

気管・気管支内の気流運動と痰塊の運動

多羅尾範郎* 元 聖隷クリストファー大学

1. 緒言

高齢化の進む近年、嚥下能力や（繊毛運動や咳を含む）去痰能力が衰え、吸引等の呼吸器系のケアを必要とする者の増加と共に、痰のレオロジー研究が発展的な呼吸器浄化に必要となりつつある。

咳や呼吸音の研究と吸引や去痰の研究は、一見、全く関係がない様に思われがちであるが、咳に於ける気道壁の痰塊の運動や呼吸の気流による肺音が気道壁に付着した痰の運動で変わる事を考えれば、相互の深い関係が推測される。事実、気管や太い気管支に張り出した痰塊は、比較的低い振動数で振動し、咳音中に Productive Cough (痰の絡んだ咳) 特有の音を発し、痰で細くなった気管で生ずる肺音は、呼吸中にできる渦の大きさが小さくなり、高音側にずれる。更に、これらのメカニズムを調べる事で、振動気流と痰塊の共振を利用して、積極的に去痰を促す事ができることがわかる。

もちろん、痰の物理的性状は一様ではなく、場所により、採取方法により、採取からの物理的・化学的経過により、経過時間により、かなり変化し、簡単にはレオロジー研究対象とはなりえない。

しかしながら、多くの粘液性痰の場合、大雑把な物理的性状が共通しているため、実際には、前述の様に Productive Cough の音声分析で、120Hz～500Hz の比較的低い振動数の特徴的音声が含まれる。

今回の研究においては、物理的性状が人の標準的粘液性痰に類似したムチン水溶液を使用し、物理的実験結果から得られた疑似痰の流動特性に即したモデルを構築し、その計算から気道に付着した痰塊の気流中の挙動を調べた。特に、気流との相互作用では、共振と剥離の可能性について、興味深い結果が出たので、ここに発表する。

2. 実験方法と計算モデル

2. A1 Productive Cough の実験

内径 1.8cm の塩化ビニール管内に、ムチン水溶液(物理的性状は別の実験で測定済み)を paste し、咳類似の破裂的気流を流し、その時の音をマイクで拾い、それを周波数分析した。比較のため、管内に何も塗らない場合の音も調べた。

2. A2 疑似痰ムチンの流動特性を調べる実験

Maron-Krieger-Sisko 型の非 Newton 粘度計により、いろいろな Share rate に於ける見かけ上の粘度を測定した。(20%ムチン水溶液, 10°C)

2. A3 平行板型振動 Couette 流の実験

疑似痰(ムチン水溶液)振動中の剛性率を測定するために、2枚の平らな板の間に疑似痰を挟み、振動させた。上に置く1枚は透明なアクリル板で、注入した疑似痰の体積と広がった面積から、板間の疑似痰の厚みが分かる。

2. A4 振動板上の疑似痰の実験

振動板上の疑似痰塊の挙動をみる実験で、単にいろいろな振動数の振動板上で疑似痰が振動する場合と、振動中に気流による剥離を起こさせる実験とを行い、痰塊の挙動と剥離を高速ビデオカメラで撮影した。

2. B1 痰栓モデル

円筒形の痰の栓が圧力振動で駆動され、運動する様子を計算した。痰栓内の流動モデルは、実験でその妥当性が確認された Casson 流動特性を採用した。

2. B2 管内突出痰塊モデル

円筒内に付着した痰塊が振動気流に駆動され運動するメカニズムを記述する解析的方程式から、張り出し幅・高さ・痰の弾性率、から、共振周波数を求めた。

また、上記形状痰塊表面の圧力分布から、定常的に一様に気流が流れている場合の剥離開始(中心)流速と形状値の関係を計算により求めた。

3. 実験とモデル計算結果

実験では、湿性咳嗽(Productive cough)の音中には120Hz～500Hz の比較的低い振動数の音が含まれる事、ムチン疑似痰の流動特性の代わりに Casson 流動性を使用する事が妥当である事、ムチン疑似痰の剛性率、疑似痰の大きさと共振周波数、気流による剥離メカニズム、等が測定・観察された。計算では、痰栓の径と共振振動数の関係、気管支に突出した痰塊の形状と共振振動数の関係、剥離開始流速と(不変形)形状値との関係、等が分かった。

4. 考察と結論

管内渦の大きさからの自然発生圧力波振動数下限により、中枢付近の気道内の痰塊を取り除くには、外部からの強制振動が必要である。