

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750185

研究課題名(和文) 聴診支援装置の開発とその評価～耳管通気法における診断支援装置～

研究課題名(英文) Development and evaluation of auscultating type diagnostic support system - about Eustachian tube insufflation Method -

研究代表者

鈴木 裕 (SUZUKI, Yutaka)

山梨大学・総合研究部・助教

研究者番号：40516928

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：耳管機能検査について装置も発売されているが、治療と診断を兼ねた耳管通気法が一般的に行われている。しかし、耳管通気法では施行する医師にしか聴診されないため耳管通気音がデータとして残されないことや、診断が医師の聴覚的判定に任されており客観性に乏しいなどの短所がある。そこで我々は耳管通気音を客観的に評価するシステムの開発に着手した。耳管通気音を採取し、病態による音響的特徴を調べた。また、周波数解析結果を特徴ベクトルとして、自己組織化マップに入力する手法を提案した。その結果、周波数解析結果の0～5kHzを用いてスペクトルの最大値を正規化したときに正常音・狭窄音・水泡音を分類できることが確認された。

研究成果の概要(英文)：Commercial equipment is available for conducting Eustachian tube function tests but, generally, the Eustachian tube insufflation method doubles as a treatment and diagnosis. However, with the Eustachian tube insufflation method, the doctor merely performs the auscultation. That is, the technique is not objective. To overcome these disadvantages, we set out to develop a system that would enable the objective evaluation. We sampled a wide range of Eustachian tube insufflation sounds and tried to identify the acoustic features of specific pathological conditions. However, it was so difficult to find the features and to classify according to observation of spectra completely. Therefore, we proposed a method of inputting the frequency analysis results as feature vectors to a Self-Organizing Map.

研究分野：医用生体工学

キーワード：耳管通気法 生体音 診断支援システム 自己組織化マップ 最大エントロピー法

1. 研究開始当初の背景

人が音を聞くとき、外耳道を通った音によって鼓膜が振動し、さらにその振動が耳小骨を介して内耳に伝達される。このとき、大気圧と中耳圧が等しく保たれていなければ鼓膜が上手く振動することができず正しく音を伝えることができない。これを防ぐために大気圧と中耳圧の平衡を保つ働きをする器官が耳管である。耳管とは中耳と上咽頭をつなぐ器官で、圧平衡機能の他にも、異物排泄機能や防御機能も果たしている。この機能は中耳の恒常性の維持に重要な役割を担っており、耳管機能の障害により種々の中耳・耳管疾患をもたらすため、耳管機能の評価は重要である。

耳管に関係する疾患として、耳管が狭くなり開きにくくなってしまいう耳管狭窄症や、耳管が開いたままになってしまう耳管開放症、耳管機能の低下により中耳に浸出液が貯留してしまう滲出性中耳炎などがある。これら耳管の異常は3~10歳くらいの乳幼児、および高齢者に多く見られ、近年は増加傾向にある。

耳管通気法は耳管狭窄症・閉塞症・開放症・滲出性中耳炎等の診断または治療に一般的に用いられる手法であり、鼻からカテーテルを挿入し、鼻咽腔から耳管経由で鼓室内に空気を送り込む手法である。耳管および中耳腔を評価するために、患者の外耳道と医師の外耳道をチューブで直結させ、通気時の発生音を聴き取る手法であるが(図1)、施行する医師のみにしか聴診されずデータとして残されない、またその診断は経験に委ねられている。

耳管機能に異常のある人は我が国では軽度を含め20人に1人も推定されている。耳管機能の評価には、音響法、インピーダンス法、TTAG法、加圧減圧法による検査装置が実用化され、発売されている[RION JK-05A]。しかしながら、これらの手法では、医師が耳管通気法によって耳管機能の評価している観点からすると不十分である点が多い。例えば、従来装置では耳管の閉塞や耳管容量等の推定ができて、耳管の硬さや耳管・中耳腔の滲出症状の確認等は困難である。これまでに、判断の基となる通気音は記録されることはなく、工学的に解析されることもなかった。ゆえに医師の育成としても口伝で継承されているのが現状である。

2. 研究の目的

従来、聴診は施行する医師の経験のみに委ねられており、客観的に解析されることはなく、データとして残されることもない。本研究では、耳管通気法における耳管通気音を対象とする。まず、耳管通気音を採取するハードウェアを開発し、データを採取し、工学的解析手法を用いて診断支援装置として開発することを目的とする。

本研究から得られる効果として、

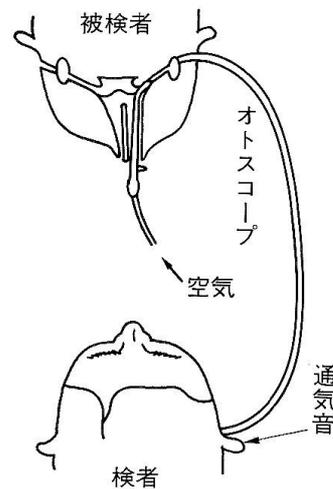
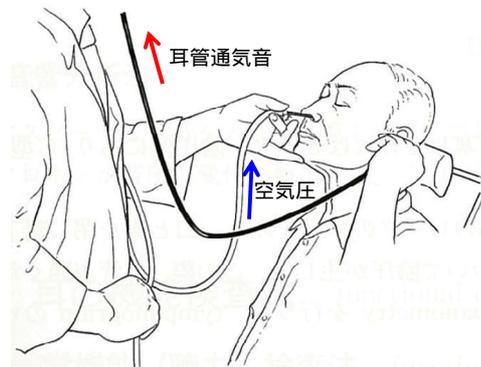


図1. 従来の耳管通気法

(野村恭也, 加我君孝, 新耳鼻咽喉科学, 南山堂, 2013. より加筆)

・患者自身・家族が聴くこと、解析結果を見ることが出来る。

・医師の育成教材・医療者間の情報共有として用いることができる。

・経時的変化を観察できるようになる。

・工学的解析手法によって、耳管通気法聴診の診断信頼性の向上、診断支援装置としての発展が望める。

耳鼻臨床医師の発案・ニーズの元、耳管通気音を録音し、病態との関連を詳しく調べる本研究を開始した。研究代表者はこれまでに、音響信号に関する経験的判断を信号処理に置き換える、診断支援システムについて研究を進めてきた。これらに基づき、通気音を採取・解析し、医師の判断の補助となる診断支援システムとして医師のニーズに答えられるものと判断して研究を進めることとした。

3. 研究の方法

(1) ハードウェア作製

採音装置部の作製:

図1に示される、患者の耳と医師の耳につ

ながれるチューブ部分を省き，患者外耳道インターフェース（イヤーチップ） シリコンマイクロホン アンプ レコーダ スピーカ（医師イヤホン）から構成される採音装置を開発する．リアルタイムで医師が聴き取ることができる構成であり，耳管通気法による治療・診断の妨げにはならない構成とする．また，患者インターフェースとなるイヤーチップは診断用のものを用いることで，感じる違和感，安全性は通常の診断と同等の構成とする．

耳管通気圧測定部の作製：

加圧ユニットからの空気圧を同時測定する．加圧チューブを分岐し，圧力センサを取り付け，A/D 変換し処理部に入力するシステムとする．

表示部の作製：

記録されたデータは，上述の処理が施され（時系列波形，時間周波数処理画像等）診断の説明に有用な情報が即時にディスプレイに表示される．採取された音も患者自身が聴くことができる再生機能を有する．

（２）解析・ソフトウェア作製

耳管通気音と病態を照合し，その特徴を調べる：

医師の診断の元となる感覚的な耳管通気音の表現として，以下のようなものが挙げられる．「正常：スー，シュー」．「耳管が固い：ピー，ピュー，カー」．「滲出液が貯留：ズブズブ，バリバリ」．「耳管の開きが悪い：加圧時，または嚙下時からの潜時が長い」．等である．これらの表現より，周波数解析手法が病態との照合に有効であると考えられる．さらに，カテゴリ化アルゴリズムを用い，医師の熟練した判断の定量化に向けて解析を行う．

ハードウェアを実現するためのソフトウェア開発：

操作，表示，音再生機能を備えるソフトウェア作製を行う．医師・患者にとって有用な情報を抽出し，見易く，操作性の良い装置開発を行う．

（３）臨床評価

ハードウェアの臨床評価（臨床評価１）：

ハードウェアを実現するためのソフトウェア開発：プロトタイプを作製し，山梨大学医学部附属病院および協力施設にて採音の実施を行う．被験者としては健常者である研究代表者および協力者（５名程度）で行う．被験者としての評価（痛み，違和感等），医師の評価（従来法からの違和感），データ取得状況の評価（ノイズ，歪み等）を行う．

耳管通気音採取の実施（臨床評価２）：

上述の評価を行った後，耳管通気法を必要とする患者を被験者としてデータ採取を行う．このデータを基に解析・ソフトウェア作成を行う．

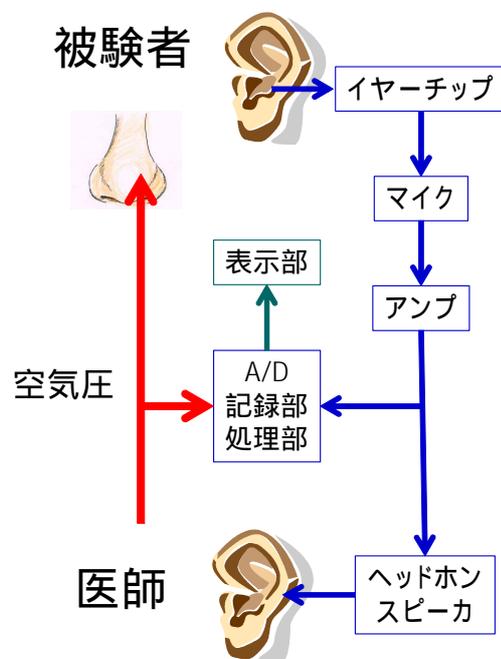


図 2.ハードウェア構成

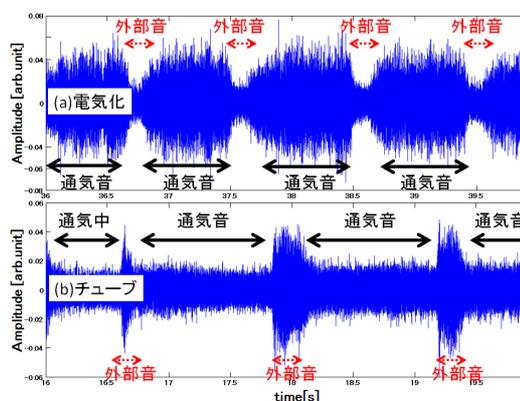


図 3. 耳管通気音
（電気化型とチューブ型）



図 4. 採音センサ（電気化型）

解析・ソフトウェアの評価(臨床評価3):
 医師の熟練した診断の説明に足る情報であるかを、臨床評価する。また、処理時間、操作性等の総合的な評価もされる。

まず、(1)を作製し、(3)によって評価する。続いて(2)を行い、再び(3)によって評価する。(3)のフィードバックが(1)(2)にかけられ、診断支援装置として精緻化していく。

4. 研究成果

(1) ハードウェアの作製

図2に構成を示す。耳管通気法は鼻からカテーテルを挿入し、耳管開口部から空気圧をかけ、耳管通気時の発声音を患者の耳とチューブ(オトスコープ)を直結することで聴診する。開発装置ではチューブを使用せず、イヤーチップにマイクを設置する。チューブを使用した構成の録音装置を開発したところ、環境音がチューブを介し録音されるが、マイクロホンをイヤーチップに装着し、電気化(チュープレス化)することで環境音の遮断が著しく上昇することを確認した。その採音した音波形を図3に示し、電気化型採音センサを図4に示す。この非通気時に入る環境音としては、診療所内の他人の話し声や動作音が含まれるが、最大の騒音は耳管通気装置のエアコンプレッサの空気の漏れ音であり、この音は空気圧を患者にかけている間には存在しないものである。

イヤーチップを取り付けたシリコンマイクロホン(SPO103NC3-3)を患者の外耳道に挿入して録音する。回路の部分にシリコンでシーリングした後にカバーを被せ、また、シールド線を用いて騒音及び電磁ノイズ対策を施している。また、イヤーチップの部分は交換可能である。続いてNI9239(National Instruments)を用いてサンプリング周波数50kHz、量子化bit数24bitでA/D変換し、PCに入力し、耳管通気音は録音と同時にヘッドホンに出力される構成とした。このとき、圧力センサ(Freescale Semiconductor MPX5050GP)を用いて医師が空気圧をかけたタイミングとその圧力値も記録する。さらに、環境音を録音するシリコンマイクロホンを2つ加えた計4chを集録するシステムである。

集録ソフトウェアはNI LabVIEWを用いたGUIを作成した。集録と同時に耳管通気音波形および圧力センサの値をプロットする。集録ボタンを押すことによって集録が開始され、再生ボタンも用意した。誰でもあっても操作のし易いソフトウェアとした。

(2) 採音した耳管通気音の解析

採音した耳管通気音に対して、AR次数40でMEM法(Maximum Entropy Method)によるスペクトル推定を行った結果図5~図7に示す。

正常音:

個人差があるがおおよそ2, 5, 8, 10, 12, 15, 20kHz付近にスペクトルのピークが現れ

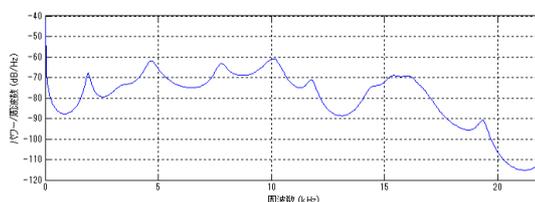


図5. 正常音のMEM

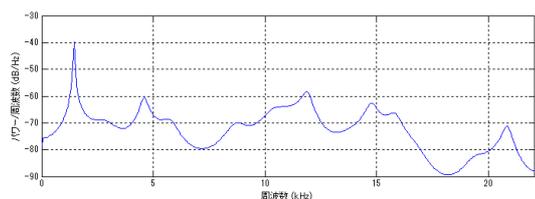


図6. 狭窄音のMEM

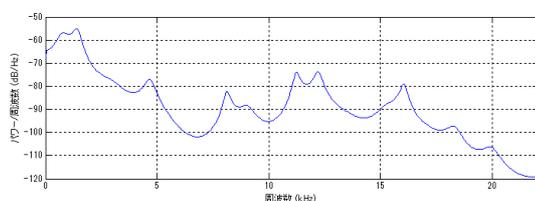
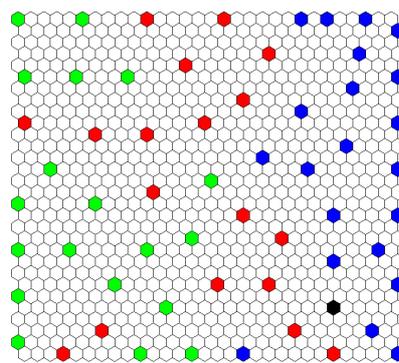
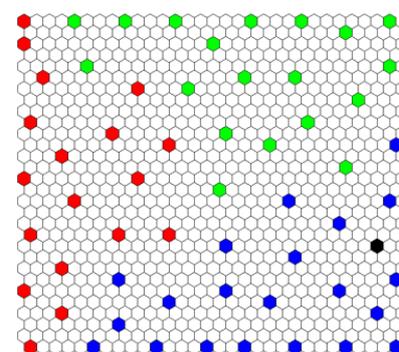


図7. 水泡音のMEM



(a)正規化なし



(b)正規化あり

図8. SOM出力結果

青:正常音, 赤:狭窄音, 緑:水泡音, 黒:診断データ(正常音)

る。このピークは入力となるエア音の周波数と一致した。また、空気圧をかけている間、周波数成分の大きな変動は見られない定常的な音であった。

狭窄音：

周波数スペクトルに局所的ピークが発生し、正常音と比べて2 kHz 付近のピークが特に高い強度を持つ。

水泡音：

時系列波形では通気音の断続が確認できるものである。スペクトルでは3 kHz 以下の低い帯域の強度が高くなっており、正常音や狭窄音ほど2 kHz 付近のピークより低い帯域が減衰しない。

このように、MEM による周波数スペクトルを観察する方法では、状態ごとの特徴を定量化するには至らなかったが、特徴は含まれるであろうことが示唆された。そこで本研究ではMEM による周波数スペクトルを特徴ベクトルとして、SOM (Self-Organizing Map 自己組織化マップ) によって機械学習させることとした。

(3) ソフトウェア作成、信号処理の流れ：耳管通気音の異常音の特徴は5 kHz 以下の部分に含まれると考えられたため、採音した通気音をサンプリング周波数10kHz にダウンサンプリングし、データのサイズを小さくしたうえで5kHz 以下の周波数成分を特徴抽出に用いることとした。また、異常音は局所的に発生するものであるため、採音した耳管通気音の全体のスペクトルを求めると異常音の周波数的特徴が薄れてしまうことになる。そのため、本研究では聴診によって異常音を見つけ、その部分を0.1秒で切り出して特徴ベクトルに用いることとした。MEM により周波数解析を行い、SOM によって分類させた。

これまで採音できた92 耳分のデータを聴診によって正常音22 個、狭窄音18 個、水泡音19 個のデータを切りだしてSOM での分類に用いた。以下の条件で特徴ベクトルを作成し、SOM に入力した。

(a) 0~5000Hz を線形周波数軸上で250点平均化したMEM スペクトル

(b) 0~5000Hz を線形周波数軸上で250点平均化したMEM スペクトルを0~1 に正規化

SOM 結果を図8 に示す。図8(a)の結果を見ると、青の正常音と他の異常音とは1つの正常音データを除いてほぼ分かれているが、赤の狭窄音と緑の水泡音はそれぞれ塊のようなものは見えるもののしっかり1つにはまとまっていない。

一方、図8(b)では、MEM スペクトルの最小値で全体を引き、最大値で全体を割ることでMEM スペクトルを0~1 に正規化した。これによって通気音ごとの音の大きさに関係なくスペクトルの形だけを見ることができると考えた。SOM 結果を見ると、正常音、狭窄音、

水泡音がそれぞれまとまって出力されていることが分かる。ゆえに、正規化を適用した(b)の条件が耳管通気音をよりうまく分類できると言える。

本研究は山梨大学医学部倫理委員会の審査に承認された上で行われていることを記す。

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 1 件)

1. Yutaka Suzuki, Osamu Sakata, Shun'ichi Imamura, Shuichiro Endo, Akihito Mizukoshi, Asobu Hattori, Masayuki Morisawa, "Elemental Research for Quantification of Eustachian Tube Insufflation Method", Proc. of ICSPS2015, pp. 91-97, 2015.

[学会発表](計 5 件)

1. 青柳孝大, 鈴木 裕, 阪田 治, 今村 俊一, 遠藤 周一郎, 水越 昭仁, "耳管通気診断システムの通気音解析区間決定の自動化", 第55回日本生体医工学会大会, 2016.4.28, 富山国際会議場(富山県富山市)。
2. 鈴木 裕, 今村 俊一, 阪田 治, 青柳 孝大, 遠藤 周一郎, 水越 昭仁, 森澤 正之, "メルスケールを用いた特徴ベクトルによる耳管通気音の分類", 第35回日本生体医工学会甲信越支部大会, 2015.10.3, 長岡技術科学大学(新潟県長岡市)。
3. 鈴木 裕, 青柳 孝大, 阪田 治, 今村 俊一, 遠藤 周一郎, 水越 昭仁, 服部 遊, 森澤 正之, "耳管通気音と通気圧の関係に関する研究", 生体医工学シンポジウム 2015, 2015.9.25, 岡山国際交流センター(岡山県岡山市)。
4. 萩原 智也, 鈴木 裕, 阪田 治, 今村 俊一, 遠藤 周一郎, 水越 昭仁, "耳管通気法の定量化に向けた通気音の特徴付けと分類", 第34回日本生体医工学会甲信越支部大会, 2014.10.18, 山梨大学(山梨県甲府市)。
5. 萩原 智也, 鈴木 裕, 遠藤 周一郎, 今村 俊一, 水越 昭仁, 阪田 治, "耳管通気法の定量化に向けた装置開発に関する要素研究", 電子情報通信学会 2014 年総合大会, 2014.3.18, 新潟大学(新潟県新潟市)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 裕 (Suzuki Yutaka)
山梨大学・大学院総合研究部・助教
研究者番号：40516928

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし