研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

研究題目	ヒト生体における鼓膜・耳小骨の振動測定と医療への応用	報告書作成者	國本 泰臣
研究従事者	國本 泰臣, 有井 士郎		
研究目的	聞こえのメカニズムとして以前から、外耳道に入った音波が鼓膜やその奥にある耳小骨を運動させると言われている。しかし実際にヒト生体における鼓膜や耳小骨の振動を計測することは非常に難しいため、生体での音響刺激に対する振動様式の報告は少なく、あっても鼓膜の 1 点もしくは数ヶ所のみの測定であった。これに対し申請者は、2013 年に非接触型レーザードップラー速度計を用いてヒト生体での鼓膜振動を 33 ヶ所網羅的に測定し、鼓膜の振動は周波数によって位相が変化することを報告した(Kunimoto, et al. 2013)。その後、ヒト生体における耳小骨の振動様式を手術中に測定することにより、耳小骨間でも位相の違いがあることを学会で報告した。 本研究ではヒト生体における鼓膜と耳小骨との振動関係を明らかにし、医療現場での検査・診断・治療効果判定への応用を目的とする。		

研究内容	まずは正常な鼓膜・耳小骨について測定を行い、その振動様式を検討する。またその測定結果から、鳥取大学工学部の共同研究者により正常耳での振動モデルを作成する。これに各疾患の振動モデルを加えることにより生体では実際に測定できない部分についても振動解析を行うことができる。 具体的には、手術用顕微鏡（Zeiss 社、OPMI、鳥取大学医学部附属病院所有）の側視鏡部分にレーザードップラー速度計（OMETRON 社、VH300、鳥取大学所有）を装着し、パルス分析装置（Bruel and Kjaer 社、PULSE356-B-130、鳥取大学所有）、パーソナルコンピュータと接続する。音響刺激器（リオン社、AA-67N、鳥取大学医学部附属病院所有）からのチューブを耳鏡に接着して外耳道から音響刺激を行う。実際の測定部位を確認するため、顕微鏡モニターでの測定中の様子を DVD で録画しておく。鼓膜の振動測定の場合、外耳道経由で顕微鏡下にレーザーを測定部位に照射し測定する。今までの振動測定の際、再現性および解析可能なものとして音響刺激 1kHz、3kHz としたため、今回使用する音響刺激も同様とする。その後、サンプリング周波数 32.8kHz、ローパスフィルター25.6kHz で記録した速度波形をフーリエ変換して振動周波数を確認する。以前の研究では 33 ヶ所を測定したが、現実的な測定時間や位相のずれを確認するために必要最低限な 5 ヶ所程度とする。また、耳小骨の振動測定の場合、乳突蜂巣を広く削開して十分に耳小骨が観察できるようにしてから、事前にセッティングしておいたレーザードップラー速度計を装着した顕微鏡を使用して外耳道経由で音響刺激を加えた際の耳小骨の振動を測定する。測定場所はツチ骨頭、キヌタ骨短脚、キヌタ-アブミ関節、アブミ骨後脚とする。得られた速度波形から各測定点での経時的な振幅を計算し、グラフィックソフト（gnuplot）を使用して得られた経時的な振幅をグラフ化し視覚的に描出する。これを各周波数毎に行う。次に鼓膜と耳小骨各測定点の経時的な振動様式を同じグラフ上に描出しその関係性や位相差を解析する。これも各周波数毎に行う。 最終的にはその結果から、実際の医療現場における検査や診断、治療効果判定への応用を目指したいと思っている。 耳疾患の手術において、耳小骨の可動性制限などは術前の画像検査だけでは不明なことが多い。実際の手術中に術者が耳小骨を操作し可動性を確認しているがこれも主観的なものであり客観的な評価は不可能である。今研究により術前検査として鼓膜の振動測定をおこなうことで耳小骨の可動性を評価できる可能性がある。また、術中の可動性評価も客観的に行うことができ、より有効性の高い手術を提供することができ、患者の日常生活の質をさらに向上することができると考える。

研究のポイント	今まで屍体を用いての耳小骨振動測定は報告があるが、その場合リンパ液の漏出やアブミ骨筋反射の消失など実際の生体とは異なる条件での測定とならざるを得なかった。本研究のポイントを以下に提示する。 ・ヒト生体内での音響に対する自然な耳小骨の振動を測定する点 ・使用するレーザードップラー速度計が現在日本国内に他には残存せず同型のものは今後新規作製されることがないという点 ・最近 5 年間の国際学会ではヒト生体での鼓膜・耳小骨振動に関する報告がなく、われわれのみであった点 耳小骨の固着部位が客観的に判明すれば、われわれ耳鼻咽喉科医が手術で耳小骨の再建を行う際に、どこをどのように再建すると最も効率よく振動が改善するかが予測できる。現在、耳小骨再建による聴力改善の成功率については術者の経験によるところが大きい。本研究の結果により比較的経験の少ない術者でも聴力改善の成功率を高めることができるため、本研究は耳小骨再建において、術後聴力の改善率向上に貢献できると考える。
研究結果	ヒト生体における正常な鼓膜・耳小骨の振動測定結果を別紙図 1～4 に示す。 鼓膜については、刺激周波数 1kHz では経時的に全体が同期して振動している（図 1）のに対して、刺激周波数 3kHz ではツチ骨を支点として位相がずれながら振動していた（図 2）。振動の振幅は 3kHz の方が大きかった。 耳小骨については、刺激周波数 1kHz・3kHz とも、ツチ骨とキヌタ骨は同期して振動し、アブミ骨は位相がずれながら振動していた（図 3、4）。振動の振幅は 1kHz の方が大きかった。 振幅に関して見てみると、3kHz の方が鼓膜の振動振幅は大きいが、耳小骨の振動振幅は小さかった。これは、鼓膜の振動が必ずしもそのまま耳小骨に伝えられているわけではなく、耳小骨は面内振動によっても内耳へ振動を伝えているのではないかと推測される。 これらの結果を現在英文誌に投稿中である。

今後の課題	今までの研究では正常な鼓膜・耳小骨の振動を測定した。今後の研究では疾患を有する鼓膜・耳小骨での測定を行い、両者での振動様式の差異を検討する。具体的には、鼓膜に穿孔を有する患者、耳小骨の硬化性病変を有する患者などで手術前・手術中に鼓膜や耳小骨の振動を測定する。今までの研究によりすでに実験系は確立しており技術的な問題は少ないものと考える。現在、鳥取大学工学部の共同研究者により正常耳での振動モデルを作成中である。これに各疾患の振動モデルを加えることにより生体では実際に測定できない部分についても振動解析を行っていきたい。

説 明 書【サウンド技術振興部門】

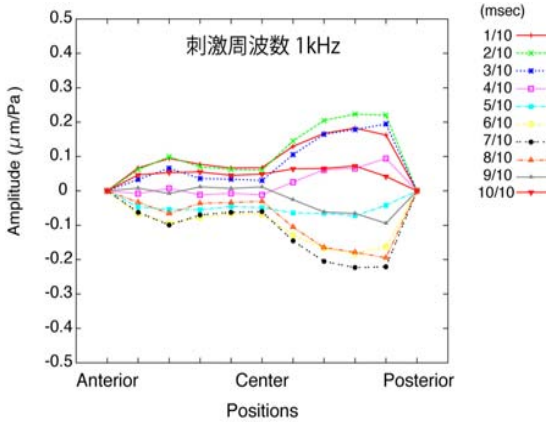

図 1

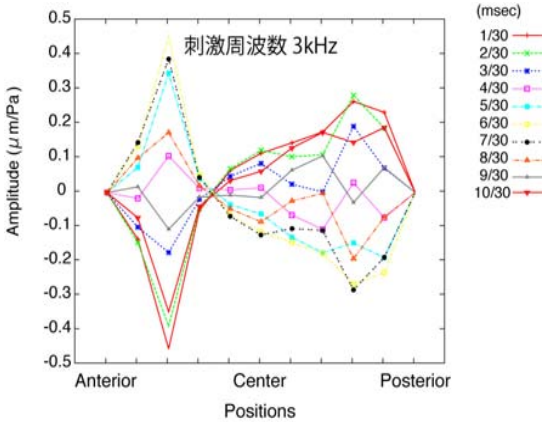

図 2

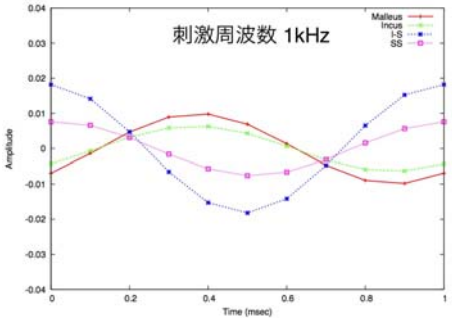

図 3

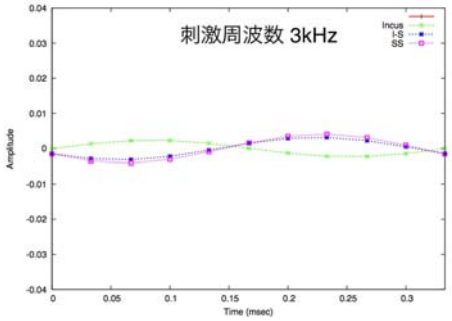

図 4

（注:フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。）