

平成 30 年 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12947

研究課題名(和文)音波による共鳴現象を用いた音響医学的排痰補助システムの3Dモデルによる開発

研究課題名(英文)Development of expectorant assistive system induced by sound resonance on 3D respiratory tract model

研究代表者

市江 雅芳(Masayoshi, Ichie)

東北大学・医学系研究科・教授

研究者番号：20193427

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文):音波による気道の共鳴現象が、排痰を補助する装置に活用できないかどうか、基礎的な実験を行った。実験には市販されている気管内視鏡トレーニングモデルを用い、非接触式のレーザードップラー振動計を用いて気道の共鳴現象を測定した。結果は、気管、気管支、細気管支など、部位によって共鳴周波数が異なり、末梢に行くほど周波数が高くなった。このことにより、気道の共鳴状態を音波の周波数を変化させることでコントロール出来ることが判明した。

研究成果の概要(英文):The purpose of this study is to make clear that sound resonance on respiratory tract may act assistive for expectorant. The 3D training model of bronchoscope and laser doppler vibrometer were used for the experiment. Sound resonance phenomena were observed on all of the respiratory tract. Resonance frequency was different at each point and changed low to high from proximal to distal. This shows possibility to develop expectorant assistive system induced by sound resonance.

研究分野：音楽音響医学

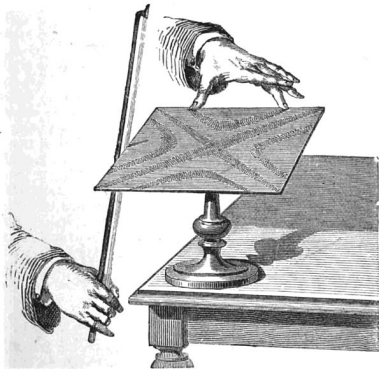
キーワード：音響 共鳴 気道 排痰

1. 研究開始当初の背景

人間の体、特に気道系は音に共鳴することが知られている。声楽家は、副鼻腔や口腔を含めた気道全体を共鳴させ、豊かな響きを産みだしている。申請者は、平成15年度の科研費「ダブルリード機構を用いた音楽療法的呼吸筋訓練機器開発のための基礎的研究」において、管楽器吹奏時に、その音域の違いに応じて、気道の共鳴する部位が異なることを見いだした。特に、声帯より下部にある気管や気管支の共鳴が認められた。このことは、外部からの音響刺激を気道に取り込むことで、その周波数に応じて気管、気管支、細気管支など、気道の特定部位を共鳴させることが可能であることを示唆している。

呼吸器疾患に対しては呼吸理学療法が行われるが、これは理学療法士が常駐する病院に限られる。一般病院において排痰は看護師の業務であるが、吸引器で届かない気管支および細気管支レベルの排痰は容易でなく、体位変換を行うだけでは対応できずに背中を叩打する場合もあり、患者自身の身体的負担は大きい。また、高齢者は誤嚥などの呼吸器疾患を抱えている場合が多く、自宅で介護を行っている家族にとって、排痰は大きな問題となっている。

音波による共鳴現象は、1809年、ドイツの科学者エルンスト・クラドニの実験により証明された。当時の実験は鉄板の上に砂を蒔き、ヴァイオリンの弓を使って振動を与えたところ、周波数によって鉄板の共鳴する部分が異なり、様々な模様となって現れるものであった。



これは、クラドニ図形と呼ばれており、現在でもスピーカーを用いて簡単に再現できる。



この音波による共鳴現象を3次的に拡張し、様々な立体模様を産みだしているのがCYMATICSである。



本研究は、平成15年度科研費の研究成果である音波による気道の共鳴現象をCYMATICSの理論を基に発展させ、3次元的な生体の共鳴現象を引き起こすという、全く新しい試みである。

音波によるクラドニ図形、CYMATICSの歴史は長いですが、医療における応用は全くなされていない。これは、シミュレーション実験の困難さにも要因がある。本研究は、CYMATICSの理論を医療に導入するとともに、3Dプリンターで呼吸器モデルを作製しシミュレーション実験を行うという、斬新で新しい方法論の提案を行うものである。

従来、呼吸器疾患の患者の排痰は呼吸理学療法など高度な手技を要したが、音響刺激による排痰システムが開発されれば、呼吸理学療法の知識がない一般の看護師でも容易に排痰補助が出来るようになる。さらに、家庭内での介護の場面でも家族による排痰が可能になり、高齢化が進む日本の社会に恩恵をもたらすことは必至である。

このような技術の開発は、低迷を続ける日本の音響機器メーカーにとって、新たに医療領域への参入を促すものとなり、日本の産業界に与える影響も大きいと考えられる。

以上のような研究開始当初の背景であるが、実際に交付された研究費は大きく減額されており、合成音波発生装置および3Dプリンターの導入は不可能となった。そこで、初年度の平成28年度は、他の代替案について様々な検討を行った。その結果、呼吸器モデルは市販の気管支内視鏡トレーニングモデルを用いてシミュレーション実験を行うこととした。また、共鳴現象を捉えるために用いることとなった多点同時計測可能なレーザードップラー振動計の利点として、ホワイトノイズを印加して計測することで、20,000Hzまでの帯域全体の共鳴を捉えられることが判明し、合成音波発生装置の代わりに20,000Hzまでの振動(音波)発生装置が利用できることが分かった。

この結果、研究費申請時の研究計画を大幅に変更することで、交付された予算の範囲内で、当初の研究目的を達成する見通しが立った。

2. 研究の目的

本研究は、外部から音響刺激を与えることで、気道に共鳴現象を生じさせ得ることを、呼吸器モデルを用いたシミュレーション実験を行って示す。

このことにより、この原理に基づいた呼吸器疾患患者の排痰を容易にする治療装置が、開発可能であることを示す。

3. 研究の方法

科学研究費補助金の申請時には、市販の3Dプリンターを用いて呼吸器モデルを作製する予定であったが、研究費の大幅減額により3Dプリンターの購入が不可能となった。そこで、平成28年度は、市販の気管支内視鏡トレーニングモデル(高研LM-092)が流用可能であるかどうかを確認した。



同じく予算の減額により、合成音波発生装置が購入できなくなったため、20,000Hzまでの振動発生装置を代用することとした。また、共鳴現象を捉えるためには呼吸器モデルのそれぞれの部分の振動を捉えなければならないが、当初考えていた接触式の加速度計ではセンサーの質量が実験結果に影響を及ぼすことが判明した。様々な可能性を検討したが、非接触式のレーザードップラー振動計を用いなければならないという結論に至った。この装置は極めて高額であるため、本研究費の予算内でPolytec社製PSV-500スキャニング振動計をレンタルして実験を行うこととした。

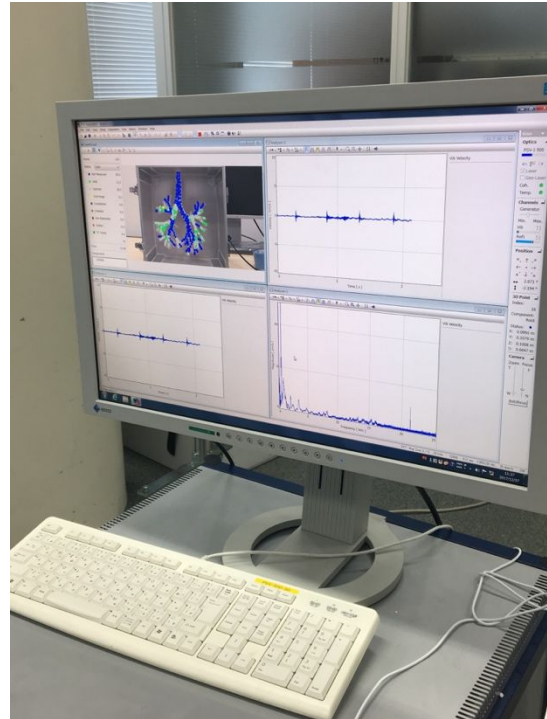


平成29年度は、これらの機材を用いてシミュレーション実験を行った。実験は、気管

支内視鏡トレーニングモデルの口側に振動発生装置を取り付け、20,000Hzまでの音波によるホワイトノイズを印加し、気管支モデル全体の振動状況をレーザードップラー振動計を用いて多点同時計測した。さらに、特異な周波数を示す部位が認められたため、その周波数単独で音波を印加して実験を行った。

4. 研究成果

結果は、気管、気管支、細気管支など、部位によって共鳴周波数が異なった。気管支分岐部は、およそ200Hzで共鳴していることが分かった。



この周波数は、平成15年度科研費(萌芽)の研究成果である気道の共鳴現象で観察されたイングリッシュ・ホルンの共鳴音の周波数に近い。イングリッシュ・ホルンは、オーボエと同族のダブルリード楽器であり、オーボエの周波数帯域が233Hz~1,397Hzであるのに対し、イングリッシュ・ホルンは156Hz~932Hzである。これは、ソプラノ・リコーダーとアルト・リコーダーの関係と良く似ている。



上：イングリッシュ・ホルン、下：オーボエ

本実験の 200Hz での共鳴は、オーボエでは引き起こせず、イングリッシュホルンでのみ引き起こせるものであり、平成 15 年度の実験結果を今回の実験が裏付けた形となった。

以上より、本実験で用いた気管支内視鏡トレーニングモデルでの測定が、ある程度生体に反映させることができると考えられた。また、気管支分岐部より末梢では 10 倍以上の周波数で共鳴している現象が観察された。このことは、音波を変化させることによって気道の共鳴状態が変化することを示しており、例えば、100Hz～3,000Hz の音波を周期的に変動させることによって痰を振動させ、排痰を促す可能性を示唆している。このことは、「音波による共鳴現象を用いた音響医学的排痰補助システムの開発」にも繋がるものと考えられる。

このように、予算の関係で当初の実験機材を変更して研究を遂行したが、「共鳴現象を利用した排痰システムの開発の可能性を示す」という本研究の目的は十分達成できたと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市江 雅芳 (ICHIE MASAYOSHI)
東北大学・大学院医学系研究科・教授
研究者番号：20193427

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()