

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K09692

研究課題名（和文）超音波ドプラ法による新しい声帯病変の良悪性診断法の確立

研究課題名（英文）Novel diagnostic method for vocal cord lesions by Doppler ultrasonography

研究代表者

福原 隆宏（FUKUHARA, Takahiro）

鳥取大学・医学部・准教授

研究者番号：80403418

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：声帯病変の診断は、これまで喉頭ファイバースコープ検査という経鼻の内視鏡検査で行うことが一般的である。しかし内視鏡の検査は痛みや嘔吐反射が伴う。また声帯病変を内視鏡の見た目で見極めることは専門医師でなければ難しい。そこで、我々は超音波による声帯振動解析で病変を診断できないかの研究を行った。超音波検査は侵襲がなく、診断プロトコルが確立できれば誰でも診断が可能になると考えた。本研究により喉頭の振動から音声の解析を行うことが可能となった。声帯麻痺の診断までは可能である可能性が示された。しかし、声帯病変はさらに左右の声帯の細かな振動差異を検出する必要があることが分かり、新たな機器開発が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで経鼻内視鏡で行われてきた声帯病変の診断を、超音波を当てて行うことを目標とした研究である。声帯振動を超音波によって振動解析する手法は全く新しいものであり、本研究は新しい手法の確立を目指した。超音波検査は侵襲がなく、簡単に施行できるため、検診などで採用されれば、これまで見逃されてきた声帯の悪性病変も簡単に診断できると思われる。専門病院まで行かず、痛い検査も受けることなく、声の変化の原因が分かるようになる。本研究では喉の振動から声を分析するところまでの手法を確立した。左右の声帯の振動を効率的に検出するには、さらに研究と機器開発が必要であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：Diagnosis of vocal fold lesions has been commonly made by transnasal endoscopy. However, endoscopic examination is accompanied by pain and the vomiting reflex. In addition, it is difficult to determine vocal fold lesions from the endoscope, unless a specialist. Therefore, we investigated the possibility of using ultrasound to analyze vocal fold vibration to diagnose lesions. We believed that ultrasonography is not invasive, and if a diagnostic protocol could be established, anyone would be able to make the diagnosis. Our research has made it possible to analyze the voice from the vibration of the larynx. It was shown that it is possible to diagnose vocal fold paralysis. However, it was also found that vocal fold lesions require the detection of minute vibration differences between the left and right vocal folds, which requires the development of new equipment.

研究分野：耳鼻咽喉科学

キーワード：声帯 音声 超音波 音声解析 振動解析 超音波ドプラ法 FFT解析

1. 研究開始当初の背景

声帯疾患の評価は喉頭ファイバースコープで行うのがゴールドスタンダードである。喉頭ファイバースコープは、経鼻で喉まで挿入する。ファイバーの通過時に鼻腔内では痛みが生じ、咽喉頭内では嘔吐反射が起こることも多い。このため喉頭ファイバー検査は侵襲が強い外来検査のうちの一つである。

また喉頭ファイバースコープは、一般開業医でも施行される検査であるが、声帯に病変があることが分かっても病変を診断することは難しく、多くは専門病院へ紹介される。さらに喉頭ファイバースコープの画像を良くしようと思うと、電子式喉頭ファイバースコープの購入や、峽帯域光観察の可能な電子式高等ファイバースコープの購入が必要となり、高額の施設投資費用がかかる。

以上のように、声帯疾患の評価を行うゴールドスタンダードの検査は喉頭ファイバースコープであるが、まだまだ課題が多い。これは内視鏡検査全般が抱える問題とも言える。

しかし、声帯病変は声の変化を生じる。この声の変化から病変が推定することができれば、侵襲がなく、誰でも診断できる有効な手法となることが考えられた。実際に、これまで多くの研究が行われてきたが、声は鼻咽腔などの声道での共鳴や反響の影響を強く受けるため、声の分析から声帯病変の良悪性診断を行うことはいまだにできていない。

これまで我々は、声帯の運動を超音波で観察する、侵襲のない新しい手法について研究を行ってきた。声帯を直接観察して診断するには限界があるが、超音波ドプラ法によって喉頭振動を分析すれば、声の解析が行えることに気づき、新しい声の分析法を開発し、特許を取得した。この非侵襲的に超音波によって声帯の振動を直接解析する手法を確立できれば、これまで喉頭ファイバースコープが抱えていた問題が解決できるのではないかと考えた。

そこで、まず超音波ドプラ法による振動解析と声の分析が同じような結果を示すかどうかについて調べることにした。

2. 研究の目的

本研究は、“超音波で声帯振動を解析する”という新しい発想によって、侵襲がなく、医師の診断能力に依らない、声帯病変の良悪性診断を開発することを目的とした。これまでの音声の振動解析は、空気振動や皮膚の振動など、間接的にしか声帯振動を採取できなかった。空気振動である声は、鼻咽腔で反響や共鳴が加わったものであり、声の分析から声帯病変の良悪性診断を行うことは困難であった。

これに対し、超音波ドプラ法は、フォーカス(測定ゲート)を自由に選択できるため、声帯振動そのものを検出できる可能性がある。左右の声帯振動を別個に振動解析することができれば、その左右の振動パターンの差異から、声帯病変がパターン化できると考えた。

また声の振動を喉頭壁から超音波ドプラで解析できれば、これまで声の解析ソフトでしか行えなかった音響分析が、超音波検査機器で可能となると考えられ、これも本研究の目的の一つとした。

3. 研究の方法

超音波ドプラモードの速度表示から、周波数・速度の換算式をアプリケーションとして組み込んだ Fujifilm の超音波機 (AriettaE70) を使用し、ドプラモードの速度を周波数へと換算して使用した。

(1) 喉頭壁の振動を超音波ドプラ法によって FFT 解析したスペクトログラムについて
健常人と声帯麻痺患者を対象とした。被検者はベッドに仰臥位となり、肩枕を入れて軽度頸部進展位とした。超音波ドプラ法による周波数解析アプリケーションを組み込んだ Fujifilm の超音波機 (AriettaE70) を使用して、18MHz リニアプローブを喉頭に水平に当てた。フォーカスゲートを甲状軟骨に合わせ、被検者は発声持続母音 “a” を発声し、発声時の喉頭振動をドプラモードで FFT 解析しスペクトログラムを作成した (図 1)。

同時にマイクロフォンで音声を収集し、録音機 (Linear PCM recorder) を使用し、サンプリング周波数 44.1kHz、16 ビット量子化で録音した (図 1)。録音した声を KeyPENTAX の音響分析ソフト MDVP で分析して、音声の周波数スペクトログラムを作成した。



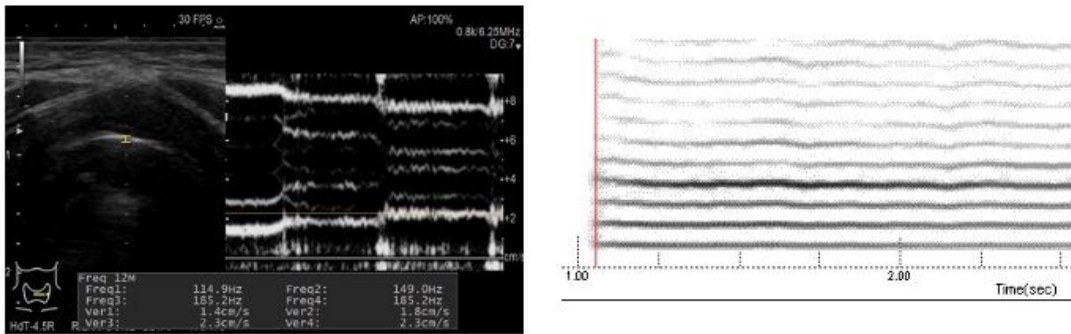
図 1

(2) 超音波ドプラ法による甲状腺術後の音声評価の有用について
 甲状腺術後の患者を対象とした。上記の手法と同様に、超音波ドプラによって周波数解析した喉頭振動のスペクトログラムと録音した音声解析した周波数スペクトログラムを比較した。

(3) 超音波ドプラ法による声帯振動の直接解析について
 声帯振動ヘフォーカスを当て、左右の声帯振動を別個に検出しようと試みたが、既存の超音波機器では困難であることが分かった。

4. 研究成果

(1) 喉頭壁の振動を超音波ドプラ法によってFFT解析したスペクトログラムについて
 超音波ドプラ法により喉頭壁振動を解析したスペクトログラムと録音した声をKey PENTAXの音響分析ソフトMDVPで分析したスペクトログラムを比較したところ、同じようなスペクトログラムが作成できた(図2)。



超音波ドプラによる振動スペクトログラム

音響分析による音声スペクトログラム

図2

声帯病変のない対象において自然な声と、高い声のそれぞれを、超音波ドプラ法による喉頭振動解析と音響分析ソフトによる録音音声の解析を行い比較したところ、結果はほぼ一致した(図3)。

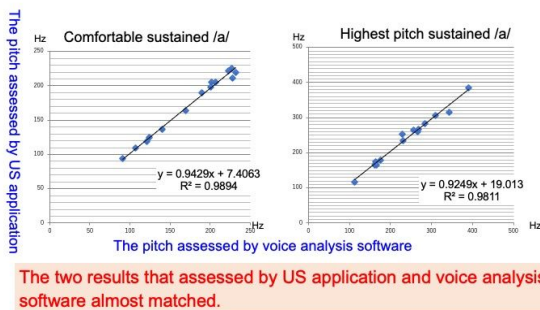
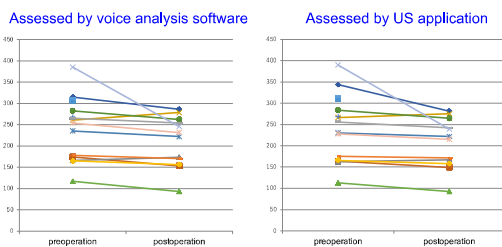


図3

(2) 超音波ドプラ法による甲状腺術後の音声評価の有用について
 甲状腺術後の患者を対象に、術後音声変化を超音波ドプラ法による喉頭振動解析で評価可能かどうかを検証した。音響分析による術前後の声の変化の評価は、超音波ドプラ法で喉頭振動を解析した結果と完全に一致した(図4)。



The evaluation of postoperative voice changes with US application showed similar results to those with voice analysis software.

図4

(3) 超音波ドプラ法による声帯振動の直接解析について

声帯振動へフォーカスを当て、左右の声帯振動を別個に検出しようと試みたが、既存の超音波機器では困難であることが分かった。声帯病変がある場合の声帯振動の異常は、アーチファクト信号と捉えられ、カットされてしまう。そこで、声帯にフォーカスを当てて、ドプラ解析を行う独自の超音波装置を作成する必要があると思われた。

超音波機器の作成のためには、企業との連携が必要と考え、イノベーションジャパンなどに参加し、現在連携先を模索している。

主な発表論文等

[雑誌・論文]

- (1) 福原隆宏：口腔・咽喉頭疾患の外来エコー . ENTONI , 287:31-38,2023.

[学会発表]

- (1) Fukuhara T, Morisaki T, Donishi R, Matsuda E, Takeuchi H: The assessment of voice range change after thyroid surgery by the novel ultrasound Doppler application. 17th Congress of World Federation of Ultrasound in Medicine and Biology, Melbourne, 2020.
- (2) 福原隆宏: マスク着用時の発音と超音波で見る音声 第47回日本乳腺甲状腺超音波医学会, 特別企画, Web, 2021.
- (3) 福原隆宏: 超音波による嚥下と音声の評価「頭頸部-声帯・音声の超音波評価法」. 第50回日本乳腺甲状腺超音波医学会, 教育セミナー, 東京, 2022.
- (4) Fukuhara T, Donishi R, Matsuda E, Fujiwara K: Ultrasound Doppler analysis of laryngeal wall vibrations to assess the voice after thyroid surgery. The 8th Asian Society of Head and Neck Oncology, Bangkok, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 福原隆宏	4. 巻 38
2. 論文標題 機能評価に活用する頭頸部超音波検査	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 INNERVISION	6. 最初と最後の頁 6-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福原隆宏	4. 巻 287
2. 論文標題 口腔・咽喉頭疾患の外来エコー	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ENTONI	6. 最初と最後の頁 31-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福原隆宏	4. 巻 40
2. 論文標題 画像診断技術の進歩 超音波診断装置の進化と活用	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 JOHNS	6. 最初と最後の頁 141-145
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Takahiro Fukuhara
2. 発表標題 The assessment of voice range change after thyroid surgery by the novel ultrasound Doppler pplication
3. 学会等名 17th Congress of World Federation of Ultrasound in Medicine and Biology（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福原 隆宏
2. 発表標題 超音波による嚙下と音声の評価「頭頸部 - 声帯・音声の超音波評価法」
3. 学会等名 第50回日本乳腺甲状腺超音波医学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takahiro Fukuhara
2. 発表標題 Ultrasound Doppler analysis of laryngeal wall vibrations to assess the voice after thyroid surgery
3. 学会等名 The 8th Asian Society of Head and Neck Oncology（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福原隆宏
2. 発表標題 Ultrasound Doppler analysis of laryngeal wall vibrations to assess the voice after thyroid surgery
3. 学会等名 The 8th Asian Society of Head and Neck Oncology（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福原隆宏
2. 発表標題 咽頭・喉頭疾患の超音波診断
3. 学会等名 第33回頭頸部外科学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福原 隆宏
2. 発表標題 超音波で見る音声
3. 学会等名 第47回日本乳腺甲状腺超音波医学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 超音波診断装置，情報処理装置及び超音波診断プログラム	発明者 福原隆宏	権利者 鳥取大学
産業財産権の種類、番号 特許、第7188743号	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	片岡 英幸 (KATAOKA Hideyuki) (00224436)	鳥取大学・医学部・教授 (15101)	
研究分担者	上原 一剛 (UEHARA Kazutake) (10324998)	鳥取大学・医学部附属病院・准教授 (15101)	
研究分担者	森崎 剛史 (MORISAKI Tsuyoshi) (30817812)	鳥取大学・医学部附属病院・助教 (15101)	
研究分担者	松田 枝里子 (MATSUDA Eriko) (40569274)	鳥取大学・医学部附属病院・臨床検査技師 (15101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	有井 士郎 (ARII Shiro) (80222751)	鳥取大学・工学研究科・准教授 (15101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関