HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	肺気道内の流れと肺癌の好発部位との関係：透明犬気管支樹内におけるフローパターン
Author(s)	狩野, 猛; 末澤, 浩太郎; 内貴, 猛
Citation	電子科学研究, 2, 105-107
Issue Date	1995-01
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/24321
Type	bulletin (article)
File Information	2_P105-107.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

肺気道内の流れと肺癌の好発部位との関係
── 透明犬気管支樹内におけるフローパターン ──

自律調節研究分野　狩　野　　猛，末　澤　浩太郎，内　貴　　猛

解剖により摘出した犬の肺気管支樹を透明化し，トレーサー粒子による流れの可視化および16 mmシネカメラによる高速度撮影・フイルム解析により，犬肺気道内の吸気時におけるフローパターンおよび速度分布を求めた。その結果，流れの剥離を起こしやすい気管支樹特有の分岐構造の為に，上葉および中葉気管支の分岐部近傍において複雑な二次流や循環流が発生し，流れが激しく乱れており，これはヒトにおける肺癌の好発部位に相当することが判った。

はじめに

ヒトの肺気道に発生する肺癌の多くは，煙草の煙や大気中に放出された発癌性物質の微粒子が，吸入された空気の流れに乗って肺気道内に運び込まれ気管支組織と接触し，付着するところから始まるものと推察される。従って，肺癌の好発部位は，肺気道内の流れと密接な関係にあるものと考えられる。そこで本研究では，ヒトの肺と解剖学的に類似した構造を持つ犬の肺気管支樹を透明化し，トレーサー粒子による流れの可視化および16 mmシネカメラによる高速度撮影により肺気道内の流れを解析し，気道内各部における流れと文献調査により得られたヒトの気管支樹に発生する肺癌の好発部位との関係について検討を行った。

試料および方法

解剖により得られた犬の肺より肺胞組織を除去して気管支を露出させ，プラスチックチューブを用いて各気管支にカニュレーションし，それをステンレススチールパイプを折り曲げて作製したフレームに固定し，左9本，右10本の気管支および喉頭より気管全体を含む犬肺気管支樹を作製した。これを狩野の方法[1,2]により透明化した後，入口（喉頭部）および出口（カニュレーションしたそれぞれの気管支の末端部）をそれぞれプラスチックチューブを用いてヘッドタンクおよび回収用フラスコに接続した。そのヘッドタンク内に流れを可視化するためのトレーサーとして直径80～230 μmのポリスタイレン粒子を微少量混入した5％エタノールを含むサリチル酸メチル（密度1.16 g/cm^3，粘度0.026 g/cm・sec）を満たし，気管支樹内にそれを生理的空気流量に相当する流量および流量比（吸気時における空気流と同じレイノルズ数になるように）で流し，各部位（特に分岐部）における流れを16 mmシネカメラを用いて毎秒600コマの速さで400フィート巻きの16 mm白黒フィルムに撮影した。現像した16 mmシネフィルムをプロジェクターを用いてドラフティングテーブルに投影し，気管支樹内のトレーサー粒子の挙動を1コマ1コマ解析し，フローパターンをトレースした。これより，更に速度分布を算出し，これらのデータと文献より調べたヒト肺気道における癌の好発部位との関係について検討した。なお，本研究では，上記液体内でしか透明にならないという天然気管の特殊な事情により，本来の空気ではなく液体を用いて流れの実験を行ったが，レイノルズの流れの相似則により，どのような流体であっても，レイノルズ数（$Re=D\bar{u}\rho/\mu$：Dは直径，$\bar{u}$は平均流速，ρは流体の密度，μは流体の粘度）が同じであれば流れも同じになることが認められているので，液体を用いても気道内の気流を完全に模擬できるものと考えた。

結　果

図1は，本研究で用いた犬気管支樹の透明化する前

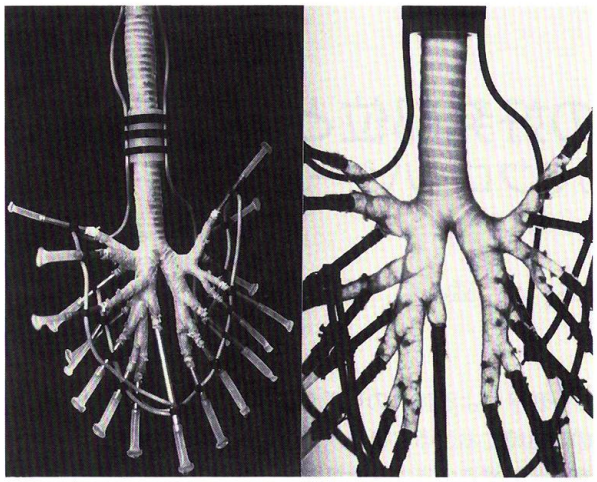

図1　犬気管支樹の透明化する前（左）および後（右）の写真

および後の写真である。これからもわかるように，気管支樹は，動脈樹に比べるとかなり複雑な構造になっており，分岐角度が直角に近いものが多く，気管支の分岐間隔が小さく，しかも全く異なった方向に枝分かれしているといった特徴を持っていた。従って，気管支樹内の流れは，層流発達のための入口助走区間が非常に短いことから，かなり乱れたものになっていることが予想された。

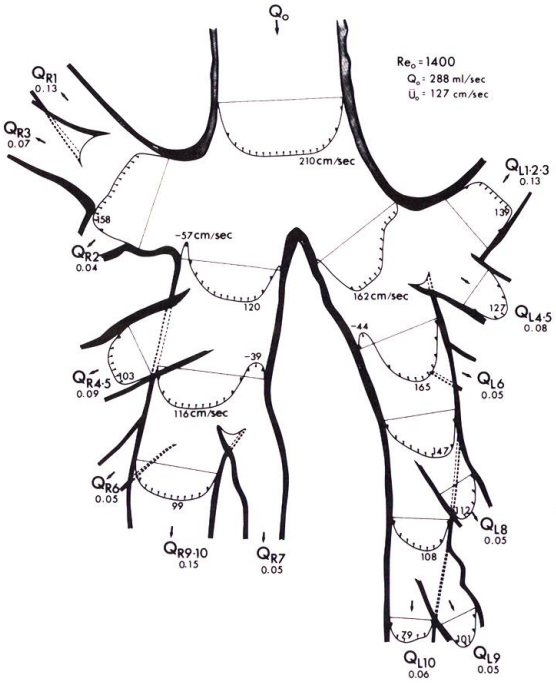

図2　吸気時における犬気管支樹内各部直径面上における軸方向速度分布

図2および図3は，それぞれ，流れの可視化による実験で得られた透明犬気管支樹内の軸方向流速分布（空気流に換算した）およびフローパターンを示したものである。これらの図からもわかるように，気管支樹の上部の大きな枝（左右の上葉気管支）の分岐部で流れが大きく乱れ，ゆっくりした二次流（高速中心流が分流点や弯曲部の外側壁に当たって円周方向にそれることにより形成される旋回流）や渦が形成されることがわかった。分岐する直前の気管内の流れは層流で，速度分布は中心部が平らになっていたが，左右の主気管支の分岐点とほぼ同じ高さの所で左右の上葉および右中葉気管支が枝分かれすることにより一度主気管支に流入した流体のうちのかなりの部分が流れの方向を変えて側枝に流入するため，この部位で流れが大きく乱れていた。図3(A)－(C)に示したように，左右主気管支の分岐部の両内側壁に沿った広い領域に低流速の循環流が，また，左右の上葉気管支の分岐部でも二次流や小さな渦流が形成されていた。しかしながら，図3(D)に示したように，分岐が進み気管支の直径が小さくなるにつれて，流れは次第に安定した層流へと変わり，速度分布も次第に放物線状に近づくことがわかった。

おわりに

犬肺気道内の吸気時における流れは，上部の主気管支の分岐部近傍において最も激しく乱れており，多数個所に流れの剝離点および再付着点を形成していた。そのような流れの剝離点および再付着点近傍では，流れが極端に遅く，壁ずり応力も非常に小さい値になっている。従って，この様な部位は，吸入された細菌類や発癌性物質の付着しやすい場所になることが考えられる。文献によれば，肺癌の中でも特に外因子由来の扁平上皮癌が肺の上部気管支の分岐部周辺に好発することが知られており[3,4]，その他にも細菌などが原因で起こる肺感染症（肺化膿症・結核），粉塵によりひき起こされる塵肺症などの肺機能疾患のほとんどが上葉気管支（特に右上葉気管支）に起こることが報告されている[5]。これらの諸疾患の好発部位が本研究で観察された流れの乱れやすい部位にほぼ一致していることから，気道内の流れが，肺癌や，その他の肺疾患の局在化に重要な役割をはたしているものと思われる。

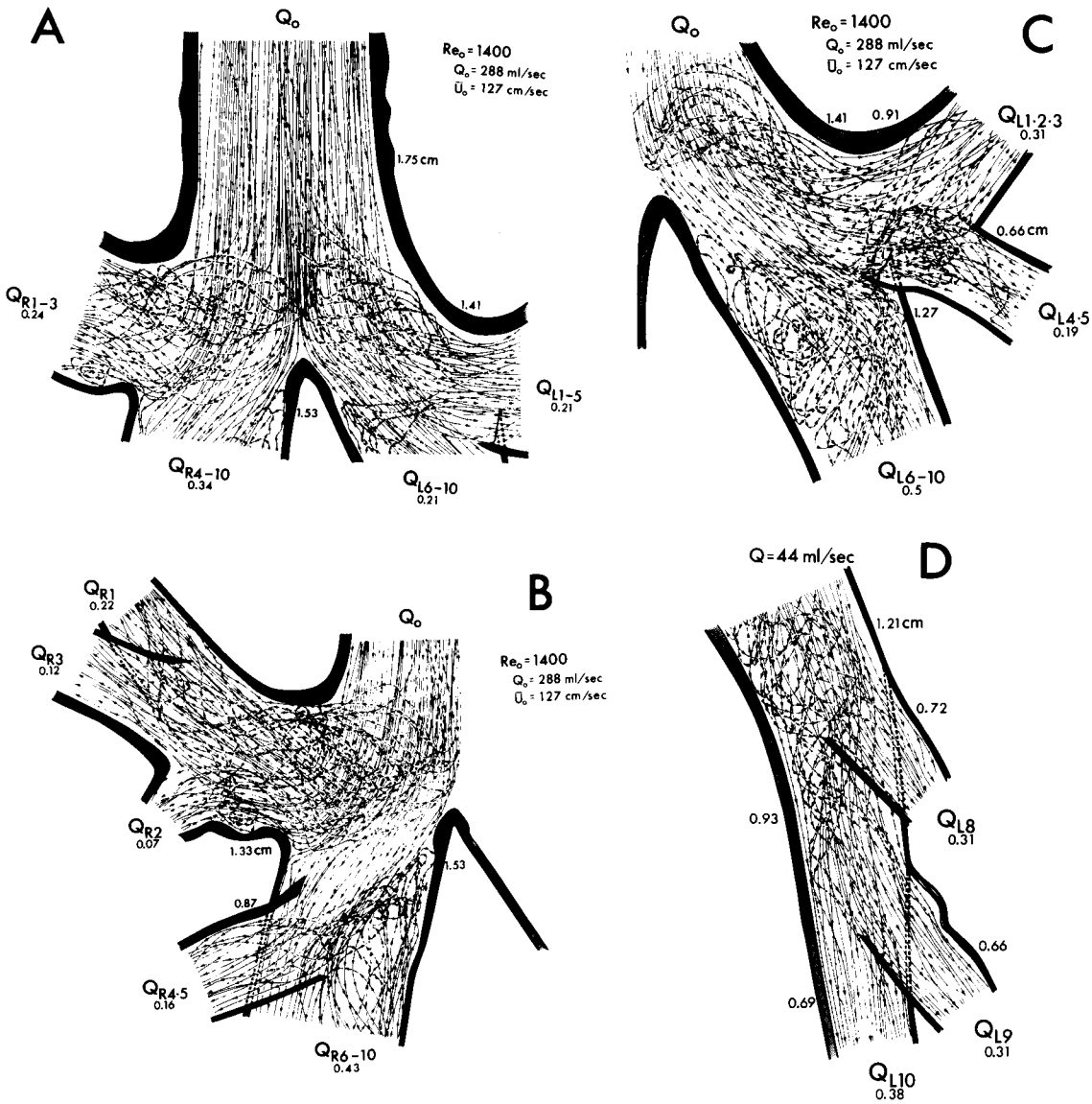

図 3　犬気管支樹内各部におけるフローパターン

【参考文献】

[1] Karino, T. and Motomiya, M.: Biorheology 20, 119 (1983).

[1] Asakura, T. and Karino, T.: Circ. Res.66, 1045 (1990).

[3] Tokuoka, S., Hayashi, Y., Inai, K. et al.: Acta Pathol. Jpn. 36(4), 533 (1986).

[4] 小野良祐，北川俊夫，尾形利郎：肺癌　16(2)，129(1976).

[5] Chang, H. K. and Menon, A. S.: In:Aerosols in Medicine. Elsevier Science, 77 (1985).