

# 論文の内容の要旨

## 論文題目

高速度デジタル撮像を用いた声帯振動の標準的評価法の開発とデータベースの作成

## 氏名

山内 彰人

## 要旨

近年、声に対する関心は高まりを見せ、音声医学の現場では疾患をより正確に検出し、診断し、治療を行うことが今日益々求められてきている。こうした音声医学の診断学において最も重要となるのが、音声生成の根幹を成す声帯振動の評価である。

今日、声帯振動の評価法としてストロボスコーピー(VS)が広く普及している。VSは、基本周波数より僅かに遅い周期でストロボ光を発して、異なる周期の異なった位相の部分を持ち、視覚的に同じ周期の連続した動画として認知されるように再構築する手法である。VSは安価で、標準的評価表(主観評価)が定まっており、検査時間が短い長所がある。しかし、動画の再構築に際して安定した基本周波数を必要とするため、基本周波数が不安定な高度音声障害例では動画が非同期となり評価できないため、適応症例が健常者ないしは軽度音声障害例に限定される問題がある。また、動画再構築の前段階に一定時間の定常発声が必要となるため、評価できるタスクが定常発声に限定される。更に、VSでは再構築による擬似データが得られるため、得られるデータ量と質に問題が生じ、評価の信頼性の低下、解析手法の制限が避けられない。

他の声帯振動の評価法として高速度デジタル撮像(HSDI)が挙げられる。HSDIは高い時間分解能によって声帯振動を記録する手法である。HSDIの長所として、まず第一に適応の広さが挙げられる。同期による動画再構築を行うVSと異なり、HSDIでは基本周波数が不安定な病的音声でも評価可能である。第二には、評価できる課題の豊富さが挙げられる。すはわち、VSと異なり動画構築の前の定常発声が必要ないため、HSDIでは会話・過渡的運動(音程の変わる発声、起声部、咳など)など、定常発声以外の検査課題も評価可能である。第三に、データの信頼性の高さが挙げられる。擬似的データとなるVSと異なりHSDIでは実際の声帯振動を観察できるため、解析の信頼性が高い。第四に解析手法の多様性が挙げられる。データ量が豊富なHSDI動画では多彩な解析手法を適応させることが可能であるため、主観評価では検出できない声帯振動の特徴を、より客観的に、より多角的に分析可能である。こうした長所から、HSDIは声帯振動の評価方法としてVSより優れた手法であり、次世代の評価法と考えられている。

しかし、現実的にはHSDIは音声医学の現場に殆ど普及していない。それは、検査に時間がかかる、機材が高価である、画像が白黒である、データの処理・解析に時間がかかる、データ解析が難しい、標準的解析法が提示されていない、データベースがない、定量評価法が整備されていない、などの問題点が要因と考えられる。これらの問題の解

決なしには、音声医学の診断学の質的向上を約束する HSDI が臨床の現場に普及することは困難である。

こうした現状を踏まえて、本研究では、音声医学の診断学の質的向上に寄与する HSDI の利便性を高め、臨床への普及を促進させるための基盤形成を行った。具体的には、上述した HSDI の問題の中でデータベースの欠如・難解性・検査時間の長さ・定量評価の未確立・標準的検査法の欠如に着目し、簡便で定量性が高い標準的検査法の確立と、健常者・臨床症例データベースの作成を行った。

標準的 HSDI 解析法として、①定量性が高く、②簡便で理解し易く、③解析時間が短く、④動画データの 3 次元情報、すなわち画像の水平軸(X 軸)・垂直軸(Y 軸)・時間軸(T 軸)情報が解析可能であることを条件とした。しかし、既存の検査法を網羅的に検証した結果、単一のこれらの条件を満たす解析手法は存在せず、単一の手法で必要十分な HSDI 解析は不可能であると考えられた。そのため、本研究では 4 種類の解析法(主観評価・キモグラフィー・トポグラフィー・声門面積波形解析)の組み合わせを標準的検査法とすることとした。主観評価は、VS における標準的評価法である。動画評価の基本であり音声外科医は VS の評価に慣れているため採用した。キモグラフィーは HSDI の解析法の中で最も普及しており、X 軸情報と時間軸情報の解析に優れている。トポグラフィーは筆者らの研究チームで作成した解析法である。平面的(X 軸と Y 軸の情報)に情報を分析するトポグラフィーは、難解になり易い HSDI の解析法の中でも直感的で分かり易い解析法である。声門面積波形解析は声帯振動の重要なパラメーターとされる声門面積の時間変化を評価する手法で、最も普及した解析法の一つである。

続いて、定量パラメーター群の構築を行った。すべての検査法において、既存の HSDI 用パラメーターは不足しており、計 8 項目のみと十分な定量評価が困難な状況であったため、本研究において新規パラメーター多数考案し、計 156 項目まで拡張した。

こうして確立した本手法を用いて、健常者 46 例を評価した。その結果、本研究での健常者の声帯振動は、周期的で、振幅は声帯幅の 25%、粘膜波動は声帯幅の 55%、声門閉鎖の程度を示す声帯開閉率(OQ)は 53%であり、文献上の正常所見と一致する妥当性の高い解析結果が得られた。同時に、健常者の多数(61%)に軽度の非対称性を認めた。健常者の非対称性は VS では報告されていない所見であり、HSDI の分析力の高さを裏付ける結果であった。65%の被験者に認めた前後位相差も非対称性に加えると、声帯振動が完全に対称的である健常者はむしろ少数派と捉えるべきであると推察された。また、健常者において顕著な性差・年齢差を認めた。特に若年女性は他の 3 群と異なる独特の振動様式を有していた。すなわち、若年女性では基本周波数( $F_0$ )が高く、外側角が鋭角(上下位相差大)で、OQ が大きく、後方声門間隙が多く、ジッパー様運動と呼ばれる後方先行型開大期前後位相差と前方先行型閉小期前後位相差の組み合わせが観察された。ロジスティック回帰分析(LRA)では、後方先行型開大期前後位相差と  $F_0$  が若年女性に有意なパラメーターあり、この 2 つの寄与率( $R^2$ )は中程度(0.73)であった。一方で、他の 3 群は比較的同質であった。LRA では前後位相差平均と前後位相差左右差が高齢男性に有意な特徴量であったが、これらの  $R^2$  は低値であった(0.44)。高齢女性に関しては、LRA で有意な特徴量は認めなかった。若年男性では、LRA で  $F_0$  と OQ が有意な特徴量であった

が、 $R^2$  は低かった(0.45)。こうした健常者データは、喉頭疾患例の声帯振動と比較する基準データとして重要であり、性差・年齢差に関する情報は、声帯振動が正常か異常か判断をより正確にさせ、診断精度を向上させ、過剰診断を減少させるために重要と考えられた。

また、様々な喉頭疾患例 304 例の声帯振動を解析した結果、声帯振動が評価可能であった症例は VS(56.5%)より HSDI(90.9%)で有意に高かった( $P<.001$ )。評価不能の原因は、HSDI では声門上過緊張、VS では声門上過緊張と非同期であった。また、HSDI では VS で評価の難しい所見(周期性の異常、声帯遊離縁の上下位相差など)が検出可能であり、声帯振動の多彩な特徴量がスカラー量として定量評価可能であった。健常者と比較して、喉頭疾患例では非対称性が高く、粘膜波動が減弱し、声門閉鎖が低下し、喉頭効率が悪化した。LRA では、非対称性、声門間隙の大きさ、萎縮性変化、粘膜波動持続時間、OQ の 5 つが喉頭疾患例に有意な特徴量であった。ただし、 $R^2$  は低値であった(0.29)。続いて疾患別に評価したところ、有意な特徴量は喉頭疾患毎に異なっていた。本研究では、特に声帯麻痺、声帯溝症、声帯癒痕で  $R^2$  が高かった。声帯麻痺例では、準周期、振幅、粘膜波動持続時間、OQ、声門速度率(SI)が有意な特徴量であった( $R^2=0.76$ )。声帯溝症では、左右位相差、積分声門幅、OQ、SI が有意であった( $R^2=0.74$ )。声帯癒痕では、非振動部位が有意であった( $R^2=0.68$ )。

本研究で構築した検査手法は、動画の 3 次元評価(X・Y・T)が可能であり、比較的簡便で、解析時間が短く、定量性が高く、第一案としては妥当と考えられた。また、HSDI 動画の包括的な解析には従来 1 データあたり数時間は要していたが、本手法により解析時間は 1 データあたり 30 分程度まで短縮された。課題としては、被験者数がまだ十分多くはないこと、実臨床で適応するには依然解析時間が長いこと、Y 軸や時間軸の情報処置がまだ不十分であること、手動解析の余地が多い点などが挙げられる。今後、Y 軸・時間軸情報の解析力向上、被験者の蓄積、解析プログラムの更なる自動化・高速化などが必要と考えられる。