喉頭ストロボスコープのプロトコール

幸 田 純 治・中 村 克 彦・中 川 伸 一・増 田 博 範
小 池 靖 夫

Protocol for Laryngostroboscopy

Junji Koda, Katsuhiko Nakamura, Shinichi Nakagawa,
Hironori Masuda and Yasuo Koike

Stroboscopy is an essential diagnostic tool in the assessment of the vocal folds during phonation. To evaluate stroboscopy, attention has been focused on symmetry, periodicity, glottic closure, amplitudes, waveforms and non-vibrating segments. Rating forms of the above criteria are used in evaluation, but this assessment is rough and not quantitative. For a more detailed estimation, this paper makes two proposals 1) the use of video prints of multiple sequence images of the glottal cycle and 2) the superimposition of the fundamental frequency (F0) on videostroboscopy. Usage of these video prints enables quantitative evaluation such as measurement of closed phase and glottal area and is effective for patient follow-up. Singers sometimes complain voice problems in high pitch phonation. Superimposition of F0 on videostroboscopy is useful in the detection of such an abnormality according to the changes of F0.

Key words: 喉頭ストロボスコープ, プロトコール, 駒送り像, スーパーインポーズ

はじめに

動画として得られる喉頭ストロボスコープ検査の情報を評価するためには、通常いくつかの観察項目をもうけて、それぞれについての所見を判定していく方法がとられてきた。すなわち検査時における基本周波数を読みとったうえで、声帯振動の対称性、規則性、声門閉鎖の有無、振幅の大きさ、粘膜波動の有無、非振動部位の有無などにつき判定し記載していた^{1, 2)}。これらの観察項目は検査者が特に注目すべき大切な項目であるが、画像を肉眼で見て判定する関係上、評価は定性的にしか出来ない。そのため、経過観察などの微細な判定が要求される場面ではどうしても以前のビデオを見直す必要が出てくる。しかし、いちいちビデオテープを取り出してきて頭出しをするという作業は時間もかかるため、日常臨床においてなかなか実施できるものではない。

これらの欠点を解決するため、検査によって得られる画像の静止画や動画の一部をデジタル化して保存するといった画像上の工夫が色々となされている³⁾。これは情報の欠落が少ないため非常に有効な方法であるが、まだ実用化の段階には至っていない。

そこで、現時点で喉頭ストロボスコープのプロトコールとして使用できるもので、何かこれまでのプロトコールに追加して利用できるものはないかにつき検討した。具体的

には、1) 喉頭ストロボで得られた声帯振動の見かけ上の1周期分の画像を駒送り像として1枚のビデオプリントに記録して利用すること、2) 喉頭ストロボのビデオ画像に基本周波数などの情報をスーパーインポーズして録画して利用することの2点の有用性につき述べる。

検討に使用した機器

今回の検討に使用した機器はKAYの喉頭ストロボスコープRLS 9100(図1)である。喉頭ストロボスコープ本体を核として、喉頭内視鏡、ビデオカメラ、ビデオレコーダー、ディスプレイモニター、カラービデオプリンター、及びこれら全てを制御するコンピュータが一体化したシステムとなっている。コンピュータで制御することにより記録された声帯振動の画像を駒送りし、ディスプレイに1周期分を分割画像で表示することが容易に出来る。これはプリンターに出力するほか、この1周期分の画像をモニター上でエンドレステープのように何回も繰り返し再生することも可能である。図2は、録画された喉頭ストロボ画像再生時のプリントである。画面の左上にコンタクトマイクより抽出された基本周波数が、右上には喉頭直達鏡に装着されたコンデンサーマイクより測定されたアンブリチュードがスーパーインポーズにより表示されている。

図1 KAYの喉頭ストロボスコブ RLS9100のシステム。上方よりディスプレイモニター、キーボード、ストロボ装置本体、ビデオレコーダー、ビデオプリンター、制御用コンピュータが配置されている。

声帯振動1周期分の駒送り画像

喉頭ストロボで得られる映像は動画であるが、このうち1周期分の画像を駒送り像として1枚の用紙にプリントした。図3に正常人の駒送り像を示す。これは1周期分のデータの切り出しであるため、声帯振動の規則性については判定不能であるが、それ以外の喉頭ストロボスコブの観察項目についてはこのプリントを見ることにより十分な評価が行うことが出来た。その評価は定性的なものだけでなく、ある程度の定量的評価も可能となった。たとえば、図2の20駒中で閉鎖期は6駒、開大期は7駒、閉小期は7駒であると駒数のカウントにより閉鎖期の長さを把握することも可能となった。

次に喉頭疾患についての有用性を検討した。図4に、両側声帯結節の駒送り像を示している。結節のため声門閉鎖不全が見られているが、ただ声門閉鎖が不完全という情報だけでなく声門がもっとも狭くなった時の声門の形状が示されているため、経過観察をする際にはこのビデオプリントと比較することでより正確な経過観察が可能となった。

図2 36才、正常女性における発声時ストロボスコブの静止画像（最大開大状態）。左上のFreqは基本周波数を、右上のAmpは声の大きさを表す。

図3 喉頭ストロボスコブによって得られた36才、正常女性における声帯振動1周期の20分割駒送り像。声帯の部分を取り左上より右横方向、続いて2段目左より右横方向と順に駒送りして並べている。基本周波数は186Hz。

図5は右声帯ポリープ症例の駒送り像である。よく観察すると左右の声帯に位相差があるのが判明する。このように声帯振動の1周期像を駒送りでプリントしておけば、これ1枚でチェック項目による判定よりはるかに多くの情報量を記録、保存することが出来る。カルテに張り付けておけば経過観察も容易となる。また、定量的な測定も可能となる。定量的評価の例として、声門面積測定の結果を示す。

喉頭ストロボ駒送り像のプリントをフライトヘッドスキャナに取り込んで声門面積を計算し、1周期分の声門面積波形をプロットした。面積測定用のソフトウェアはNIH imageを用いた。声門面積は標準化のために得られた声門面積を安静呼吸時の声帯長の2乗で除した数値で表した。図6に正常人と喉頭麻痺患者の例を示す。喉頭麻痺患者では声門閉鎖不全のため面積波形のDC成分が大きくなっている。

図4 48才女性，両側声帯結節の声帯振動1周期分の10分割駒送り像。声門閉鎖が見られていない。基本周波数は225Hz。

図5 58才女性，右声帯ポリープの声帯振動1周期分の20分割駒送り像。左右の声帯に位相差が見られる。（開大期から閉小期への移行はポリープのある右声帯では上から3段目左から1駒目と2駒目の間であるが，左声帯では上から3段目5駒目と4段目1駒目の間であり，4駒のずれが生じている。）基本周波数は204Hz。

図6 喉頭ストロボスコープ1周期の駒送り画像より求めた声門面積波形。A：36才正常女性。十分な声門閉鎖が見られる。（図3の20分割像より求めたもの）B：45才女性，左喉頭麻痺症例の12分割像より求めたもの。声帯振動は見られるが声門閉鎖の無い症例であり面積波形のDC成分が大きくなっている。横軸は駒数，縦軸は各駒における声門面積を安静時の声帯長の2乗で除した数値。

声の高低による声帯振動の違い

通常のストロボ検査では，被検者にとって最も出しやすい声で検査を施行するが，特定の高さで嚙声をきかすような症例では，色々と声の高さを変えて検査することになる。そのような場合，各発声の基本周波数を記録しておくことが必要である。しかし，検者はよりよい画像を得ることに集中しており，個々の発声の基本周波数がいくらであるかをストロボ装置から読みとるためには介助者が必要となる。介助者に協力してもらっても個々の発声の基本周波数を一つ一つ読みとり，その値が録画したビデオ画像のどれに相当するかを記録することは難しい問題である。これを，解決するためにはストロボのビデオ画像に基本周波数などの

情報をスーパーインボーズして記録する方法の有用性を検討した。

図7，図8に正常女性における基本周波数の違いによる喉頭ストロボ像の違いを20分割駒送り像で比較している。図7，図8の基本周波数はそれぞれ186Hz，246Hzであるが，閉鎖期は20駒中それぞれ9駒，7駒と基本周波数が高くなると閉鎖期も短くなることがよく表されている。各駒の下方には同時に取り込まれた electroglottogram (EGG) の信号が表示されている。EGGの測定には glottal enterprises 社製 TMEGG-2 を使用したが，この装置では閉鎖期が谷に，開放期が山で表示されている。各 EGG 信号の左端がその駒におけるストロボ発光のタイミングである。EGG を喉頭ストロボ像と同時に表示するこ

図7 喉頭ストロボスコピーによって得られた30才、正常女性における声帯振動1周期の20分割駒送り像。基本周波数は186Hz。各駒の下方に同時に取り込まれたEGG信号が表示されている。

図8 喉頭ストロボスコピーによって得られた30才、正常女性における声帯振動1周期の20分割駒送り像。基本周波数は246Hz。各駒の下方に同時に取り込まれたEGG信号が表示されている。

図9 喉頭ストロボスコピーによって得られた19才、声楽科女性における声帯振動1周期の20分割駒送り像。基本周波数は224Hz。声門後部の閉鎖が不十分である。

図10 喉頭ストロボスコピーによって得られた19才、声楽科女性における声帯振動1周期の20分割駒送り像。基本周波数は294Hz。粘膜波動は見られるものの声門閉鎖不全が声門後部だけでなく前交連近くまで広がっている。

図11 喉頭ストロボスコピーによって得られた25才、女性ジャズシンガーにおける声帯振動1周期の20分割駒送り像。基本周波数は498Hz。両側声帯結節を認めるが声門閉鎖は完全である。

図12 喉頭ストロボスコピーによって得られた25才、女性ジャズシンガーにおける声帯振動1周期の20分割駒送り像。基本周波数は542Hz。声帯結節のため声門閉鎖不全を認める。

とにより声帯の振動状態をより詳細に把握することが可能となった。

このように発声時の基本周波数などの発声条件の違いによって、声帯の振動は異なるため、発声の条件を色々と変えてストロボスコーピー検査を行うことは、重要である。特に歌手の音声障害の診断には威力を発揮することがある。

次に、歌手の音声障害の症例を呈示する。図9、10は19才女性、声楽科の学生の喉頭ストロボ駒送り像である。高い発声時に声の張りが無いとのことで当科を受診した。図9は224Hzの発声時の所見であるが、声門後部の閉鎖が不十分となっている。294Hz発声時の図10では、粘膜波動は見られるものの声門閉鎖不全が声門後部だけでなく前交連近くまで広がっている。本症例では基本周波数が高くなるに従って閉鎖不全は強くなる傾向が見られた。図11、12に25才女性、ジャズシンガーの喉頭ストロボ駒送り像を示す。時々高いトーンが出しにくくなるとのことで当科を受診した。両側声帯結節を認めるが柔らかいようで、図11では498Hzという高い発声にも関わらず声門閉鎖は十分であり、聴覚印象上も嗄声は認めなかった。しかし、図12の542Hz発声時より高い発声では、声帯の緊張が増し声帯結節があるため声門閉鎖不全を認め、聴覚印象上も軽度の嗄声がみられた。

考 察

喉頭ストロボスコーピーで得られる画像は、声帯振動を可視化するために真の振動の瞬間、瞬間の像を少しずつ切り出し、それを順に動かすことによって、擬似的に声帯振動の動きを構築しているものである。すなわち喉頭ストロボスコーピーの映像は、高速度映画で得られる真の声帯振動を忠実に表すものではない⁴⁾。しかし、個々の声帯振動のゆらぎがさほど大きくない症例においては、喉頭ストロボスコーピーの振動は真の振動とかけ離れたものではなく、臨床の場において十分声帯振動の評価に使用できるものである。そのため嗄声の診断、特に術後の瘢痕など通常の喉頭鏡検査では異常の見つけられない病変の診断にとってはなくてはならない検査となっている。その評価方法としては、これまでは対称性、規則性、声門閉鎖の有無、振幅の大きさ、粘膜波動の有無、非振動部位の有無などの観察項目をもうけてそれぞれについてチェックしてゆく方法がとられていた。

これに追加してストロボで得られた1周期分の映像を駒送りして1枚のビデオプリントに出力することを提唱した。元来、喉頭ストロボスコーピーは声帯振動のある1点、1点を切り取っているのであるから、これを時間軸上にならべてモーション像とする代わりに、分割像として1枚のプリント用紙に表示しただけである。このため情報の欠落が少なく、これ1枚でストロボスコーピーの判定を行うことも十分可能と思われる。ただ、このプリントは1周期分のデータであるため、規則性の判定は不可能である。しかしストロボスコーピー自体が規則性があるとの前提のもとで行われ

る検査であるので、規則性がないといってもその不規則さを詳しく判定する意味はあまりなく実用上問題はないと思われる。この駒送りプリントをカルテに張り付けておけば、経過観察の際にいちいち以前のビデオテープを見直す必要が減少すると思われる。これまで観察項目の判定を行う際には検者間で判定の食い違う問題があったが、このプリントを利用すればこの問題も減少すると期待される。また定性的評価しか出来なかったこれまでの評価法に対して、閉鎖期のコマ数を数えたり、スキヤナに取り込んで声門面積を計測したりと、ある程度の定量的評価も可能となった。喉頭ストロボ像の定量的評価の方法としては、本文では声門面積測定⁵⁾の例を示したが、他に振幅の測定⁵⁾、麻痺声帯の弓状変化度の測定⁶⁾などの方法がある。一度スキヤナに取り込めばこれら種々の方法での測定も出来、いろいろと応用も可能である。

歌手において声の高さ、大きさなど発声条件を図1のようにストロボビデオ画面にスーパーインポーズして同時記録することの重要性を指摘したが、歌手以外でも小さな結節などの器質的疾患がある症例では、声の高さによって嗄声の変化することは多い。このような場合の評価や音声治療の効果判定にも有用であると思われる。ただ、硬性喉頭内視鏡を用いた場合は舌の引き出しのため、軟性ファイバースコープに比し声門閉鎖が不完全となるとの報告⁷⁾もあり、普段どおりの発声が出来ているか十分注意が必要である。

ま と め

喉頭ストロボスコーピーのプロトコールとして追加して利用出来るものにつき検討した。

1) 喉頭ストロボスコーピーで見た声帯振動の1周期分の画像を駒送り像としてビデオプリントすることにより、詳細かつ定量的な評価が出来ることを示した。

2) 録画したビデオ画像に基本周波数などの情報を同時記録することにより、条件の違う発声を行った時の評価が容易に出来ることを示した。

文 献

- 1) Schönhärl E: Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie. 25~35, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1960.
- 2) 平野 実: 喉頭ビデオストロボスコーピー. 声の検査法 (第2版), (日本音声言語医学会編) 臨床編. 24~38, 医歯薬出版, 東京, 1994.
- 3) 加納 滋ほか: 画像処理専用言語を用いたパーソナルコンピュータ上での喉頭ストロボビデオの画像処理. 音声言語 38: 56~57, 1997.
- 4) Koike Y & Imaizumi S: Objective Evaluation of Laryngostroboscopic Findings. Vocal Physiology: Voice Production Mechanisms and Functions (Fujimura O ed) 433~442, Raven Press, New York, 1988.

- 5) Omori K et al : Vocal Fold Atrophy: Quantitative Glottic Measurement and Vocal Function. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 106 : 544~551, 1997.
 - 6) Inagi K et al : Correlation between Vocal Functions and Glottal Measurements in Patients with Unilateral Vocal Fold Paralysis. *Laryngoscope* 107 : 782~791, 1997.
 - 7) Södersten M & Lindestad P : A Comparison of Vocal Fold Closure in Rigid Telescopic and Flexible Fiberoptic Laryngostroboscopy. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 112 : 144~150, 1992.
-

別刷請求先 〒770-8503 徳島市蔵本町3丁目18-5
徳島大学医学部耳鼻咽喉科学講座 幸田純治