立体 (3D) 喉頭ストロボスコーピー

磯 貝 豊

Three Dimentional (3D) Laryngostroboscopy

Yutaka Isogai

The three dimentional (3D) laryngostroboscopy was newly developed in cooperation with Shinko Optical Co., Ltd. and Flovel Co., Ltd. The system is composed of a 3D laryngotelescope with two TV cameras, a control unit, a monitor display, a wireless liquid crystal shutter eyewear, and a laryngostroboscope.

The specifications of the 3D laryngotelescope which has the two lines of vision are as follows. The diameter of the telescope is 15mm. The angled view is 70°. The field of view is 35°. The distance between the centers of the two object lenses is 6mm. The angular parallax is 7°. The diameter of the field is 25mm at the standard focal distance of 50mm, and 15mm at the nearest focal distance of 35mm.

The time multiplexed stereopsis is adopted in this system. Each field from the right and left TV cameras is mixed alternately and written in the pair of the two field memories in sequence in the frequency of 60 Hz, while it is read out and displayed on the monitor display in a high frequency of 120 Hz in order to avoid flicker.

Stereoscopic views with sufficient depth perception of wave crests rising from the medial/lower surface and travelling toward the lateral/upper surface of the vocal cords were obtained through the three dimentional (3D) laryngostroboscopy.

Key words : 立体喉頭鏡, 3次元喉頭鏡, 立体喉頭ストロボスコーピー, 3次元喉頭ストロボスコーピー

1. は じ め に

喉頭ストロボスコーピーは、発声時の声帯振動をスローモーション像として観察するのに不可欠の方法である。

X線ストロボスコーピー¹⁾とデジタルサブトラクションX線ストロボスコーピー²⁾による前額面からの声帯振動の観察の結果、声帯振動の本質は声帯内側下面から上面外側に向かって連続的に移動する粘膜隆起を波頭とする進行波 (travelling wave) 現象であることが解明されている。

しかしながら、通常の単眼式の内視鏡を用いた声帯上面からの喉頭ストロボスコーピーでえられる声帯振動画像は、平面的な2次元画像のため、この画像だけから、声帯振動の進行波現象を声帯の垂直軸方向の奥行感 (depth perception)・立体感 (stereoscopic feeling) をもって実感することは不可能であり、X線ストロボスコーピーによる前額面からの声帯振動イメージを媒介する必要がある。

双眼式の立体内視鏡を用いれば、声帯上面からの喉頭ストロボスコーピーによっても、現実的な奥行感・立体感をもって声帯振動の進行波現象を実感 (virtual reality ; 人工現実感) できる可能性があるが、今までの試み^{3~8)}は声帯 (振動) の高さや長さの定量的計測が主目的であり、立体

視そのものの試み・評価はなされていない。

最近、消化器外科領域における内視鏡下手術の普及とともに、3次元的な立体感をもった手術操作の必要性から立体内視鏡が開発され、実用化されてきている。

1993年夏、縁あって、著者は橋本^{9~11)}が開発した立体腹腔鏡システムによる腹腔鏡下胆嚢摘出術の3次元ビデオ画像を見る機会を得たが、その奥行感・立体感に圧倒された。

そこで、橋本が開発した立体腹腔鏡システムの製作を担当した (有) 新興光器製作所と (株) フローベルの協力を得て、立体喉頭鏡システムを共同開発し、その立体喉頭ストロボスコーピーのビデオ画像を被験者を含む複数の素人 (声帯振動の専門的知識が無い人) に見せたところ、全員から「通常の単眼式のストロボスコーピーの画像では、声帯振動が平面的な開閉運動のように見えるが、双眼式の立体ストロボスコーピーの画像では、声帯振動の奥行感が十分感じられ、開大期に声帯下面 (奥) から上面 (手前) に向かって波頭が盛り上がってくるような立体的なイメージを実感する」との評価を得た。

立体感度という主観的尺度ではあるが、本法が声帯振動の3次元的イメージの形成や教育に役立つ有用な方法と考えられるので報告する。

2. 立体 (3D) 喉頭ストロボスコープのシステム構成 (図1～図3)

①立体 (3D) 喉頭鏡 (図1)

立体喉頭鏡の外観を図1に示す。

先端部径は15mm, 両側の対物レンズの中心間距離は6mmとし, 喉頭鏡軸に対する視向角は70°, 視野角は35°とした。視差角(輻輳角)は7°とし, 焦点距離は被写体距離50mmを標準とした。拡大率は被写体距離が標準の位置で25mm径の対象を, 最近接の被写体距離35mmの位置で15mm径の対象をフル画面で撮像できるように設定した。

②立体 (3D) 喉頭鏡システム (図2, 3)

立体 (3D) 喉頭鏡システム (新興光器製作所: 3D-1057C) の外観を図2に示す。

立体 (3D) 映像の方法¹²⁾ はすでに確立されており, 一定の視差角(輻輳角)をもつ左右の画像を, 左側画像は観察者の左目だけに, 右側画像は右目だけに, 左右交互に入力することによって観察者に立体感を抱かせる点にある。

立体映像の方式は色々あるが, 本システムでは時分割方式 (図3) を採用した。立体 (3D) 喉頭鏡の左右の接眼レンズに接続した左目系と右目系の2台のTVカメラのフィールド画像を, フィールドスイッチャーを介して左右交互に1フィールドおきに継時的にミックスしながら1枚のフレームメモリ (左目系用と右目系用の2枚のフィールドメモリ) に順次書き込む。フィールドメモリに書き込んだ, 左右それぞれ1フィールドおきのフィールド画像を120Hzの周波数で交互に切り替えながら, 左右一対の画像を2回づつ繰り返してモニターディスプレイに表示する。

ディスプレイに表示された画像を, 画像表示切り替え信号に同期したワイアレス (赤外線エミッター方式) の能動型液晶シャッターメガネを通じて見ると, 左目系のフィールド画像は左目のメガネだけから, 右目系のフィールド画像は右目のメガネだけから見え, これが左右交互に高速で切り替わることによって観察者に立体視している感覚 (立体感) を生じさせることができる。

VTR (SONY: VO-9850) へは, フィールドスイッチャーを介してミックスした画像を記録し, 再生画像を立体視する場合は, 再生されたミックス画像を上記と同じ方法で処理する。

③立体 (3D) 喉頭ストロボスコープ

立体 (3D) 喉頭鏡システムの光源としてストロボスコープの光源を用いたものが立体 (3D) 喉頭ストロボスコープである。本システムには, 移相速度を一定 (標準移相速度1Hz) になるよう改良した喉頭ストロボスコープ (永島: LS-3A) を用いた。

嗄声の無い音声正常者 (ボランティア) と, 1側声帯嚢腫術直後で術側の声帯振動がほとんど無い症例, 声帯萎縮症例, 声帯ポリープ症例などの臨床患者を対象として, 立体 (3D) 喉頭ストロボスコープを行った。

図1 立体喉頭鏡の外観。先端部に対物レンズが左右2コ見え, 接眼部に小型TVカメラが2台, ライトガイドが1本装着されている。

図2 立体 (3D) 喉頭鏡システム (新興光器製作所: 3D-1057C) の外観。下から, 立体喉頭鏡, コントロールユニット, 色相調整器, モニターディスプレイ, 赤外線エミッターと液晶シャッターメガネ。

図3 本システムの時分割方式 (参考文献12の17ページの図2. 5を一部改変したもの)

A

B

C

図4 声帯ポリープ症例の、左目系のフィールド画像（A）と右目系のフィールド画像（B）、両者をミックスしたフレーム画像（C）。Cでは、立体内視鏡の視差角（輻輳角）分だけAとBがずれて重なっている。立体視すると、このずれ分だけ奥行感（立体感）として感じられる。

3. 評価方法

立体（3D）喉頭ストロボスコーピーのVTR再生画像を、被験者を含む複数の素人（声帯振動の専門的知識が無い人）に見せ、奥行感・立体感に関する感想を求めた。

本誌上で立体視を再現することは不可能なので、1例として、声帯ポリープ症例の左目系のフィールド画像（A）と右目系のフィールド画像（B）、および両者をミックスしたフレーム画像（C）を示す。（図4）。このミックス画像（C）を本システムのVTR再生モードで見ると、AとBの画像がずれて重なっている分（立体内視鏡の視差角分）だけ奥行感（立体感）をもって見えることになる。原理的には、AとBのずれが大きいほど立体感は大きくなり、ずれが全く無い画像は単眼式の平面像と同じになる。

4. 結果

喉頭像全体に関する感想では、全員から、喉頭蓋、披裂部、仮声帯、声帯の各部の高さ（奥行）の違いを、梨状陥凹部も含めて立体的に感じることができるとの解答を得た。

立体喉頭ストロボスコーピーによる声帯振動画像に関しても、全員から「通常の単眼式のストロボスコーピーの画像では、声帯振動が水平方向の平面的な開閉運動のように見えるが、双眼式の立体ストロボスコーピーの画像では、声帯振動の奥行感が十分感じられ、正常な声帯振動の開大期には、拡大率に比例して、声帯下面（奥）から上面（手前）に向かって波頭が盛り上がってくるようなイメージを実感する」との解答を得た。

5. 考察

①立体喉頭鏡の太さについて

先端部径が15mm、両側の対物レンズの中心間距離が6mmと太めなので、Ω型喉頭蓋を有する成人男性や、女性、小児の喉頭の観察は困難である。

先端部径を細くするためには、対物レンズの中心間距離を小さくすればよいのだが、そうすると視差角（輻輳角）も小さくなってしまふ（立体感度が低下してしまう）ので、工夫が必要である。

②拡大率について

本システムでは、被写体距離が標準の位置の時、喉頭全体が視野全体に入るよう設計したので、声帯振動像をもう少し大きく拡大して見えるようにするには、拡大率をさらにアップする必要がある。しかし、それに伴って最低照度が上昇してしまうので、画像が暗くならないようシステム全体の検討を行う必要がある。

③VTR再生画像の色再現性について

本システムだけでは、VTR再生時にモニターディスプレイに表示される画像の色相が全体に青色っぽく変調されてしまうという問題点がある。

本システムでは、左右のフィールド画像の交互切り替えに伴うちらつき感（フリッカー）を減少させるために、120

Hz の高速で左右のフィールド画像（コンポジット信号）を切り替えながらモニターディスプレイ上に表示する必要上、モニターディスプレイ用の画像信号は RGB 信号を用いているので、ディスプレイには、コンポジット信号を RGB 信号に変換して表示している。

上記の原因は、VTR 再生時の画像信号（コンポジット信号）を RGB 信号に変換する際の色相調整機能に問題があるためであり、現在改良中である。

現行では、VTR とモニターディスプレイの間に、色相調整器としてフレームメモリーユニット（SONY：MPU-F100）を介することで解決している。

④本システムの時分割方式について

本システムで採用した時分割方式は、図 3 に示したごとく、2 台の TV カメラのフィールド画像を 1 フィールドおきに左右交互に表示する方式のため、左右のフィールド画像とも、1 フィールドおきにしか表示されていない。したがって、観察者の左眼と右眼には交互に 1/60 秒分のタイムラグをもったフィールド画像が入力されていることになる。

厳密な意味での両眼視のためには、両眼に入力されるフィールド画像を、完全に同一のタイミングで同期させる方式にするべきであるが、そのためには、VTR への録画方式をステレオ録画方式（2 チャンネル同期録画方式）にする必要がある。しかし、ステレオ録画方式の VTR は、現段階では市販されていない。現在市販されている VTR を用いてこの方式を実現するためには、タイムベースコレクター（TBC）によって 2 台の VTR のクロックを完全に同期させて制御する必要があるが、クロック精度とコストパフォーマンスを考えると現実的でない。

クロック制御を高精度で行うために 2 台のビデオディスクを用いる方法もあるが、現段階では、ディスクにパーソナルに書き込む（録画する）ことができない。

本システムの時分割方式でも不自然さを全く感じないので、諸条件を勘案すると、現段階では本システムの方式がベストではないかと判断される。

⑤定量的計測について

はじめに述べたように、喉頭科領域における立体視の研究³⁻⁸⁾は、立体感の追及よりも、高さや長さの定量的計測が主目的であった。立体（3D）喉頭ストロボスコープも、立体感という主観的な指標に留まるものではなく、定量的計測を指標とすべきと考える。しかし、測定精度の信頼性を高めるためには、基準信号としてレーザー光を用いる必要があるなど、技術的・経済的に解決しなければならない困難な問題がある。

⑥立体内視鏡下手術への応用

著者は処置用カーブドラリングテレスコプを試作開発し、これを用いたカーブドラリングマイクロサージェリー（CLMS）の完成を数年にわたって追求してきているが、CLMS の問題点のひとつとして、カーブドラリングテレスコプが単眼の内視鏡であるため、鉗子操作を立体的に

判断しにくい点がある。

はじめに述べたように、消化器外科領域においては、内視鏡下手術の普及とともに立体的操作感の必要性から立体内視鏡⁹⁻¹¹⁾が実用化されており、音声外科領域においても立体内視鏡下手術の実現を目指す必要性が出てくると思われる。

6. 結 論

立体（3D）喉頭ストロボスコープシステムを開発し、得られた喉頭ストロボスコープ画像を、声帯振動の専門的知識が無い複数の素人に見せたところ、全員から「正常な声帯振動では、声帯下面（奥）から上面（手前）に向かって波頭が盛り上がってくるようなイメージを実感する」との感想を得た。

立体（3D）喉頭ストロボスコープは「声帯振動現象の本質が、声帯内側下面から上面外側に向かって連続的に移動する粘膜隆起を波頭とする進行波（travelling wave）現象であること」を感覚的に理解させることができる有用な方法と思われる。

稿を終えるにあたり、本研究に取り組む契機を与えてくださいました（株）永島医科器械の前田 実氏、立体喉頭鏡システムの共同開発に携わっていただきました（有）新興光器製作所の福与恒雄氏、（株）フローベルの星 幸一氏・小田島伸寿氏に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 磯貝 豊：X線ストロボスコープによる声帯振動の解析。耳鼻 27：883～930, 1981.
- 2) 磯貝 豊：デジタルサブトラクション X線ストロボスコープによる声帯振動の解析。喉頭 6：140～146, 1994.
- 3) 藤田馨一：日本人の声帯長に関する研究。大日耳鼻 50：470～492, 1943.
- 4) Sawashima M et al：Stereo-fiberscopic measurement of the larynx, A preliminary experiment by use of ordinary laryngeal fiberscopes. Ann Bull RILP 8：7～12, 1974.
- 5) Honda K et al：Measurement of the laryngeal structures during phonation by use of a stereo-endoscope. Ann Bull RILP 14：73～78, 1980.
- 6) Sawashima M et al：Measurements of the vocal fold length by use of stereoendoscope-a preliminary study. Ann Bull RILP 15：9～16, 1981.
- 7) 平野 実ほか：喉頭のステレオ超高速映画。日耳鼻 85：260～264, 1982.
- 8) Kakita Y et al：Stereo-laryngoscopy, A new method to extract vertical movement of the vocal fold during vibration. Vocal fold physiology, (Titze I et al ed), 191～201, The Denver

Center for the Performing Arts, Inc. Denver, 1983.

- 9) 橋本大定：3次元内視鏡の開発. 消化器内視鏡 5：1085～1088, 1993.
- 10) 橋本大定：内視鏡下外科手術の将来. 腹壁吊り上げ法による腹腔鏡下胆嚢摘出術 (第1版), 136～140, 南山堂, 東京, 1994.
- 11) 橋本大定：3次元内視鏡. 手術 48：693～697, 1994.
- 12) 稲田修一：三次元映像. これからの画像情報 (初版), (稲田修一編), 7：1～40, 昭晃堂, 東京, 1991.

別刷請求先 〒160 東京都新宿区信濃町9番地2
東京電力病院耳鼻咽喉科 磯貝 豊