

平成 21 年 5 月 11 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19500462  
 研究課題名（和文） 音声障害者の音声リハビリテーション—発声機能・声帯振動デジタル解析による検討—  
 研究課題名（英文） Voice Rehabilitations for Phonatory Disorders; Assessment with Phonatory Function Test and High-Speed Digital Imaging  
 研究代表者  
 牧山 清 (MAKIYAMA KIYOSHI)  
 日本大学・医学部・准教授  
 研究者番号：00139172

## 研究成果の概要：

気流阻止法による空気力学的評価、高速デジタル撮影法による声帯振動評価を行った。起声研究から軽症以下の音声障害例には通常の起声発声が適していた。声門間隙が大きい重症音声障害例では呼吸機能に依存した発声モードになった。重症音声障害例では周期的な振動が欠如している例が多く、大きな呼気パワーを必要とした。リハビリテーションで喉頭調節と呼気調節を適切な方法に誘導することで声帯振動の改善が確認できた。最初に各症例に適した喉頭調節を指導し、その声帯を効率よく振動させるための呼気調節を会得させることが重要であった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：耳鼻咽喉・頭頸部外科学、音声言語医学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：音声障害、高速撮影、発声機能、声帯振動・リハビリテーション

## 1. 研究開始当初の背景

音声はコミュニケーション手段の中で最も重要である。様々な原因により音声障害が出現する。無声を含めて重症の音声障害患者も多い。薬物療法、手術療法に加えて音声リハビリテーションは重要な治療手法である。

音声リハビリテーションを行っている多くの施

設では、声の聴覚的評価を中心に、発声の様子や発声時の呼気量などを参考にして施行している場合が多い。個々の症例で発声障害の病態は異なる。また、同じ様な病態でも実際の発声法は個々で差がある。従って、リハビリテーションを施行する際は、症例毎にリハビリテーションを

念頭に置いた発声障害の病態生理学的評価を行い、その結果を基にして症例毎のリハビリ計画を立案することが必要である。このような背景により本研究を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究の最終目的は個々の音声障害者に適した音声リハビリテーション計画を作成することである。そのためには発声動態を詳細に評価する必要がある。本研究で行う発声動態評価は(1)気流阻止法による空気力学的評価、(2)高速デジタル撮影法による声帯振動評価である。声帯振動評価により音声障害発生のメカニズムを解析し、空気力学的評価により発声障害の程度やパターンを解析する。これらの解析結果よりリハビリテーション計画を含めた治療方針計画を作成する。

空気力学的評価や声帯振動様式から計画を立案することで、より有効なリハビリテーションが可能になると予測される。それには個々の症例に対するオーダーメイド音声リハビリテーション計画も含まれる。声はコミュニケーションの最も重要な手法である。本研究は音声障害症例の発声機能向上に寄与し、その意義は大きい。

## 3. 研究の方法

- (1) 正常音声・健常喉頭例を対象にして、発声時の声帯動画と高速デジタル撮影画像を記録する。
- (2) 現在保有する声帯振動観察用高速デジタル撮影装置に音響分析機能を組み込む。これにより声帯振動と音声波形の同時解析が可能になる。
- (3) 気流阻止法による空気力学的検査と高速デジタル撮影装置による声帯振動検査を行う。
- (4) 収集した音声障害者の空気力学的検査データより楽な発声時の基本周波数、音圧、呼気圧および気道抵抗値を計算整理する。
- (5) 収集した健常者、音声障害者の高速デジタ

ル撮影データからデジタル解析を行う。具体的には時系列画像であるモニタージュ画像からの声門波形解析、高速フーリエ解析画像よりの声門振幅解析、声門開口部画像であるキモグラフィーからの閉鎖曲線解析を行う。現在までの我々の研究からこれら3種類の解析により声帯振幅幅、振動周期の規則性、左右の対称性、同側声帯内での一貫性などが評価できることがわかっている。

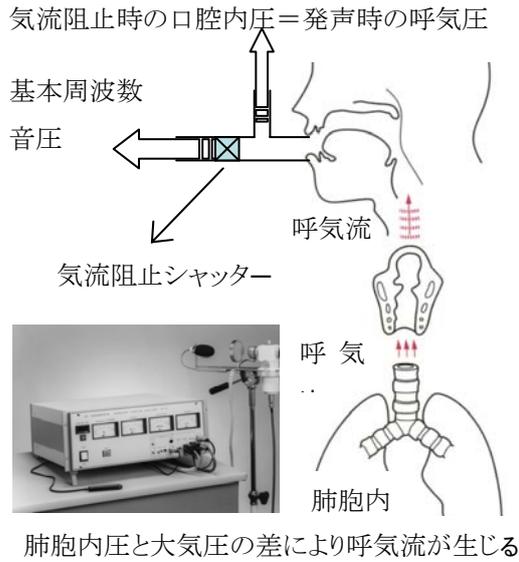
- (6) 音声障害患者とは別に、健常者を対象に起声の評価を行う。起声は発声動作の始まりを意味しており、発声障害者の発声指導にとって重要な情報を得ることができる。起声の検査では、通常の起声、硬起声、氣息性嗚声の3種類のデータを収集する。各起声で呼気圧と音圧の関係、声帯振動の違いを検討する。
- (7) これらの検査データを単独あるいは相互に解析し、優れた音声を得るための呼気操作法や喉頭調節法の検討を行う。
- (8) 言語聴覚士と協力し音声リハビリテーション計画を考案・実施する。

## 4. 研究成果

- (1) 本研究で使用した、われわれ独自の手法である、気流阻止法による発声機能検査の仕組みを図1に示す。

気流阻止法で測定される口腔内圧は発声時の肺胞内圧と一致するために呼気圧(EP)と呼ばれる。EPは声門下圧より高く、MFRが数100ml/秒以内であれば声門下圧と一定の関係にある。EPはある条件内では声門下圧の代用パラメータとしての意味を持つ。EPは発声時の呼気努力を反映するパラメータでもある。声門抵抗が低い、または高い場合は発声時に強い呼気努力が必要になり、発声困難の原因となる。呼気圧測定はこの動態を客観的に評価することができる。

(図 1)



(2) 声帯振動観察用高速デジタル撮影装置を図 2 に示す。

Photron 社の FASTCAM-PCI を用いたシステムであり、撮影速度は 2000 フレーム/秒、384M ピクセル/秒、撮影時間は 9 秒間である。以下の動画解析手法を検討した。Montage: 時系列画像、声門波形解析(図 2)、FFT Analysis: 声門振幅解析(図 3)、Kymography: 開口部の画像を時間系列表示(図 4)である。本研究で設定できた解析手法について述べる。

(図 2)

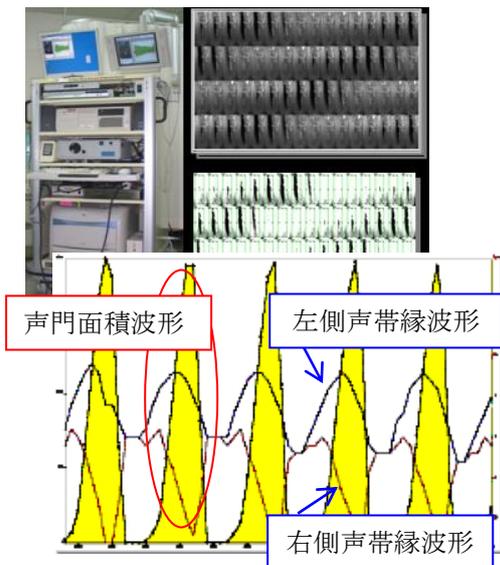
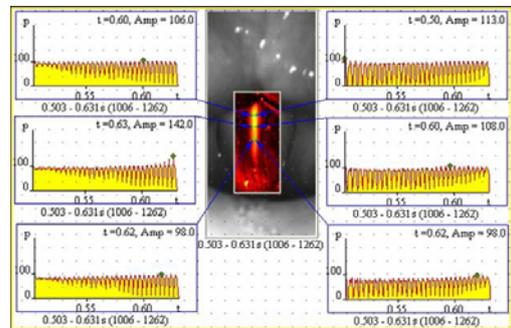


図 2 の時系列画像からは次の声門波形解析 (Glottal Area Waveform: GAW) を行う。声門面積 (声帯膜様部長を 100 として計算、単位はピクセル)、最小面積、最大面積。声帯膜様部中点での声帯間最小および最大距離。開閉速度率 (Speed Quotient: SQ、開大期時間 / 閉小期時間)。図 2 症例は痙攣性発声障害例であり、閉鎖時間が長く、左右声帯縁波形が非対称であるのが読み取れる。

図 3 は FFT analysis である。この評価では画素の強度の変化を周波数解析する。色が明るい程振動の規模が大きい。

(図 3)



声帯膜様部の左右計 6 箇所での解析結果を時系列に表記した。グラフの縦軸が大きいほど振幅幅が大きい。図 3 の症例は痙攣性発声障害であり、振幅幅が小さい。

(図 4)

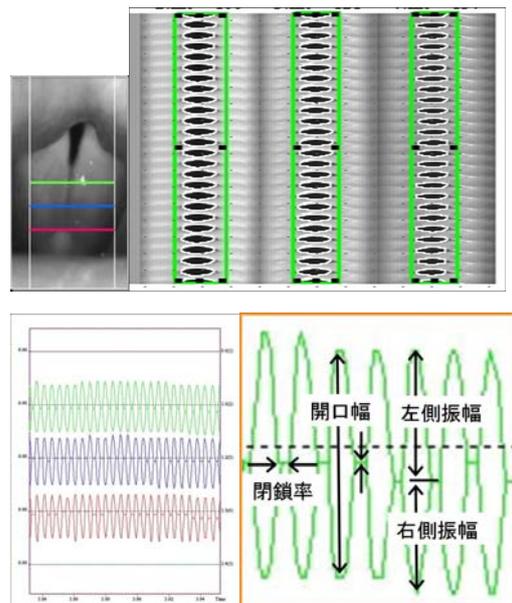


図4はキモグラフィである。声門を横断する線での開口部画像を時系列に描出する。その画像から最大・最小開口幅、左右の振幅、声門閉鎖率を計算する。

(図5)

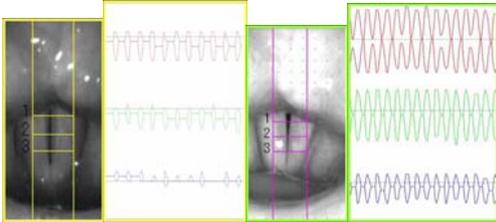


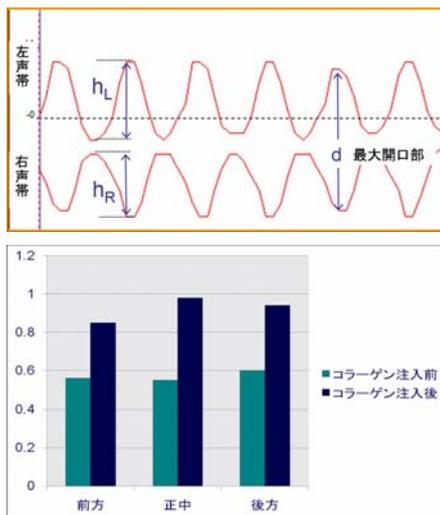
図5は痙攣性発声障害例の解析例。左側2枚は治療前、右側2枚はボツリヌストキシン注射4週間後。各測定値を表1に示す。

(表1)

	最小開口幅		最大開口幅		平均開口幅		左側振幅幅		右側振幅幅		声門閉鎖率	
	治療前	治療後	治療前	治療後	治療前	治療後	治療前	治療後	治療前	治療後	治療前	治療後
後方	0	2	6	24	1.66	12.65	2.26	5.22	1.61	4.84	68.42	0
正中	0	0	6	21	1.22	10.59	1.06	5.44	1.22	4.56	76.32	12
前方	0	0	5	12	0.87	5.57	0.073	3.37	0.87	2.99	76.32	30.87

この様に我々の高速デジタル撮影装置では左右振幅や閉鎖程度の詳細な解析が可能である。しかし、音声障害例では声帯のある部位の振動が他と異なるような場合も多い。そこで図6の様な解析法を考案した。

(図6)



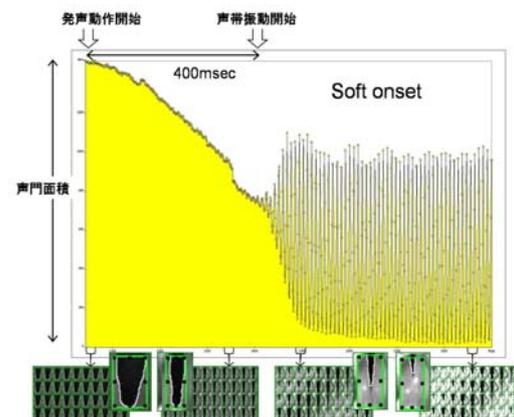
左右の位相差の比較手法:キモグラフィ画像よりhLとhRの大きい方でもう一方を割った値を前方・正中・後方のそれぞれの位置で

比較した(1に近づくほど左右が均等に動いていることを意味する)。図6はコラーゲン注入前後の測定値をグラフにしたものである。本装置は海外では10台程度普及しているが。国内では我われの施設に1台あるのみである。前述した解析法も未だ報告されてなく、このような解析法の設定も本研究の成果である。

(3) 健常者を対象に、通常の起声、硬起声、氣息性起声の3種類の起声発声を検討した。起声時の呼気および喉頭調節を検討する目的であった。音声障害例に対してリハビリテーションを行う際、どのような起声法が適切であるかの参考にするためである。

解析はモニタージュ解析画像(1,760msec、880フレーム)で行った。図7は24歳健常女性例の通常起声モニタージュ解析画像である。声帯が内転を開始し、声門が閉鎖する前に声帯振動が開始しているのが読み取れる。同様に硬起声、氣息性起声を検討すると、声帯内転開始から左右声帯接触までの時間は通常起声が最も早く、硬起声では声帯運動開始から声門閉鎖までは極めて早いにもかかわらず声帯振動するまでの時間が長かった。氣息性起声では声門閉鎖が起こる前より声帯振動が開始した。

(図7)



他の被験者結果を含めてこれらの結果をまとめると、硬起声では声門が閉鎖した後、500msec から 1000msec 経過してから声帯振

動が開始した。氣息性起声では声門の閉鎖中に声帯振動が開始した。発声動作開始から声帯振動開始までの時間は、60msec から700msec と被験者間で差があった。

(図 8)

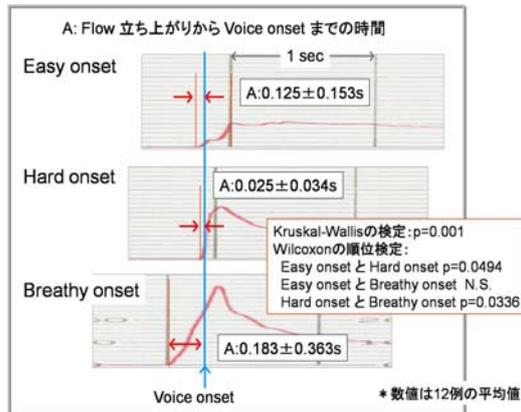


図 8 は通常起声における呼気流と音圧出現時期の関係を表したグラフである。これらの結果をまとめると、呼気立ち上がりから Voice onset までの時間は硬起声で有意に短かった。呼気流立ち上がりからピークまでの時間は硬起声で有意に短かった。呼気流ピーク値は氣息性起声、硬起声、通常起声の順で高かった。

声帯振動評価と呼気流評価を基に起声法と喉頭および呼気調節の関係を考察すると、喉頭調節が最も強いのは硬起声であった。氣息性起声では呼気調節が大きかった。通常の起声では喉頭と呼気調節のバランスが優れていた。軽症以下の音声障害例では通常の起声が優れており、声門間隙が大きい重症音声障害例では呼吸機能に依存した発声モードになるものと推測された。

(4) 紙面の関係で他の詳細な研究成果は省略するが、各解析結果を総合的に検討すると以下が明らかになった。

重症音声障害例では周期的な振動が欠如している例が多かった。これは音質悪化に関連していた。また、健常例に比較してより大きな呼気パワーを必要とした。喉頭調節能力が

低下しているためと考えられた。手術前後の検討より、声帯の物性や形状が改善すると優れた音質が得られることが確認できた。

音声リハビリテーション施行例での検討から例え重症音声障害例でも喉頭調節と呼気調節を適切な方法に誘導することで声帯振動の改善が確認できた。音声リハビリテーションでは、最初に各症例に適した喉頭調節を指導し、その声帯を効率よく振動させるための呼気調節を会得させることが重要であった。無喉頭発声例では各症例により全く異なった声帯振動が観察された。その原因として、同じ術式でも新声門の形態は症例間で差がある上に、発声法会得の際に患者独自の調節を加えている事が考えられた。必ずしも適切でない発声法を改善させることは容易ではなかったが、より適した声帯振動や呼気調節を指導することで、発声機能は向上した。

以上のように高速デジタル撮影装置による声帯振動評価、および気流阻止法による発声時の喉頭・呼気調節程度の評価は、音声リハビリテーション計画の立案に極めて有用であった。リハビリテーション途中、あるいは終了時の声帯振動評価や空気力学的評価では明らかな改善がみられた。両評価法はリハビリテーション計画立案のみならず、経過観察や効果判定にも応用できると考えられた。

## 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7件)

- (1) 牧山 漑, 平井良治, 矢田修一郎, 児玉ひとみ: 音声外科における発声機能検査の意義と可能性, 音声言語医学, 50(2), 124-130, 2009.
- (2) Sekimoto S, Tsunoda K, Kaga K, Makiyama K, Tsunoda A, Kondo K, Yamasoba T: Commercially available high-speed system for recording and monitoring vocal fold vibrations, Acta Otolaryngol. 2009 Feb 13:1-3.
- (3) 牧山 漑, 平井良治, 矢田修一郎: 喉頭疾患—私はこう検査する—声帯痲痺, JOHNS,

- 25(4), 559-562, 2009.
- (4) 牧山 清:術後反回神経麻痺の現状, 日気食会報, 60(2), 123-125, 2009.
  - (5) 牧山 清:加齢と発声機能, 耳喉頭頸, 81(6), 389-398, 2009.
  - (6) Makiyama K, Matsuzaki H, Hirai R, Sakuma N, Ikeda A, Kida W: Voice assessments at the clinic, Nihon University J Medicine, 50(2), 39-51, 2008.
  - (7) Makiyama K, Yoshihashi H, Hirai R, Kodama H, Asano Y: Phonatory function of the elderly determined by intensity-loading test: A comparison with the young, Otolaryngol Head Neck Surg. 136(6): 888-893, 2007.

[学会発表] (計 12 件)

- (1) 牧山 清:声の評価, 千代田区耳鼻咽喉科医会講演会, 東京都, 2009.
- (2) 小田康平, 石光俊介, 中山仁史, 牧山 清, 堀畑 聡:発声機能障害者の音声特徴分析, 日本機械学会中国四国支部第47期総会講演会, 山口, 2009.
- (3) 牧山 清:音声障害の検査とリハビリテーション, 第22回日本耳鼻咽喉科学会専門医講習会, 東京, 東京国際フォーラム, 2008.
- (4) 牧山 清: 音声外科における発声機能検査の意義と可能性, (シンポジウム: 声の分析と臨床), 第53回日本音声言語医学会学術講演会, 三原市, 三原市芸術文化センター, 2008.
- (5) Makiyama K, Yoshihashi H, Kudo I, Nakai M, Kobayashi R, Ikeda M: Evaluation of vocal cord vibration using high-speed imaging. 15<sup>th</sup> World Congress for Bronchoesophagology, Tokyo, 2008.
- (6) 牧山 清, 工藤逸大, 咲間奈央, 堀口哲男, 吉橋秀貴, 中井百香, 小林理沙, 柴 和孝, 池田 稔: 高速撮影画像と発声機能パラメータの関係, 第20回日本喉頭科学会, 佐賀, 2008.
- (7) 咲間奈央, 牧山 清, 吉橋秀貴, 松崎洋海, 矢田修一郎, 松山一夫, 池田篤生, 勝見彰子, 池田 稔: ハイスピード撮影装置による声帯振動評価—コラーゲン注入前後での解析—, 第60回日本気管食道科学会学術講演会, 熊本, 2008.
- (8) 木田 渉, 咲間奈央, 松崎洋海, 古阪 徹, 牧山 清, 池田 稔: 声帯振動検査の最前線, 第487回日大医学会例会, 東京, 2008.
- (9) Makiyama K, Yoshihashi H, Kobayashi R, Shiba K, Ikuni F, Honma M, Ikeda M: Evaluation of vocal cord vibration using high-speed imaging in cases of vocal cord nodules. 109<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Academy of Otolaryngology-Head

and Neck Surgery, Washington DC, USA, 2007.

- (10) 柴 和孝, 牧山 清, 本間雅美, 吉橋秀貴, 平井良治, 小林理沙, 咲間奈央, 飯國美沙子, 池田 稔: ハイスピード撮影装置による声帯振動評価—経過観察への応用—, 第108回日本耳鼻咽喉科学会, 金沢, 2007
- (11) 牧山 清, 小林理沙, 中井百香, 吉橋秀貴, 工藤逸大: 高速デジタル撮影装置を用いた起声の検討. 第52回音声言語医学会, 所沢国立リハビリテーションセンター, 2007.
- (12) 牧山 清, 工藤逸大, 堀口哲男, 高根智之, 戸井輝夫, 吉橋秀貴, 中井百香, 小林理沙, 島崎奈保子, 池田 稔: 気道抵抗値と声門閉鎖の関係—気流阻止法と高速撮影法による検討—, 第59回日本気管食道科学会, 前橋, 2007.

[図書] (計1件)

- (1) 牧山 清: 音声障害の検査とリハビリテーション, 日本耳鼻咽喉科学会第22回専門医講習会テキスト, pp209-215, 日本耳鼻咽喉科学会発行, 2008.11.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

牧山 清 (MAKIYAMA KIYOSHI)  
日本大学・医学部・准教授  
研究者番号: 00139172

### (2) 研究分担者

新美 成二 (NIIMI SEIJI)  
国際医療福祉大学・保健学部・教授  
研究者番号: 00010273  
吉橋 秀貴 (YOSHIHASHI HIDETAKA)  
日本大学・医学部・研究医員  
研究者番号: 50328738

### (3) 連携研究者

なし