

## □ 総 説 □

## 気管、気管支の形態と機能

鈴木美保子\*

### はじめに

麻醉ならびに人工呼吸にたずさわるわれわれにとって気管内挿管は欠くべからざるものであり、気管内挿管を円滑に行い、かつその合併症を最少にとどめるためには気管内チューブならびに空気の通り道である気管、気管支の形態と機能について精通していなければならない。ましてや気管切開にいたっては気管についての解剖学的知識なしに行うことはできない。

気管、気管支の構造と機能については古くから研究され、特に上皮の構造については光学顕微鏡所見の報告が多数みられる。加えて電子顕微鏡の発達に伴い構造の微細なところまで解明され、その形態と機能が究明されてはきたものの機能との関係においてはまだ不明の点も多く、今後の研究が待たれるところである。

一方、気管支ファイバースコープの発達により、かなり細い気管支までも肉眼的に見ることができるようになると同時に、気道の病変を、生体の条件をほとんど変えることなしに動的にとらえることができるようになり気道の構造と機能についてのわれわれの知識はさらに広がりかつ深くなつたが、ここでもう一度原点に立ち返って、気道の形態と機能について考えてみたい。

### 気管、気管支の解剖

気管および気管支は空気の通る道として喉頭と肺胞の間をつなぐ管であって、喉頭とともに下気道を形成し、鼻腔粘膜と同様に空気の加温、加湿に加えて線毛運動による気道の浄化作用を有することはよく知られているところである。

まず気管は喉頭軟骨直下部に始まり、脊柱にはほぼ平行に下降し、気管分岐部に到る。そして 15<sup>1)</sup>

あるいは 20<sup>2)3)</sup>個の上下に連なる軟骨輪とその間をつなぐ輪状韌帯およびこれらの内面を覆う粘膜からなる。軟骨輪は気管軟骨と呼ばれ、硝子軟骨からでき、完全な輪をなさず後方部の欠けたU型あるいはC型をなす。そして後方は平滑筋による膜様部からなっている。

気管の脊柱に対する位置は、上端は新生児では第3~4頸椎の高さに相当し、発育とともに下降して成人では第6頸椎の高さになり、気管分岐部は第4~5胸椎の高さに相当するとされている<sup>4)</sup>。

気管、気管支の伸長は輪状軟骨間韌帯の延長によって起こり、その長さと同時に径および分岐角度が呼吸<sup>1)5)~9)</sup>あるいは体位<sup>1)6)7)10)</sup>、さらには咳嗽<sup>7)</sup>によって変動することはよく知られているところである。長さの移動の幅はほぼ1椎体(約3cm)<sup>1)10)</sup>にも及ぶため、それらを十分予測してのチューブの位置決定が行われなければならない。そして教室の佐々木ら<sup>9)</sup>は肥満者ではそれらの程度がより強かったことを認めている。さらに解剖学的計測の研究は数多く、その測定方法も屍体をはじめ、気管支鏡、気管支造影など様々であり、その長さには差違がみられるが、気管の長さは成人で 10~14 cm<sup>1)11)</sup>といわれている。また門歯から気管分岐部までの長さは成人男性で 25~26 cm、女性で 21~23 cm とされ、この数字は気管内挿管時の気管内チューブの深さの決定に重要な数字である。

一方、気管の径は成人男性で 1.4~2.1 cm<sup>8)</sup>あり、これもまた適切な太さの気管内チューブを選ぶ根拠となる数字である。気管は脊椎にほぼ平行に下降するが、脊椎自体の彎曲のため成人で普通頭位でS字状を描いているし、抜去した気管内チューブをみると微妙なねじれも認められるところから周囲組織との関係で前後、左右に変動していると思われる。

\* 福島県立医科大学助教授(麻酔科学教室)

ついで気管は気管分岐部で左右の主気管支に分かれるが、左右の気管支はその長さ、太さおよび走行を異にする。左気管支は細く(1.1~1.4 cm)かつ長く(4~6 cm), 7~11個の軟骨輪を有し、正中線と35~46°の角度をなす。右気管支はより太く(1.4~1.7 cm), 短かく(1~3 cm), 3~4個の軟骨輪をもち正中線とは24~30°の角度をなしている<sup>8)12)</sup>。この走行からして異物の迷入などは右気管支に起こりやすく、逆に気管内分泌物の吸引は、左側が難しい。そして気管内チューブの挿入が深すぎると右の偏側挿管をきたす危険がある。しかし幼児では左右ほぼ等しい角度で分岐して、ともに正中線とのなす角度は55°<sup>13)</sup>といわれている。したがって気管内チューブが深く入りすぎた場合、左右いずれの気管支に入るか予測できないが、経験的には成人同様右側が多いようである。

つぎに、気管分岐部で分岐した気管支は規則的2分岐(dichotomy)もしくは不規則分2岐を繰り返しながら、肺葉気管支、肺区域気管支、亜区域気管支と内腔が次第に細くなりながら末梢に至る。

そこで気管支の各名称であるが、従来気管支の命名は日本において気管支命名委員会による命名法が用いられ、外国においては Jackson-Huber の命名法が用いられているが<sup>14)</sup>、これらの命名法は亜区域支までの命名にすぎない。しかしながら、それよりも末梢までの内腔を内視鏡的に十分に観察できるようになり、主気管支を0次としてIV~VI次気管支の命名が必要になった上に、古くからの名称が必ずしも正しくないばかりでなく、一般に長く、まぎらわしい名称も多いため最近では図1のような番号で呼ばれるようになった<sup>12)</sup>。特に気管支造影、気管支鏡検査ではこれが一般的になっている。このように便宜的に気道分岐の序列を次元を用いて表現することがある。ことに形態計測学の分野ではもっぱら分岐次元にもとづいた気道分岐系の解析が行われる。そしてWeibel<sup>15)</sup>は気管を第10次分岐として規則的な分岐を繰り返すとして仮定して終末細気管支は第16次分岐に、最も末梢部の肺胞管は第23次分岐に相当するとして気管支の dimension(長さ、直径、断面

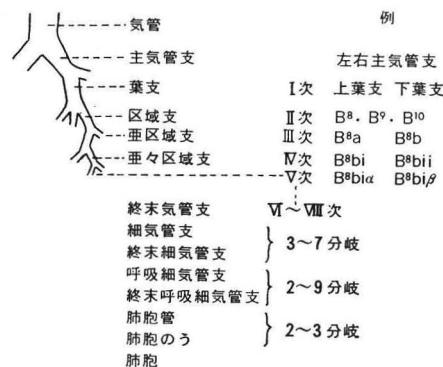


図1 気管より肺胞に至るまでの名称  
と分岐の数

(池田茂人、金子量弘：肺の解剖・医学のあゆみ 117: 491, 1981 より引用)

		次元	累積体積
気道系	気管	0	30.5
	主気管支	1	41.8
		2	45.8
		3	47.2
		4	50.7
	細気管支		
	終末細気管支		
肺実質系	呼吸細気管支	17	216.6
		18	277.7
		19	370.9
	肺胞管	20	510.4
		21	
		22	
	肺胞囊	23	1675.0

図2 Weibelによる気道分岐次元  
と累積体積

積、体表)に關した優れた業績を残した。しかし彼の理論は規則的2分岐を繰り返すという仮定のもとに打ち立てられたものであり、實際とは異なるものであるといわれたものの、その後のヒト肺気道で作製した鋳型標本からの実測値とかれの理論値がかなり近いこと、また Horsfiel & Cumming<sup>16)</sup>の業績も加わってこの理論がほぼ正しいことが証明された。そのためこの方面の仕事をしている人達には Weibel の次元と対比させての呼称が一般的となっている。図2に Weibel の次元および異積体積を示したが、これから数値に口から喉頭部までの上気道体積を加算すると、およそ第3次呼吸細気管支領域付近で 400~450 ml となり、成人の1回換気量に等しいことが判って

いる<sup>17)</sup>。これからして吸入気の先端は肺胞囊にまでは達せず、また形態的に呼吸細気管支より末梢には肺胞突起が認められ肺胞実質系となり、肺胞として気道とは異なる機能を営むことが知られている。従って、いわゆる気道は終末細気管支までということになる。こうした気管支分岐系からして末梢に行く程気管支の径は狭くなるため気道の抵抗は末梢程大と考えられていたが、むしろ中枢部気道の方が高いことが判った。Caro<sup>18)</sup> の算定によれば気道体積は細気管支領域で最大、第2、3次気管支で最小になるのに反し、気道抵抗はこれと全く逆の関係にあり、第2、3次元気道で最高、末梢気道で最低となっている。これより末梢気道の変化を機能的に捕えることが難しく、末梢気道(すなわち small airway)は機能上の silent zone と呼ばれる。

こういったことより外界から吸入された有害物質が気道深部にまで達した場合、呼吸細気管支領域がその影響をきわめて受けやすいことになる。

### 気管、気管支壁構造

気管、気管支壁は図3のごとく通常粘膜表面から上皮、基底膜、固有層、平滑筋層、平滑筋外層、気管支腺、軟骨層、周囲組織層に分けられる。そして粘膜は上皮、基底膜、固有層からなる。しかし気管および縦隔内気管支(図4上)と肺内気管支(図4下)では平滑筋および軟骨の位置に相違がみられる。すなわち、気管から縦隔内気管支までは軟骨部と膜様部に分かれ、膜様部にのみ平滑筋が存在する。一方肺内気管支では軟骨部、膜様部の区別がなくなり、軟骨も大小不規則な軟骨片となり、全周性に点在するようになる。そして軟骨は直径約1mmの気管支まで不規則ながら認められる<sup>17)</sup>。このように気管支分岐とともに壁構成々分一基底膜、粘膜下組織、筋層、軟骨などは全て漸減し、特に細気管支末梢域では軟骨、気管支腺、分泌細胞、基底細胞などの消失と平滑筋層の比較的優位などの変化がみられる<sup>17)19)~21)</sup>。

これらのうち粘膜、筋、軟骨層が気道壁の安定性を基礎づける固有層を形成し、さらにこれらの各層間に粘下層、筋外層、気管支周囲組織などが緩衝系として役立つ偏位層をなしていることにな

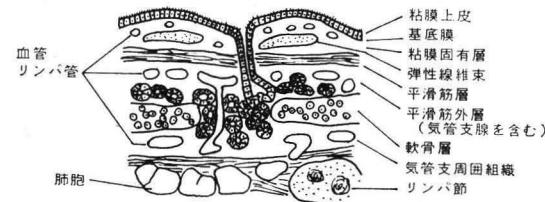


図3 気管支壁の層構造  
(雨宮隆太, 於保健吉, 滝沢延彦ほか: 気道疾患における内視鏡所見と組織所見の対比。気管支 3: 413, 1981 より引用)

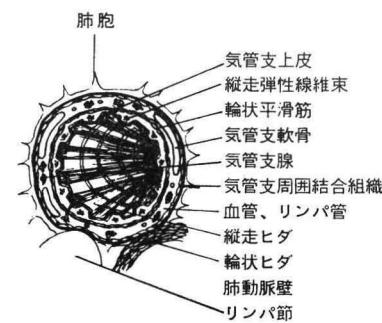
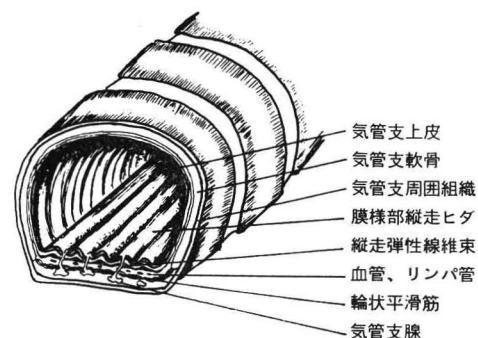


図4 上: 縦隔内気管支の構造模式図  
下: 肺内気管支の構造模式図

る。

#### 1) 気管支上皮層構成細胞と機能

気道粘膜上皮層は光顕、透過型電顕像から(図5)、線毛細胞、分泌細胞(中枢域は杯細胞、末梢域ではClara細胞)、基底細胞、神経内分泌細胞の4種(時には中間細胞、刷子細胞など)で構成されるが、走査型電顕による表面像からは線毛細胞と分泌細胞の2種類のみが観察される<sup>22)~24)</sup>。

##### (1) 線毛細胞

気道粘膜の表面は粘液でくまなく覆われているが、それを洗浄、除去してはじめて細胞が観察できる。上皮のほとんどは線毛細胞で占められてお

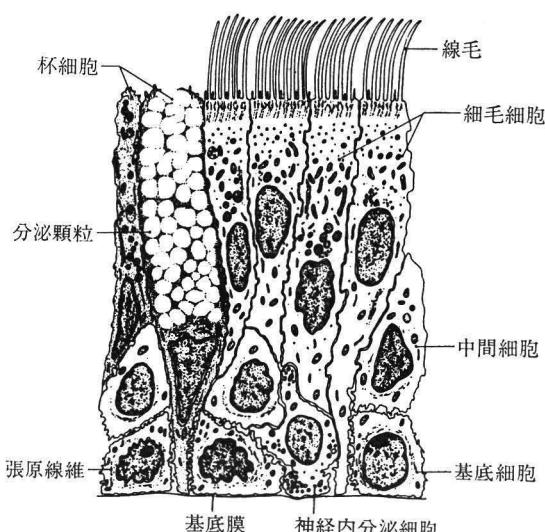


図 5 気管支粘膜上皮を構成する諸細胞  
(岡田慶夫、赤嶺安貞：呼吸器疾患とその微細構造、東京、医学書院、1975 より引用)

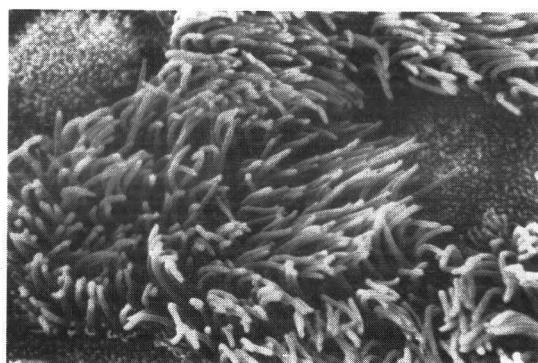


図 6 線毛細胞および杯細胞の走査電顕像  
(×7,500)

り、その間に点々と線毛を欠如した杯細胞(図6)が見出される。このように線毛細胞は気道上皮を構成する細胞の中で数が最も多い上、機能的に最も重要な意義をもつ細胞である。一般に円柱形を示し、多数の線毛(cilia)と小毛(microvilli)を有する。線毛は口側になびき、この線毛の運動によって粘液線毛輸送機構(microciliary transportation mechanism)<sup>25)~29)</sup>が営まれ、気道の洗浄化が行われていると考えられており、それについては異論のないところである。しかしながら、線毛運動により粘液がどのようにして口側へ輸送されて行くかについての定説はないが、色素など

の滴下による輸送速度、能力についてみた研究が多い。尾原ら<sup>30)</sup>は軟骨部と膜様部では線毛細胞の数が異なり、膜様部では線毛細胞数が少ないとめか色素移動速度が遅かったと述べ、Asmundssonら<sup>31)</sup>は気管部では helical でしかも大部分 clockwise rotation を行い、膜様部では axial に運動したと報告している。また教室の佐藤ら<sup>27)</sup>は mucus flow の様相は個体により、気管内の部位により、そして mucus の性状によって異なるが、右回転の弧を描きながら移動したことを認めている。が、気道に粘液が存在しなければ、線毛による異物の輸送はできないといわれており、さらに線毛運動は温度、湿度、pH、大気汚染物質、薬物など種々の因子により、容易におさえられることはよく知られている。従って酸素をはじめ麻醉ガスの吸入はもとより、気管内挿管、気管切開、気道内吸引操作などにより、より簡単に障害される。

## (2) 杯細胞

杯細胞は気道をうるおし、線毛運動を助ける粘液を産成する細胞であって、部位によっても異なる(気管よりも気管支ないし細気管支と末梢に向い増加する)が、通常は線毛細胞 5 に対して 1 の割合で見出されるといわれている<sup>23)</sup>。

この細胞の細胞質内には、多数の粘液顆粒が見いだされるが、その顆粒は粘液多糖類を含み、これはゴルジ装置で形成され、細胞の遊離縁近くに蓄積する。そして最終的には遊離面に開放し、顆粒内の粘液が気管支腔に放出される。その量は細胞の分泌相に応じて変化する。そのためこの細胞は種々の形態を呈するようである。

また、気管支系に感染などの刺激が加わると杯細胞は増殖し、いわゆる杯細胞増生の像を呈し、一方、気管支喘息などでは細気管支における線毛細胞が分泌細胞に変化し、しかもこのような細胞由来の粘液はきわめて粘稠で分泌過多のみならず、分泌異常を招来しうるともいわれている<sup>23)</sup>。しかし、線毛細胞と杯細胞との間に移行があるか否かについては、一致した見解に達していないようである。

さらに粘稠な分泌物は喀出しにくいため、喀出を容易にするため喀痰溶解薬が使用されるが、これら喀痰溶解薬で分泌物の性状を変化させると、

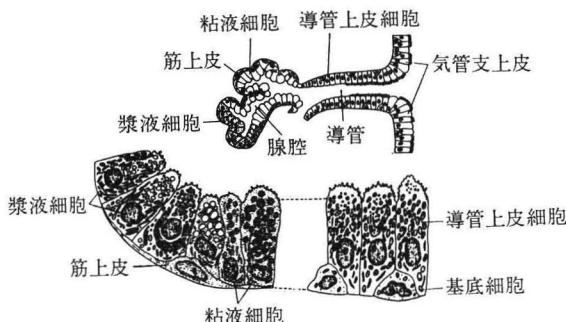


図 7 気管支腺を構成する諸細胞

(岡田慶夫, 森 湿視, 肥後昌五郎ほか: 肺の微構造・医学のあゆみ 117: 500, 1981 より)

線毛運動は変わらなくとも輸送能力が著明に低下するため、喀痰溶解薬の使用は慎重でなければならないという意見もある。

### (3) 基底細胞, 中間細胞

基底細胞は基底膜直上部に存在する細胞で、気管支粘膜上皮の補充細胞とみなされている。立方形で、気管支腔には達していない。

この基底細胞から線毛細胞および杯細胞が分化し、それぞれの特徴的な形態を備えるようになる。この分化の過程にあって、いずれの特徴も備えるにいたっていない細胞が中間細胞である<sup>36)</sup>。

## 2) 気管支腺

気管支腺は唾液腺に類似した構造をもった混合外分泌腺で、唾液腺に発生するのと同様の腫瘍が発生することから、気管支腺は別名気管支唾液腺とも呼ばれる<sup>37)</sup>が、唾液腺の機能と構造がよく知られているのに比し、気管支腺の構造と機能についてはあまりよく知られていない。

気管支腺は軟骨と軟骨との間、平滑筋層の外側で軟骨の内側および外側の気管支周囲層にも分布し、腺導管が筋層を貫いて気管支粘膜面に開口している。腺房型の外分泌腺で図7<sup>23)</sup>のよう、粘液細胞と漿液細胞からなる混合腺である。粘液、漿液を大量に分泌し、健常時にみられる気道内分泌物の大部分（量的に杯細胞の約40倍といわれている<sup>17)</sup>）はこの腺に由来すると考えられている。

気管支腺が最も豊富なのは中等大の気管支であり、細気管支では消失する。慢性気管支炎や気管支喘息では気管支腺の著しい肥大が起る<sup>17)37)</sup>とい

われている。

粘液細胞は気管支上皮の杯細胞に似ており、細胞質は豊富な粘液顆粒によって満たされている。粘液顆粒は大小不同で、やや不規則な形をしており、細胞の分泌活動の違いによって粘液顆粒の量は変動する。

漿液細胞は細胞質内に類円形の漿液顆粒を多く含んでいる。粘液細胞に比べて分泌顆粒以外の小器官が発達しており、特に粗面小胞体の発達が良く、蛋白合成が旺盛であることがうかがわれる<sup>38)</sup>。またライソゾーム酵素が豊富であるばかりでなく、IgA や secretory component などもみられ、漿液細胞は加湿、殺菌、浄化など気管支肺胞系の防禦機構の中で大きな役割を担っている<sup>39)</sup>と考えられている。

### 3) 粘膜固有層

基底細胞のならんだ基底膜の下は粘膜固有層で、ここには縦走する弾性線維束があり、さらに気管支動脈から分布する毛細血管網が発達しており、その毛細血管は均等な血管間距離をもって、樹枝状に走行している<sup>20)</sup>。弾性線維束は縦隔内気管支では主に膜様部に存在するが、肺内気管支では全周性に存在し、剖検気管や気管支内視鏡的に気管支の長軸方向に走る縦走ヒダとしてよく観察することができる。弾性線維は気道長軸方向の彈力系の担い手であるとともに特に末梢気道では周囲肺胞系と連結し、気道内腔の保持に直接関与している<sup>19)</sup>。

### 4) 平滑筋

粘膜固有層の下には平滑筋が存在する。平滑筋は気道長軸に対して気道内腔を輪状によりまくように走行し、気管、気管支から細気管支、呼吸細気管支、肺胞管にまで分布して気道壁構造の一端を担うとともに肺胞入口輪の形成にあずかる。そして、深呼気時や咳嗽時に気道内腔を狭くする働きをしている。

### 5) 軟骨

気管および縦隔内気管支の軟骨は深呼気時に、上昇する胸腔内圧や収縮する平滑筋により気道が完全につぶれてしまうのを防止する重要な支持組織となっている。



図 8 気管支壁の気管支血管床(墨汁注入標本)  
(滝沢敬夫: 気道および肺の構造, 新内科学大系 26 A. 東京, 中山書店, 1975, p. 60 より引用)

## 6) 気管, 気管支の血管

気管支, 肺を栄養する血管は気管支動脈であり, 大循環系に属するもので, 肺でのガス交換を営む小循環系とは異なる。そして気管支動脈は気管支壁の粘膜, 筋層, 外膜, 粘液腺および軟骨膜などのほか胸膜, リンパ節, 肺動脈壁および神経などに分布している<sup>17)40)</sup>。胸部大動脈に端を発するが, 左主気管支動脈が胸部大動脈から1~2本の枝分れで直接発しているのに反し, 右気管支動脈は第1肋間動脈と共に通根を持って分枝している場合が多い<sup>17)41)</sup>。しかし, その起始部は非常に差異に富んでいる<sup>40)42)</sup>。その太さは主幹部でたかだか直径1~2 mmにすぎないが, 起始後気管にはほぼ平行して垂直に下行し, 主気管支に沿って肺門部から肺内に入り, 縦隔諸器官に分枝を与える一方, 心嚢動脈など縦隔に分布する動脈との間に密な吻合を形成している。従って, 気管支動脈を例えその主幹で結紮しても, 縦隔に分布する他動脈から直ちに側副血行路が形成され, 血流途絶を来たすようなことはない<sup>17)</sup>といわれている。しかしながら, 金子ら<sup>21)</sup>は気管支動脈の末梢の毛細血管網は(墨汁注入標本では図8のように認められ, 多角形の網眼<sup>17)40)</sup>として観察されるが), 内視鏡では明瞭に確認できるにもかかわらず, 切除肺の, とくに固定後では全く観察できないし, また深呼吸や咳嗽, 内視鏡先端の接触によっても状態が変りやすいことから, その把握にあたってはで

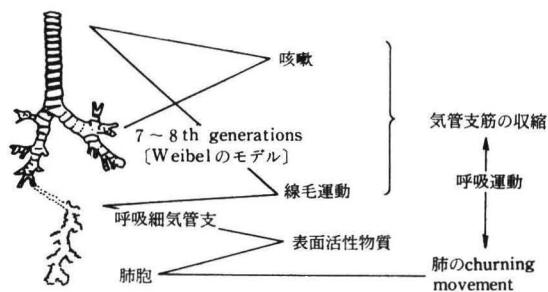


図 9 呼吸器系クリアランス模式図  
(長岡 滋, 野口英世: 咳痰の病態生理学と臨床. いづみ 30(8): 4, 1983 より引用)

きるだけ安定した状態で, 左右あるいは他の部分との比較の上で判断しなくてはならないと述べている。さらに高橋は<sup>43)</sup>樹脂鋳型標本による観察で, 病態肺では肺内気管支動脈に樹脂が流入して走行もよく観察されるが, 正常肺では肺内気管支動脈へはほとんど流入せず, 追求は不可能であるとしている。こういった状態の変化は血管壁平滑筋の動きによって起るものと推察できるが, いずれにしろ, 気管内挿管に際し, カフの過膨張ないしは長期間のカフの膨張による気管壁の壊死はこの気管支動脈の血流障害に基づくものであり, くれぐれもカフ内圧が高くなりすぎないための細心の注意が必要となる。そのためには気管内チューブおよびカフの材質と性状を十分に考慮するとともに適当な太さのチューブの選択がなされなければならない。Nordin ら<sup>44)</sup>は気管粘膜血流量はカフ圧に逆比例して減少すると報告している。

## 気道の清浄化

気道の清浄化は図9に示されるように, 肺表面活性物質に加えて, 気管支腺あるいは粘膜上皮杯細胞より分泌される粘液と線毛細胞の線毛運動により中枢部気管支まで運ばれ, 最後に咳嗽によって上部気道より生体外に排除されることによって行われる。こういった一連の作用を補助するのが, 気管支筋の収縮または呼吸運動である。したがって, 気管, 気管支の機能に加えてこれらの力が問題となる。

### おわりに

以上気管、気管支の形態と機能について、専門外の人でも理解できるように簡単にまとめてみたが、どの項目一つとってもかなり詳細で膨大な研究がなされており、その報告も多い上に、専門が異なると観点が異なるため、麻酔科医の目で一つの観点から見た積りだが、まだまだ見落しなどもあつたかと思う。

内視鏡の発達により内科医のみならず、麻酔科医の目での肉眼的知識が増えることによって、さらに理解が深まることを期待する。

### 文 献

- 1) 古泉桂四郎：気管の伸長能に関する計測的研究。気食会報 17 : 294, 1966
- 2) 金子丑之助：日本人体解剖学、第二巻。東京、南山堂, 1956
- 3) 川上雅彦、滝沢敬夫：気管軟骨輪の形態およびその粘膜像との関連性について。日胸疾会誌 12 : 448, 1974
- 4) 松島千穂：気管気管支鏡検査上必要な喉頭気管及び気管支の解剖学的研究。医学研究 13 : 2135, 1939
- 5) Jackson C : New mechanical problems in the broncoscopic extraction of foreign bodies from the lungs and esophagus. Ann Surg 75 : 1, 1922
- 6) Macklin CC : The dynamic bronchial tree. Am Rev Tuberc 25 : 393, 1932
- 7) 池田茂人：気管支運動の造影映画による病態生理学的研究。気食会報 10 : 193, 1959
- 8) 安田準三：胸部重複撮影法に関する研究、気管支重複撮影法の第九報—健康者における気管支系の呼吸性変動について一。結核 38 : 8, 1963
- 9) 佐々木泰道、佐藤忠二、野崎洋文ほか：自発呼吸、人工呼吸時の気管内チューブと気管の位置関位の変化について。麻酔 21 : 1195, 1971
- 10) 渡辺美保子、佐々木泰道、池田忠輝ほか：頭位による気管内チューブ走行の変化について—X線検索による一。麻酔 15 : 790, 1966
- 11) 前田精一郎：生體肺臓に於ける気管枝分布状態の「レントゲン」線的研究。東京医誌 867, 1931
- 12) 池田茂人、金子量弘：肺の解剖。医学のあゆみ 117 : 491, 1981
- 13) Adriani J, Griggs TS : An improved endotracheal tube for pediatric use. Anesthesiology 15 : 466, 1954
- 14) 池田茂人、十林賢児、砂倉喘良ほか：ファイバースコープによる診断一呼吸器一。内科 24 : 284, 1969
- 15) Weibel E : Morphometry of the Human Lung. Berlin, Springer-Verlag, 1963
- 16) Horsfield K, Cumming G : Morphology of the bronchial tree in man. J Appl Physiol 24 : 373, 1968
- 17) 滝沢敬夫：気道および肺の構造、新内科学大系 26 A. 東京、中山書店, 1975, p 60
- 18) Caro CG : Advances in Respiratory Physiology. London, Edward Arnold Ltd, 1966
- 19) 滝沢敬夫：気道壁構造、気管支 3 : 381, 1981
- 20) 雨宮隆太、於保健吉、滝沢延彦ほか：気道疾患における内視鏡所見と組織所見の対比。気管支 3 : 413, 1981
- 21) 金子昌弘、池田茂人：気管支壁の構造と内視鏡所見。中外医薬 36 : 430, 1983
- 22) 岡田慶夫、赤嶺安貞：呼吸器疾患とその微細構造。東京、医学書院, 1975
- 23) 岡田慶夫、森 湿視、肥後昌五郎ほか：肺の微細構造。医学のあゆみ 117 : 500, 1981
- 24) 上田真太郎：肺の超微形態と機能への対応。日界面医誌 12 : 51, 1981
- 25) Gray C : Ciliary Movement. London, Cambridge University Press, 1928
- 26) Lucas AM : Cilia, in Special Cytology. New York, E.V. Kowdryed Hoeber, 1932
- 27) 佐藤忠二、佐々木泰道、鈴木美保子ほか：気管支fiberscope による tracheal mucous flow rate の測定法について。麻酔 24 : 158, 1975
- 28) 山川育夫：粘液線毛輸送原における気道液の意義に関する研究。日胸疾会誌 15 : 829, 1977
- 29) 杉山正春、前田真作、滝島 任：気道粘膜上皮の線毛運動。呼吸と循環 28 : 836, 1980
- 30) 尾原秀史、岩井誠三、合田隆一：気道粘膜の形態と機能。麻酔 24 : 338, 1975
- 31) Asmundsson T, Kilbusn KH : Mucociliary clearance rates at various leairous in dog lungs. Amer Rev Resp Dis 102 : 388, 1970
- 32) Giese W : Bronchiolitis, Bronchiektasen und Pneumonie. Deutsch Med Wschr 5 : 279, 1954
- 33) 龍華一男、笠間清士、佐竹辰夫：喀痰研究、最近の知見。感染炎症免疫 4 : 113, 1974
- 34) 青木 毅、佐藤 茂、前田真作ほか：痰の粘弹性に関する研究(第2報)。日胸疾会誌 15 : 13, 1977
- 35) 長岡 澄、野口英世：喀痰の病態生理学と臨床。

- いづみ 30(8) : 4, 1983
- 36) Rhodin J : Ultrastructure of the tracheal ciliated mucosa in rat and man. Ann Otol Rhinol Laryngol 68 : 964, 1959
- 37) Reid L : Measurement of the bronchial mucous gland layer : A diagnostic yard stick in chronic bronchitis. Thorax 15 : 132, 1960
- 38) 柴崎 晋, 中山杜人 : 気道腺, とくに気管腺の微細構造について. 日胸会誌 38 : 586, 1979
- 39) 伊藤元彦, 青木 稔 : 気管, 気管支腺の機能と構造—組織化学的所見を中心にして一. 日胸 38 : 581, 1979
- 40) 山下政行 : 気管支動脈の研究, とくに肺動脈との相互関係について. 肺 1 : 458, 1954
- 41) 中島重徳 : 肺空洞の病態生理に関する研究—空洞生成過程における肺血管系, ことに気管支動脈変化の推移に関する実験的観察一. 日大医誌 20 : 1903, 1961
- 42) Marchand P, Gilroy JC, Wilson VH : An anatomical study of the bronchial vascular system and its variations in disease. Thorax 5 : 207, 1950
- 43) 高橋一江 : 肋膜の病態生理に関する研究 ; 肋膜炎の肺門動脈および胸腔内諸動脈系におよぼす影響とくに合成樹脂鋳型標本による観察. 日内学誌 51 : 1433, 1963
- 44) Nordin U, Lindholm CE, Wolgast M : Blood flow in the rabbit tracheal mucosa under normal conditions and under the influence of tracheal intubation. Acta Anaesth Scand 21 : 81, 1977