

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23592487

研究課題名(和文) アブミ骨振動のハイスピードカメラによる動画撮影とその動き解析

研究課題名(英文) High-speed video analysis of acoustically oscillated stapes.

研究代表者

玉江 昭裕 (Tamae, Akihiro)

九州大学・医学(系)研究科(研究院)・研究員

研究者番号：50529881

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：難聴の病態把握において、特に中耳伝音系の動きを実際の映像として撮像した報告はなく、その検査の多くは主観的であり中耳伝音系の動き解析において定量的な評価は困難であった。今回、我々はハイスピードカメラを用いた実際の音刺激によるアブミ骨運動の評価によって、中耳伝音系において外耳道からの音波はアブミ骨の上下運動へと正確に変換され、その周波数は生体・断頭モデル、病態・治療モデル、単音・和音刺激時のいずれの条件においても刺激音周波数と完全に同一であり、中耳伝音系はアブミ骨運動の振幅への変換効率によって個体の聴力に関与していることが、直接的な観察によって証明された。

研究成果の概要(英文)：In the conductive hearing loss, there were no reports captured the actual movement of the middle ear as an image. So quantitative evaluation of middle ear function was difficult. This time, through using a high-speed camera, we capture and analysis the stapes movement stimulated by sound. Sound waves from the ear canal can be accurately converted into vertical motion of the stapes in the middle ear. The frequency of the stapes movement was completely identical to the frequency of the stimulating tone under any conditions, biological or decapitated model, pathology or treatment model, the single or chord stimulation. By direct imaging of the middle ear using high-speed camera, we demonstrated that the middle ear work in hearing by the conversion efficiency to the amplitude of the stapes movement.

研究分野：学術研究助成基金助成金

科研費の分科・細目：基礎研究(C)

キーワード：アブミ骨振動 ハイスピードカメラ 中耳伝音系 伝音難聴評価

### 1. 研究開始当初の背景

聴力障害患者は全人口の 30%とも言われ、外耳・中耳・内耳・中枢神経系と多岐にわたる病因・病態が報告されている。この難聴の病態把握において、現在まで様々は聴力検査方法が開発されてきたが、その多くは検者・披検者の主観を排除できないものであり、実際の臨床においては障害の程度の定量的な評価や、原因究明が困難であった。特に中耳伝音系の評価、すなわち耳小骨の可動性および関連する定数などにおいては、現在でも臨床での評価はできていない。同分野においてこれまでの研究ではストロボスコープやレーザードップラー測定を用いた報告がなされてきた。しかし、いずれも実際の医療において中耳系に起因する難聴の定量的測定は困難であった。

### 2. 研究の目的

今回、我々はハイスピードカメラを用いた中耳伝音系、特にアブミ骨振動測定系の開発を最初の目的とした。その上で、コンピューターを用いた解析系と組み合わせ、中耳伝音系の振動の解析と、固有のパラメーターの算出により、中耳伝音系の定量評価を次の目標とした。最後に、臨床応用を見据えた病態モデルの検討を目標とした。

### 3. 研究の方法

モルモットの骨包を除去することにより、中耳伝音系を正常構造にて残したままハイスピードカメラ下に観察した。外耳道より音刺激を加えることにより、中耳伝音系の振動を撮像した。

撮像されたビデオをコンピューターに取り込み、解析ソフトウェアを用いてその振動を可視化した。可視化した振動を解析することで中耳伝音系の振幅および周波数など、各種パラメーターを算出した。

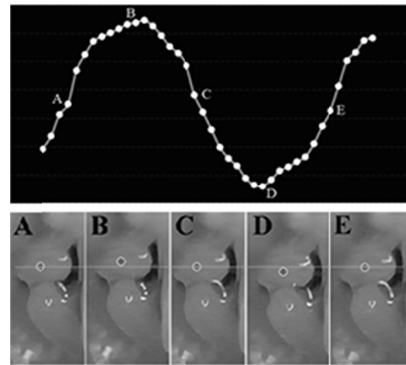
生体モデルおよび病態モデルの作成を行い、さらに治療群とも比較検討を行った。

### 4. 研究成果

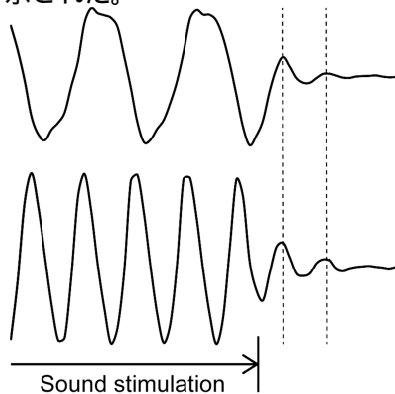
これまで動物の耳小骨が実際の音刺激によってどのように振動しているか実際の動画として撮像されたことはなかった。今回、断頭モルモットに対して、日本光電社製誘発電位・筋電位検査装置 Neuropack M1 MEB-9204 を用いて実際の音刺激を与えた。この際のアブミ骨振動を、Keyence 社製高性能ハイスピードカメラ、VW-5000 を用いて撮像することに成功した。

この撮影された動画をコンピューターに取り込み、Keyence 社製動画解析ソフトウェア VW-H1MA を用いてアブミ骨上の一点を追跡し、アブミ骨運動を可視化した。この音刺激の周

波数と音圧を様々に変化することでアブミ骨運動がどのように変化するかを解析した結果、アブミ骨の振動は刺激音の周波数に全く一致した周波数で上下運動を繰り返していることを明らかにした。さらには音圧を増減させると振動周波数は全く変化しないまま、その振幅も同様に増減することが分かった。すなわち鼓膜からアブミ骨に至る中耳伝音系に周波数と音圧の分別システムが備わっていることが明らかとなった。

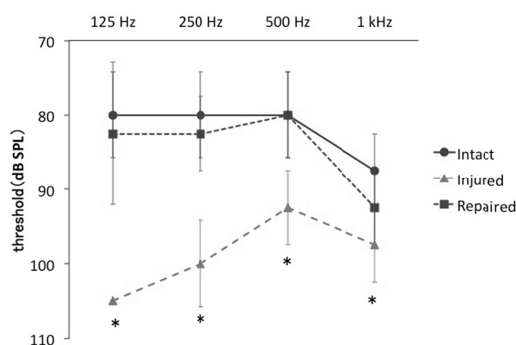


アブミ骨運動の動画解析および可視化によって、中耳伝音系の固有振動の解析について検討した。音刺激終了後、その刺激音の周波数に関わらず、アブミ骨はそれぞれの個体ごとにその中耳伝音系の固有振動周波数による一定の周波数での減衰振動を示した。これをコンピューター解析により定量化し、正常耳での中耳伝音系の減衰振動周波数および、弾性比などのパラメーターを求めることが出来た。この解析により、様々な中耳伝音系の病態モデルにおいて、病態に応じたパラメーターの変化を定量測定できる可能性が示された。



この中耳伝音系測定系において、伝音難聴の病態モデルとして、同一個体において鼓膜に穿孔を作成し、鼓膜穿孔以前のアブミ骨運動と比較した。比較検討の結果、鼓膜穿孔によってアブミ骨運動の振動周波数には変化は見られず、刺激音の周波数に全く一致した周波数を示した。しかし、鼓膜穿孔によってアブミ骨運動の振幅が減少することが明らかとなった。さらに、この病態モデルにおい

て、実際の治療モデルを再現するために、作成した鼓膜穿孔を薄い膜を用いて閉鎖したところ、アブミ骨運動の振幅はほぼ穿孔前まで回復した。その際も、アブミ骨運動の振動周波数は刺激音の周波数を全く一致した。この結果は、実際の鼓膜穿孔の病態・治療をよく再現しており、本実験系が伝音難聴の検査として、再現性および定量可能な観測閾値とともに十分なもの足りうる可能性を示唆するものとなった。



生体での実際の中耳伝音系の再現のために、硬性内視鏡および小動物用麻酔装置を用いることによって、全身麻酔下に同様の実験も行った。この生体下実験においても、アブミ骨運動は断頭モデルと同様に、刺激周波数とまったく同一の周波数での振動を示した。これにより、本観測系の臨床応用への可能性が示唆された。

ここまで、単一周波数 tone burst 音刺激によるアブミ骨運動解析を行ったが、実際の自然音や声などは複数周波数による和音であるため、本実験系を応用し和音刺激による動態解析を行った。この実験のために、タッカーデービス社のリアルタイムプロセッサ RP2.1 を使用し、任意の刺激周波数と和音数を設定することが可能となった。今回、複数周波数の音刺激を2つ組み合わせた和音を入力し、その際のアブミ骨運動を撮像・解析した。その結果、アブミ骨は和音を構成する2つの刺激音の合成波形と同じ動態で上下運動をしていることが解明された。さらに、アブミ骨運動の動画から解析し作成した波形をフーリエ変換によって分解すると、刺激周波数と同様の周波数が計算された。

これらの結果、本実験系は物理学的に忠実な測定・実験系であり、また中耳伝音系において外耳道からの音波はアブミ骨の上下運動へと正確に変換され、その周波数は生体・断頭モデル、病態・治療モデル、単音・和音刺激時のいずれの条件においても刺激音周波数と完全に同一であり、中耳伝音系はアブミ骨運動の振幅への変換効率によって個体の聴力に關与していることが、直接的な観察によって証明された。

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 7 件)

Mitsuru Ohashi, Acoustic oscillation of guinea pig stapes visualized through high-speed video camera analysis, 48<sup>th</sup> Inner Ear Biology Workshop, 2011, Lisbon Portuguese Republic

大橋 充、ハイスピードカメラを利用した中耳伝音系の振動特性評価の試み、第21回日本耳科学会総会学術講演会、2011、沖縄

Mitsuru Ohashi, Acoustic oscillation of guinea pig stapes visualized through high-speed video camera analysis, Association for research in Otolaryngology, Midwinter research meeting, 2012, San Diego U.S.A.

大橋 充、モルモットアブミ骨の生体下における和音刺激時動態解析、第57回日本聴覚医学会総会学術講演会、2012、京都

安井 徹郎、高速カメラによるアブミ骨運動解析 - フーリエ解析、第57回日本聴覚医学会総会学術講演会、2012、京都

安井 徹郎、高速カメラを用いたアブミ骨運動の直接解析、福岡県地方部会 第161回耳鼻咽喉科・頭頸部外科学術講演会、2012、福岡

Tetsuro Yasui, High-speed Video Analysis of Ossicular Chain of Near-intact Guinea Pig Middle Ear, Association for research in Otolaryngology, Midwinter research meeting, 2013, Baltimore U.S.A.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 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 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

<http://www.gent.med.kyushu-u.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小宗 静男 (Komune, Shizuo)  
九州大学 耳鼻咽喉科 教授  
研究者番号：10117434

### (2) 研究分担者

研究分担者  
大橋 充 (Ohashi, mitsuru)  
九州大学 耳鼻咽喉科  
研究者番号：70529883

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：