrical branch

TRI : trichotomy branch

DBD : distal branch of daughter branch

計測を行った二次小葉支配以上の気管支は左肺全体で1072本であった。Table 1に2・5及び2・6に述べた方法による内容を示す。今回とりあげた次数の算出方法では概ね8次分岐までに小葉支配気管支に到達する。また、娘枝は3次気管支以降のあらゆる分岐次数の気管支に存在した。

また、区域毎に娘枝の出現頻度を比較したところ S^8 , S^9 に多く認められた (Table. 2)。

3・2 分岐型の違いによる気管支の性質

3・2・1 親枝の気管支径との比

親枝と主軸枝との径比の平均が 0.91 ± 0.10 であるのに対して、娘枝では 0.54 ± 0.11 、同大分岐枝ではその中間の 0.77 ± 0.15 であった (Fig. 4)。

3・2・2 同じ親枝から分岐する相手の枝の気管支径との比

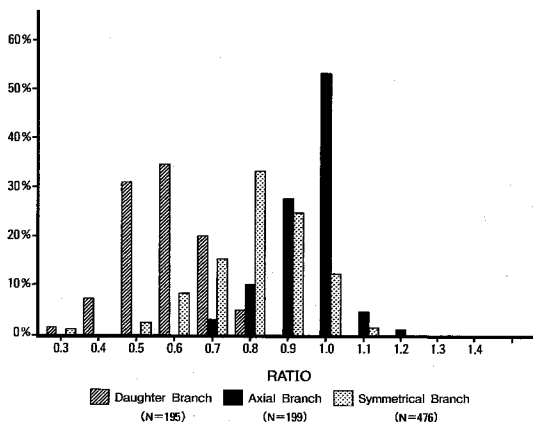


Fig. 4 Frequency distribution of the ratio of diameter to the parent branch.

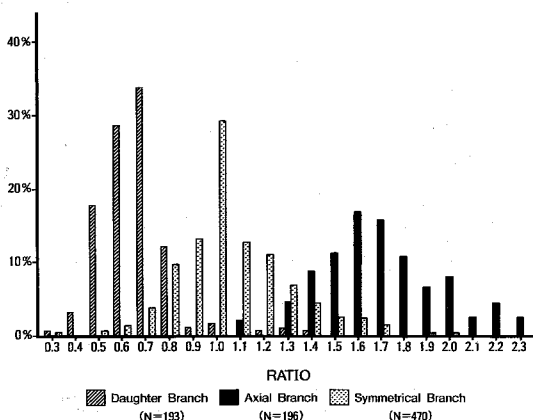


Fig. 5 Frequency distribution of the ratio of diameter to the other branch.

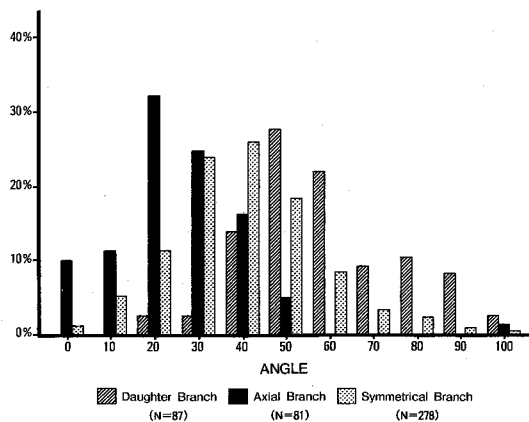


Fig. 6 Frequency distribution of the angle.

同じ親枝から分岐する相手の気管支径との比 (以下「相手の枝との径比」)の平均は主軸枝が 1.69 ± 0.33 であるのに対して、娘枝では 0.61 ± 0.15 、同大分岐枝ではその中間の 1.03 ± 0.25 であった (Fig. 5)。

3・2・3 分岐角度

分岐角度の平均値は主軸枝が 21.0 ± 14.9 度であるのに対して、娘枝では 56.3 ± 19.6 度、同大分岐枝ではその中間の 34.8 ± 16.1 度であった (Fig. 6)。

3・2・4 娘枝及びその支配領域

トレース図を連続3~4スライス分程度 (厚さ15~20mm) 重ね合わせて描いた気管支分岐とその支配領域の模式図をFig. 7に示す。気管支娘枝は図に示すように3次以下のあらゆる次数の気管支から、主軸枝に較べると大きい分岐角度で分岐して、主に内層に支配している。しかし、図中に白キマ矢印で示すように外層を支配している娘枝も一部に認められる。逆に、図中で矢印で示す内層を支配する主軸枝、同大分岐枝も認められる。 B_b 、 B_a は支配領域の大きさからすると同大分岐枝になるが、縦隔側に存在し、分岐角度は大きい。

主軸枝および同大分岐枝の約9割は外層支配であるのに対して、娘枝の約9割が内層を支配していた (Fig. 8)。また、内層に支配領域を持つ気管支のうち娘枝と娘枝の末梢枝が約67%を占めたが、同大分岐枝あるいは主軸枝も20%程度あった。同じく外層に支配領域を持つ気管支の中では同大分岐枝と主軸枝が85%を占め、娘枝と娘枝の末梢枝は極めて少なかった (Fig. 9)。

3・3 径比に基づく娘枝の選別方法

3・3・1 径比からみた各気管支

二分岐枝について、親枝との径比、及び相手の枝との径比とも0.05ずつ区切って、各々の径比以下の気管支を娘枝、それを越えるものを娘枝以外の二分岐枝 (す

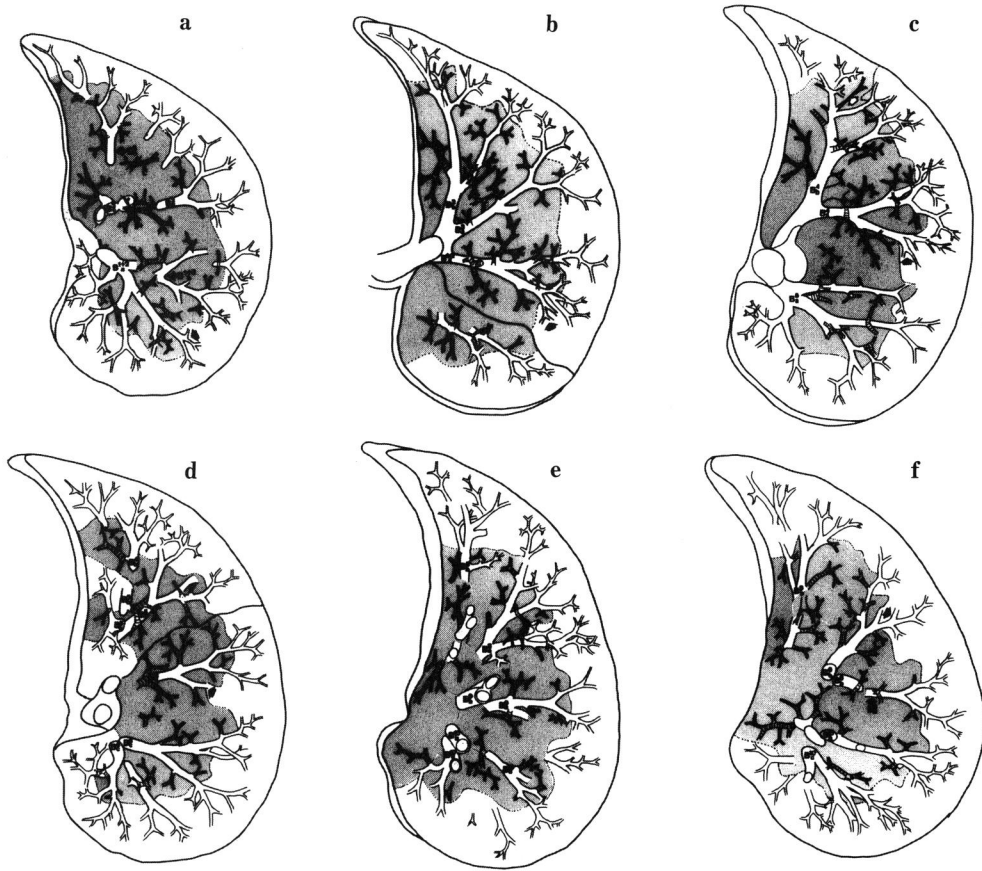


Fig. 7 Schematic drawing of daughter branches and their supplying area.

The transaxial slices from (a) to (f) are shown according to the direction from the apex to the base of the lung. The indicated bronchi obliquely lined are daughter branches. The shaded areas show the areas supplied by the daughter branches. Closed arrows indicate the symmetrical branches supplying the inner zone, while open arrows are the daughter branches supplying the outer zone.

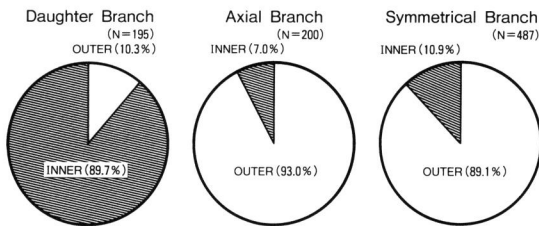
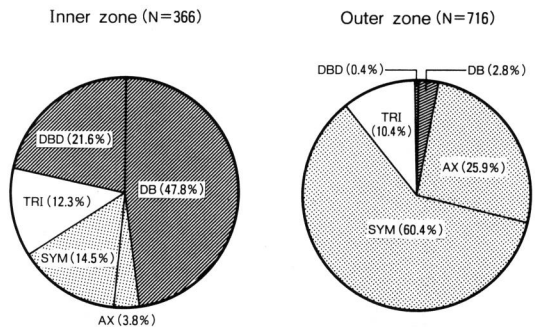


Fig. 8 Supplying zone of each branch.

なわち主軸枝あるいは同大分岐枝)として選別した場合に、今回の分類方法による娘枝とそれ以外の二分岐枝(同大分岐枝と主軸枝)との一致率を示す(Tabl. 3).

娘枝と親枝との径比よりも相手の枝との径比の方が一致率が高く、親枝との径比では0.65をcut offとした場合娘枝では87.6%、それ以外の枝は86.8%の一致



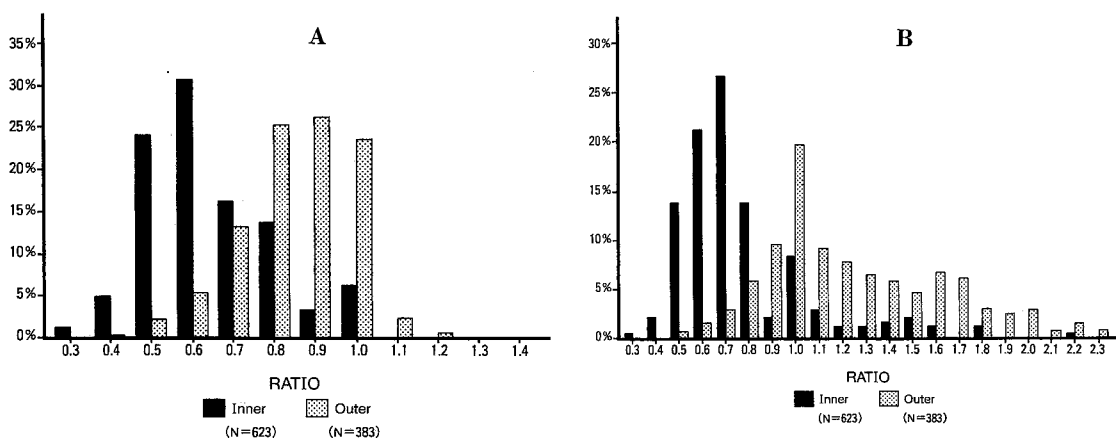
DB: daughter branch, AX: axial branch, SYM: symmetrical branch
TRI: trichotomy branch, DBD: distal branch of daughter branch

Fig. 9 Classes of the branches in the inner and outer zone.

Table 3 Concordance rate between the daughter branches by our classification and those by the ratio of diameters to the parent branch and to the other branch

Parent Branch					The other Branch				
Ratio	AX and SYM (N=672)		DB (N=194)		Ratio	AX and SYM (N=672)		DB (N=194)	
	N	%	N	%		N	%	N	%
0.55	644	95.5%	99	51.0%	0.65	656	97.3%	138	71.1%
0.60	616	91.4%	144	74.2%	0.70	646	95.8%	161	83.0%
0.65	585	86.8%	170	87.6%	0.75	628	93.2%	176	90.7%
0.70	537	79.7%	183	95.3%	0.80	600	89.0%	184	94.8%
0.75	447	66.3%	192	99.0%	0.85	574	85.2%	186	95.9%

DB: daughter branch, AX: axial branch, SYM: symmetrical branch

**Fig. 10** Frequency distribution of ratio of diameters in the inner and outer zone.

A: ratio of diameters to the parent branch

B: ratio of diameters to the other branch bifurcating from the same parent branch

率であったのに対して、相手の枝との径比でみると0.75をcut offとすると娘枝では90.7%，それ以外(主軸枝と同大分岐枝)では93.2%の一致率となった。親枝との径比からは同大分岐枝と主軸枝を区別できないが、相手の枝との径比でみると0.75とその逆数1.30までの間を同大分岐枝、それ以上を主軸枝と決めることができる。

3・3・2 内層、外層における径比毎の気管支の割合

内層あるいは外層を支配する気管支の径比を0.05毎に区切って比率を示した。内層支配の気管支に径比が小さいものが多いが、相手の枝との径比で0.7から1.0前後のものも少なくない (Fig. 10)。

4 考 察

4・1 気管支の分岐様式を検討する方法として本法と鋳型法の比較

気管支の分岐様式に関する研究は古くから気管支にシリコンゴムあるいは合成樹脂などを充填してから周囲の組織全てを腐食させて、気管支の鋳型を作製する方法で行われてきた²⁾。この方法では充填が不十分なことがしばしば起こる欠点があった。それに対してHeitzmanの方法による伸展固定は前述のような方法で容易に比較的生理状態に近い標本を得ることができる。

気管支分岐角度の計測は従来方法では5°毎のスケールを分岐部にあてて、計測する方法であったのに対して^{17,18)}、今回はスライス標本から3次元画像解析システムを用いて3次元空間の3点の角度を計算して求めた。今回は左全肺について検索する目的から厚さが5~6mmのスライス標本までしか作製しえなかったために、厚さに起因する理論的測定誤差を5~10°まで許容せざるを得なかったが、マイクロスライサー(D. S. K. 堂坂イーエム製, DTK-3000W)を用いて正確な薄切標本を作製

すれば、きわめて精度の高い計測あるいは従来得ることのできなかつた小葉内の細気管支の分岐角の算出も可能である¹⁰⁾。

また、従来の方法では組織を腐食させて鑄型を得たために、今回行ったような気管支と肺組織の相互の関係を検討することは不可能であった。それに対して、今回の気管支径とその支配領域との関係の検討は気管支と肺実質を切り離すことなく検討できる本法によって、初めて可能になったものである。

気管支の径の測定に関しては、鑄型法では内径しか測定できなかつたが、本法では必要に応じて外径も容易に測定できる。ただし、鑄型法では短径と長径の両方を計測できるのに対して、本法ではスライスに対して垂直な方向の径しか測定できない。気管支の断面は概ね正円に近いが、特に分岐間の距離が短い場合には楕円になることもあり、測定のバラツキの一因となっていることも考えられる。

4・2 気管支分岐次数の数え方

気管支分岐次数の数え方は大きく分けて中枢側から末梢に向かって数える方法と末梢から中枢に向かって数える方法がある^{2,18)}。今回は基本的には前者の方法であるが、同大分岐については双方とも一つずつ分岐次数を増やしたのに対し、不同大分岐については娘枝のみ次数を一つ増したが、主軸枝については分岐次数の算定には含めず、分岐後も同じ分岐次数とした。これは娘枝は3次あるいは4次といった比較的太い気管支から分岐することもあるため、これらを分岐次数に含めると歪々区域枝が4次にならないというような不都合が生ずる。さらに主軸枝と娘枝を同様の分岐次数として扱うと末梢では同じ次数でありながら気管支の太さが極端に違ってくるためである。実際に計測した結果(娘枝と親枝との径比は 0.54 ± 0.11 、主軸枝は 0.91 ± 0.10 、同大分岐枝は 0.77 ± 0.15)を用いて、2回分岐した後の径比を計算すると、娘枝の後が同大分岐のときは累積の径比は $0.91 \times 0.77 = 0.70$ 、さらにもう1回同大分岐したときには $0.70 \times 0.77 = 0.54$ となるので、不同大分岐では娘枝側は2次増すことも考えられる。実際は同大といっても小さい方で親枝との比で0.65程度のもも含まれており、また、同大分岐と同大分岐の間にさらに不同大分岐が含まれることもあるので、今回の次数の数え方はこのようにした目的に照らし合わせると妥当なものと考えられる。

4・3 測定結果

今回の検討の結果、同大分岐枝と不同大分岐枝の娘枝とその相手である主軸枝の分岐様式、支配領域の違

いが具体的な計測値とともに明瞭に示された。

伊藤¹²⁾は肺門部から迎っていった最初に出る娘枝について検討し、大部分は3~4次気管支から出現し、親枝との径比は平均で 0.55 ± 0.09 としている。今回は小葉支配気管支程度までの娘枝について検討したが、ほぼ一致する結果であった。

気管支の分岐角度は娘枝>同大分岐枝>主軸枝と当然の結果であるが、同大分岐枝の分岐角度はHorsefield and Cumming¹⁷⁾が気流抵抗と死腔という相反する因子を整合するように理論的に求めた結果 $37^{\circ} 28'$ に極めて近いものであった。

区域による娘枝の出現頻度はS⁸及びS⁹に多い結果であった。これはこれらの区域にはS⁸あるいはS⁹のように主軸になる気管支の方向に長く広がる領域を埋めるためにより多くの娘枝が存在するためと考えられる。

4・4 娘枝の選別方法に関する検討

山下らの記述³⁾から同大分岐、不同大分岐を選別する方法を考えると、①気管支の支配領域の大きさ、②親枝との径比、③相手の枝との径比、④横断方向の層別での気管支の支配領域、⑤分岐角度などが考えられる。

臨床的にCT、SPECT、PETT等の結果から娘枝を考えるには大まかに内層≒娘枝支配、外層≒主軸枝あるいは同大分岐支配、とせざるを得ないのに対して、気流や粒子沈着を考えるには気管支の径比や分岐角度などの分岐様式が大きな要素になると考えられる。そこで娘枝の選別方法の相互の関係を検討した。

今回の分類と径比とを比較した結果では、相手の気管支との径比が0.75程度が良好な分別点であった。このとき全体の10%程度が一致しなかった。また、この分類を用いた限りにおいては娘枝の分別に関しては親枝との径比よりも相手の枝との径比が良好な結果であった。これは分岐後に2本とも比較的小さい径比の同大分岐枝が存在するためと考えられる。

著者ら¹³⁾の以前の検討では典型的な娘枝を選び出すために、支配領域が外層か内層であるかによって気管支を分類して、相手の気管支との径比0.75~0.80に選別点を見いだしたが、これは今回の分類方法による検討結果とほぼ一致するものであった。ただし、今回左肺の二分岐枝に関して同様の検討を行った結果では径比が0.7~1.0前後において重なりが多かった。これはFig. 9に示すように内層を支配する気管支のうち約16%が同大分岐枝であるためであり、前回の検討では娘枝の典型を抽出する目的であったため対象にした気管支の中での同大分岐枝の比率が低かったためと考えられ

る。

また、分岐角度は今回の方法では全ての気管支について計測することは出来ないうえに、ばらつきが大きいので気管支の選別の基準に用いるのには適当でないものと考えられた。

4・5 娘枝の意義

外層領域の末梢肺に比べると忘れられがちであった肺門に近い末梢肺が気管支娘枝との関係で論じられるようになってきた。

三上ら¹⁹⁾は末梢肺胞領域の病態を反映するとされている気管支肺胞洗浄は洗浄時のCT撮影を行ってみると、主に内層の末梢肺のものであることを明らかにした。

また、SPECT, PETT, あるいはXe ガスを用いたCTによって健常人、びまん性汎細気管支炎、肺気腫における内層と外層の換気の違いの検討がなされている^{7,20,21)}。

松井ら⁸⁾はコンピュータ・シミュレーションによって、娘枝は気流動態からは同じ径の主軸系気管支に較べて3~4次(長さにして約3cm)気道を短縮する効果を示すと報告している。また、Pinkerton *et al.*²²⁾はラットにアスベストを吸入させて気管支分岐様式と病変形成の関係を分析し、分岐角よりも気道の距離と分岐数の方が重要な要素であったと報告している。

このように娘枝は気体の流入が層によって違うことを説明するために有力な概念と考えられるが、それには気管支分岐様式のみではなく中枢からの距離、肺実質の伸び易さの違いなど考慮すべき点がいくつかある。さらに病変形成をも含めて考えると、関係する粒子の物理的(aerosolの大きさ、形状、濃度等)あるいは化学的性質、気道からのclearanceをはじめ多くの要素が介在する^{23,24)}。

娘枝の意義についてはこのように周辺の要因についての知見が増え、多方面から取り上げて行くことによりさらに議論が深まるものと期待される。今回の検討はその基礎的な計測結果として重要なものと考えられる。

5 要 約

1) 正常ヒト左肺をHeitzmanの方法によって伸展固定し、5~6mmのスライス標本を作製した。小葉支配レベルの直径約1mm程度までの全ての気管支を娘枝、主軸枝、同大分岐枝、三分岐枝、娘枝の末梢枝に分類して、それらの区域、分岐次数、気管支径、親枝との径比、相手の枝との径比を求め、さらに計

測可能なものについて分岐角度の測定を行った。

- 2) 娘枝、主軸枝、同大分岐枝では親枝との径比の平均はそれぞれ 0.54 ± 0.11 , 0.91 ± 0.10 , 0.77 ± 0.15 , 相手の枝との径比の平均は 0.61 ± 0.15 , 1.69 ± 0.33 , 1.03 ± 0.25 、気管支分岐角度の平均値は 56.3 ± 19.6 度, 21.0 ± 14.9 度, 34.8 ± 16.1 度であった。娘枝の約9割は内層を支配するのに対して、主軸枝及び同大分岐枝では約9割が外層に支配領域を持っていた。
- 3) 気管支分岐に占める娘枝の割合は S° , S° で特に多かった。
- 4) 径比から娘枝を選別するには相手の気管支との径比が0.75を分別点とするのが適当と考えられた。
- 5) 内層を支配する気管支は娘枝あるいは娘枝の末梢の枝が約65%を占めていたのに対し、外層では同大分岐枝あるいは主軸枝が85%を占めていた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導・御校閲いただきました本学内科学第3講座 鈴木明教授に深く感謝致します。また、角度測定に用いた三次元画像処理システムSHADOW SYSTEMを開発、御提供いただきました札幌宮の沢病院の古瀬司診療放射線技師、ならびに研究材料の確保にご協力をいただいた本学法医学講座森田匡彦教授に心よりお礼申し上げます。

文 献

1. Weibel, E. R.: Morphometry of the human lung. Springer, Berlin (1963).
2. Horsefield, K. and Cumming, G.: Morphology of the bronchial tree in man. *J. Appl. Physiol.* **24**, 373-383 (1968).
3. 山下英秋, 高瀬 昭, 尾川 寿, 鈴木 明, 島 正吾: 気管支肺胞系の構造. *結核研究の進歩*. **20**, 1-26 (1957).
4. Gurng, J. W.: Upper lobe lung disease: Physiologic correlations. *Radiology* **167**, 359-366 (1986).
5. 鈴木 明: 気管支肺胞系にみられる娘枝とその支配領域について. *呼吸* **4**, 115 (1985).
6. 佐藤 功, 坂本和裕, 宮本 勉, 細川敦之, 松野慎介, 瀬尾裕之, 田辺正忠, 水川帰一郎, 川瀬良郎: 画像からみた気管支娘枝と関連疾患. *気管支学* **10**, 507-512 (1988).
7. 佐藤 功, 田辺正忠, 川瀬良郎, 川崎幸子, 松野慎介, 細川敦之, 余田みどり, 影山淳一, 津内保彦, 外山芳弘: 肺血流 SPECT シンチグラフィによる肺門周

- 囲末梢肺野いわゆる肺門娘枝領域の血流状態について—正常例の検討—。 **Radioisotopes** 39, 439-444 (1990).
8. 松井英介, 上田基二, 谷藤真一郎: 気管支分岐と気流, 粒子沈着. **気管支学** 10, 494-501 (1988).
 9. 佐藤 功, 小場弘之, 鈴木 明, 児玉完治, 水川焯一郎, 高島 均, 川瀬良郎, 日野一郎, 大川元臣, 玉井豊理, 田辺正忠: 肺末梢構造の X 線学的解析. **臨放** 29, 949-955 (1984).
 10. 伊藤春海, 村田喜代史, 藤堂義郎, 鳥塚莞爾, 伊藤剛, 金岡正樹, 古田睦広, 浅本 仁, 西田寿男, 新谷文恵: 肺門部の末梢肺組織について. **臨放** 29, 1459-1465 (1984).
 11. 伊藤春海, 村田喜代史, 藤堂義郎, 富樫かおり, 鳥塚莞爾, 伊藤 剛, 金岡正樹, 浅本 仁, 古田睦広, 西田寿男: 末梢気道の分岐形式と支配領域. **画像診断** 4, 228-234 (1984).
 12. 伊藤春海: 気管支娘枝の解剖とその関連病変. **気管支学** 9, 312-323 (1988).
 13. 加藤誠也, 小場弘之, 鈴木 明: 気管支娘枝とその支配領域. **気管支学** 10, 488-493 (1988).
 14. Heitzman, E. R.: *The Lung, Radiologic-pathologic correlation.* Mosby, St. Louis, (1984).
 15. Yamashita, H.: *Roentgenologic anatomy of the lung.* Igaku-shoin, Tokyo (1978).
 16. 日本肺癌学会: 臨床・病理 肺癌取扱規約. 改訂第3版, 金原出版. 東京 (1987).
 17. Horsefield, K. and Cumming, G.: Angle of branching and diameter of branches in the human bronchial tree. **Bull. Math. Biophys.** 29, 245-259 (1967).
 18. Thurlbeck, A. and Horsefield, K.: Branching angles in the bronchial tree related order of branching. **Respir. Physiol.** 41, 173-181 (1980).
 19. 三上正志, 能登屋久志, 雨夜和俊, 三 蒼 雄, 高橋弘毅, 森 雅樹, 名取 博, 黒木由夫, 秋野豊明, 鈴木明: BALの標準洗浄法に関する検討. **気管支学** 8, 218-228 (1986).
 20. Murata, K., Ito, H., Senda, M., Todô, G., Yonekura, Y. and Torizuka, K.: Ventilation image with positron emission tomography and nitrogen 13. **Radiology** 159, 303-307 (1986).
 21. 粟井和夫: 慢性肺気腫に対するCTの臨床応用に関する研究. **広島大医誌** 37, 971-993 (1989).
 22. Pinkerton, K. E., Plopper, C. G., Mercer, R. R., Roggli, V. L., Patra, A. L., Brody, A. R. and Crapo, J. D.: Airway branching pattern influence asbestos fiber location and the extent of tissue injury in the pulmonary parenchyma. **Lab. Invest.** 56, 688-695 (1986).
 23. Morgan, W. K. C.: The deposition and clearance of dust from the lungs - Their role in the etiology of occupational lung disease, In: Morgan, W. K. C and Seaton, A: *Occupational Lung Diseases.* 2nd ed. 77-98, Saunders, Philadelphia (1984).
 24. 河端美則: 肺内での粒子沈着と関連する病変. **気管支学** 10, 502-506 (1988).
-
- 別刷請求先:
 (〒060) 札幌市中央区南1条西16丁目
 札幌医科大学内科学第3講座 加藤誠也