208 Y形分岐および合流管内流れの可視化

東海大・工 弓野 崇
東海大・院 伊東 春彦[○]
東海大・工 谷田 好通

Visualization of Flows in Bifurcating Tubes

Takashi YUMINO*, Haruhiko ITOH* and Yoshimichi TANIDA*

The purpose of the present paper is to study the characteristics of flow in the respiratory network. The gas transport in respiratory network is performed efficiently due to the secondary flow which occurs in dividing and combining junctions. So, this secondary flow is visualized in steady water flow by using Dye Injection Method.

In dividing junction, a pair of secondary vortices is formed in the daughter tubes, like as the flow in a curved tube. And in the combining junction, as the flow moves into the parent tube turning a corner, the fluid particles move downstream in the parent tube on two helical paths, and two pairs of secondary vortices are formed.

1. はじめに

生体の主要呼吸器である肺は、多分岐する気道と末端にある無数の肺胞から成り立っている¹⁾。一般的に成人の場合、安静時における1回の呼吸量は約500cm³であるが肺胞を除く気管内の総容積は約1500cm³で、その1/3の量しか呼吸をしていない。つまり、呼気・吸気によって多分岐する気管内を往復する流れが効率良くガス交換を行っているわけであるが、その肺呼吸におけるガス交換のメカニズムは未だに詳細が明らかにされていない。

曲がり管における脈動流について角田らは可視化実験と数値解析によって調べ、脈動流においても流れ方向に軸を持つ一対の渦から成る二次流れが生じることを示した²⁾。多分岐管から成る肺内の気管は吸気時には分岐管、呼気時は合流管に相当する。分岐・合流管はちょうど曲がり管2本を背中合わせにした構造を持ち、同様な二次流れが生ずる³⁾。分岐・合流部で生じた二次流れによる流れの混合が肺呼吸におけるガス交換促進の一要因になっていると考えられるが、これらの二次流れを鮮明に可視化した例は少ない。

そこで、本研究では気管を模擬した分岐・合流管路を使用し、定常な水流における染料注入法によって流脈の可視化観察を行った。

2. 実験装置および方法

分岐管実験装置ならびに合流管実験装置の概略図をそれぞれFig. 1, Fig. 2に示す。

分岐管は肺呼吸における吸気の場合の気管モデルであって、実験装置は分岐管、圧力箱、上部タンク、下部タンク、ポンプ、ならびにこれらを接続するパイプから構成された回路水路となっている。分岐部より上流側を親管、下流側を子管と称することにする。

一方の合流管は呼気の場合の気管モデルに相当し、合流管、可視化チャンバー、ヘッドタンク、上部タンク、下部タンク、ポンプ、更にこれらを接続するパイプから構成されている。合流部よりも上流側を子管、下流側を親管と称する。

これらの分岐・合流管はFig. 3に示すように、親管・子管がともに内径20mmの透明アクリル樹脂製円管で、親管と子管との接続角度が70°のY形対称管となっている。

実験中は常時ポンプを作動させて下部タンクに貯めた水を上部タンクへ汲み上げ、オーバーフローさせてヘッドを一定に保つ。下流側のバルブによって分岐管ならびに合流管の観測部における流速を調整する。

二次流れの観察は染料注入法によって流脈の可視化を行う。染料として正面からの観察

* Department of Mechanical Engineering, Tokai University; 1117 Kitakaname Hiratuka Kanagawa, 259-12 JAPAN

Fig.1 Experimental set-up of Dividing Junction

Fig.2 Experimental set-up of Combining Junction

Fig.3 Dividing (Combining) Junction

にはローダミン B (赤) およびウラニン (蛍光緑) を用い、管断面の可視化はウラニンを使用する。接続部の上流側 200 mm の位置から染料を直径 1 mm の注射針によって静かに水流へ注入し、管正面および管断面のスチール写真撮影とビデオ撮影を行う。ここでスチール写真の撮影条件を Table 1 に示す。

3. 実験結果

3.1 分岐管内流れの可視化

分岐管における可視化写真を Fig. 4 に示す。(a) は分岐管上部、(b) は分岐管側面、(c) は子管断面を撮影したものである。

分岐管の流れパターンの特徴として、親管からの流線が岐点に衝突した後、遠心力効果によって巻き上がり、両方の子管へ渦を巻きながら流れ込んでゆく様子が (a), (b) に見られる。さらに子管へ流入する流れの一部は、分岐部下流の外壁側に生じた剥離領域に引き込まれた後に管壁から巻き上がり、前述の渦と合流して流れてゆく。

一方 (c) から分かるように、子管の断面では流れ込んだ流れは遠心力によって断面の上下に旋回方向の相対する 2 つの渦を作っており、これは曲がり管に見られる流れと同様である。

このような分岐管における二次流れの発生が吸気時におけるガス拡散を促進していると考えられる。

3.2 合流管内流れの可視化

合流管における可視化写真を Fig. 6 に示す。(a) は合流管正面、(b) は合流後の親管断面を撮影したものである。

合流管の場合は、2 つの子管からの流線が遠心力の効果によって渦を巻きながら親管へ流れ込んで合流する。合流管は 2 本の曲がり管を背中合わせにしたような構造を持つため、その対称性から一対の対称な旋回流が親管内で形成されることになる。その結果、親管の断面では上下左右に旋回方向の相対する渦が作られる。

合流管においてこのような 2 対の渦対が形成されることにより、流れが強く混合されて呼気時におけるガス拡散が促進されることが考えられる。

Table 1 Photographing Conditions

	Dyes	Iris	Time of exposure	Light	Film	Camera	Lens
Dividing Junction	Rhodamine B Uranine	F5.6	1/125	500W Flad -lamp ×2	ISO400	Nikon F 3	Micro-NIKKOR 1:4 105mm
Combining Junction	Uranine	F2.8	1/30

(a) Plane View (Dye : Rhodamine B)

(b) Side View (Dye : Rhodamine B)

(c) End View of Flow in Daughter Tube <View A> (Dye : Uranine)

Fig.4 Flow in Dividing Junction
($Re = 1000$)

4. まとめ

70° Y形対称分岐管ならびに合流管を流れる水流に染料を注入して可視化し, 以下のような二次流れの発生を確認できた。

(1) 分岐管において, 子管に流れ込んだ流れは上下2層のスパイラル状の旋回流になっており, 分岐後の子管断面には1対の二次流れ渦が観察された。

(2) 合流管において, 親管に流れ込んだ流れは上下左右のスパイラル状の旋回流になっており, 合流後の親管断面で2対の二次流れ渦が観察された。

参考文献

- 1) West, J. B. (ed.), Bioengineering Aspects of the Lung, Lung Biology in Health and Disease Vol.3, Dekker, 1977
- 2) 角田 勝, 須藤 浩三, 曲がり管内二次流れの可視化法, 可視化情報, 10-29, 1990, 263
- 3) Pedley, T. J. et.al. , Gas Flow and Mixing in Airways, Ann. Rev. Fluid Mech. 9, 1977

(a) Plane View (Dye : Uranine)

(b) End View of Flow in Parent Tube
<View B> (Dye : Uranine)

Fig.7 Flow in a Combining Junction
($Re = 1200$)