

レーザー・ドップラー法による鼻腔・副鼻腔の 気流動態の測定

鹿児島大学医学部 耳鼻咽喉科学教室

渡辺 莊 郁, 原口 兼 明, 鯨坂 孝 二
前山 拓 夫, 大山 勝

これまで、鼻内気流に関しては鼻腔の生理学的な機能や鼻内手術などに関連して数多くの実験が行われている。しかし、その多くは鼻腔内の気流を煙や色素の流れで視覚的に捉えるもので、適当な測定手段が少なかったこともあって具体的に流速を測定したものは少ない。今回、我々は鼻腔・副鼻腔モデルを用い、従来にはないレーザー・ドップラー法による流速の測定を行い、若干の結果を得たので、その測定法の紹介を中心に報告する。

今までの鼻腔モデルを使った鼻内気流の実験では、表1のような素材及び測定法が用いられ

ことになり、細かい分析が困難であるということも挙げられると思う。

今回我々が用いたモデルは、成人男性の屍体頭部を元にして作製したポリエチレン製のモデルで、大きさは体積比で3.3倍大である。内腔の骨の突出などはトリミングしてあり、モデルの表面は不用な光の反射を防ぐため黒色で艶消しにしてある。さらに、鼻中隔の部分はガラス板、上顎洞外側部は透明な樹脂にしてあり、鼻腔・副鼻腔内の気流を測定・観察できるようにしてある。また、種々の病的状態を表現できるように、下鼻甲介、中鼻甲介や上顎洞内側壁は取り外せるようになっている。

次に測定法であるレーザー・ドップラー流速計の原理について説明する。まず、流体中の粒子に光が当たると、粒子はこの光を四方に散乱させる。この時の散乱光の周波数はドップラー効果のために入射光の周波数からずれ、このずれの大きさは粒子の速度に依存している。通常の光は波長や位相が揃っておらず流体全体でみた場合に測定し得るドップラー効果を得ることは困難であるがレーザー光は、波長が一定である、位相が等しい、指向性がよい、などの特徴があり、これを利用して流速を計算することができる。

このような原理で測定するレーザー・ドップラー法は表2のような特徴を持っている。本法以外の流速計では流路の断面積の変化から流速を求める面積流量計や電気抵抗の変化によって流速を求める熱線流量計などがあるが、これらの測定法と最も大きく異なる点は、光によって測定するために流体の流れを乱すことがない、つ

表1 鼻副鼻腔内気流の実験モデル及び測定法

	モデルの 素材	測 定 法
Paulsen	死体鼻腔	リトマス紙で被い、アンモニ アで着色
植田,日向ら	パラフィン	水槽中でメチレンブルーを 流す
Burchardt	石 膏	煙草の煙
海野ら	アクリル	鼻腔通気度測定装置 TNR I型
西尾	レジン	煙草の煙

ている。モデルの素材には死体鼻腔、パラフィン、石膏、アクリル、レジンなどが使われており、測定法は、その多くが煙草の煙やメチレンブルーなどによって鼻腔内気流を視覚的に捉えるものである。他にも多くの研究があるがその結論は一致しているわけではない。その原因は、モデルによる違いも考えられるが、視覚的な観察だけではいくつかの流路の重なりを見ている

まり非接触型であるということである。今までの鼻内気流の流速を扱った実験では中村らの加熱熱電対によるものなどがあるが、これも測定法自体による流路の変化を無視できないのではないと思われる。

実際の測定機はDANTEC社製レーザ・ドップラー流速計解析装置 55X型で、レーザ光源は2ワットのアルゴンイオンレーザを使用しており、光学系、三次元移動装置、信号解析装置及びミニコンピュータから構成される(図1)。流速範囲は数mm/secから超音速までと広域で、対象流体は気体・液体を問わず、光を通しやすいものであればよい。また、周波数シ

表2 レーザードップラー流速計の特徴

A. 長所

1. 探測子が光であるため、流れを乱さない。
2. 検出部が小さいので、微小領域の測定が可能で、空間分解能が高い。
3. 三次元流や多層流の測定が可能である。
4. 校正が簡単で信頼性が高い。

B. 短所

1. 測定流体は光の通るものである必要がある。
2. 光学系の設定に高度の技術が必要である。
3. 流体中に光を散乱する粒子が必要である。
4. 装置が高価である。

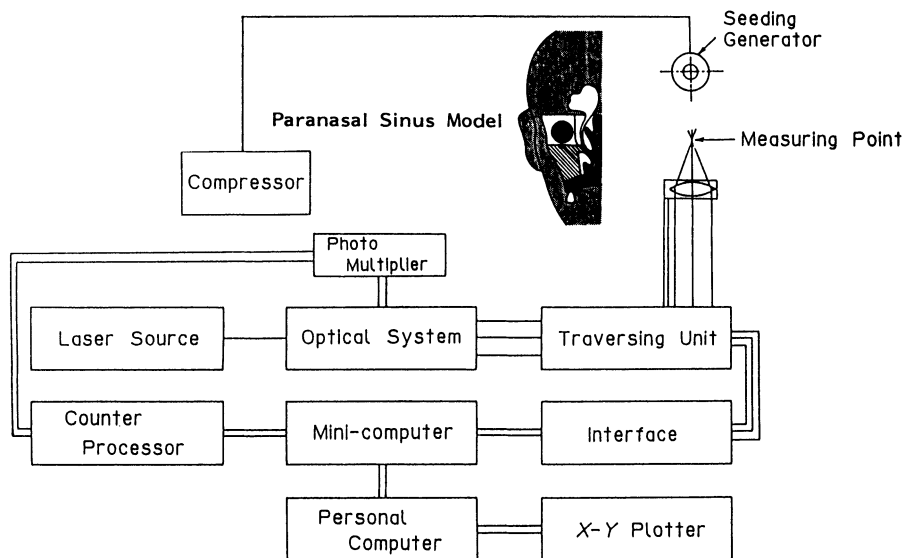


図1 レーザードップラーのブロックダイアグラム

フトと呼ばれる特殊な機能があり逆流現象も観察できる。測定部位のプロープの大きさは1×0.5mmの楕円形をしており、実際の計測では、このプロープ内の粒子を300~500個測定してその平均をとっている。

流体中の散乱粒子として、今回は、グリセリンを用いた微小粒子発生装置を装着した。

本測定機は鹿児島大学の共同利用施設として鹿児島大学工学部に設置されており、今回の実験は鹿児島大学工学部との共同実験として行っ

た。

次に今回の実験結果についてであるが、図2は、外鼻孔から0.8m/sの速さで流入させたときの鼻中隔面より深さ5mmの部分の流速を2次元的に表現したものである。これを見ると、外鼻孔から流入してすぐに気流が渦を巻いているのがわかる。流れの主流は、実際には鼻中隔面よりさらに10から20mm外側にあると思われ、その部分の流速は今回はまだ計測していないが、流速が大きいこともあり、このような乱れはな

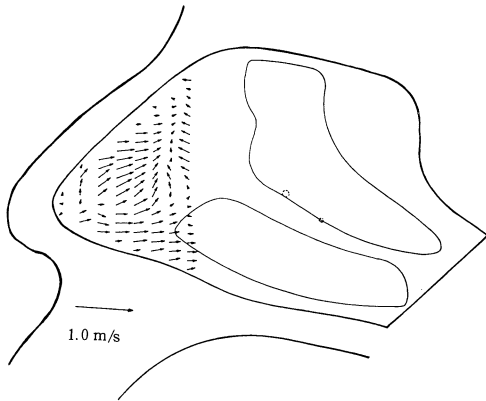


図2 レーザードップラーによる測定結果

応答：前山（鹿児島大）

流量に関しては、ある特定の位置での断面積を決めて、流速×断面積で求められます。

いかも知れない。しかし図2のような壁面に近いところではこのような気流の乱れが存在し、しかも、物理学的には、正常呼吸の範囲での流速では、流れはほぼ相似性があるとのことであるので、この渦は呼吸の速さにほぼ無関係に存在することになる。このことは、加温・加湿といった鼻腔機能に有効に作用しているのではないかと思われる。

また、鼻腔の下部より上部の方が流速が遅く、流れが停滞しているものと思われるが、これは嗅覚に関連して臭い物質をとどませ臭いを感じやすくしていることなどが考えられる。

今回はまだ測定を始めたばかりで考察するのに十分なデータが得られていない。今後さらに条件を変えて測定することにより、鼻腔・副鼻腔の生理的状態だけでなく、病的状態での気流の測定も行い、臨床的な成績も絡めて実験していきたいと思う。

討 論

質問；佐藤（帝京大）

レーザー光の種類および波長はどのくらいか。

質問；松永（奈良医大）

1. 用いたグリセリン微粒子の大きさは？
2. 最小径どれ位の微粒子がとらえられるか。
3. 流量も測定できるか。