気管側からみた正常声帯の振動様式

湯本 英二・黒川 浩伸・丘村 熙

Infraglottic View of Normal Vocal Fold Vibration

Eiji Yumoto, Hironobu Kurokawa and Hiroshi Okamura

(Ehime University)

We examined normal vocal fold vibration from the tracheal side in 4 canine larynges by ultra-high speed cinematography. The larynx was fixed to the hole of a glass box. Then air was delivered to the glass box, representing subglottic space, for phonation. After cinematography, two of the four larynges were sectioned in a frontal plane and used for histologic examination. Mucosal upheaval appeared on a lower surface of the vocal fold during vibration. Mucosal vibration occurred from the mucosal upheaval, which vibrated with a small amplitude and with an earlier phase than the free edge of the vocal fold. The mucosal upheaval shifted upward when the vocal fold vibrated at a higher frequency. Histologic examination revealed that the mucosal upheaval arose on the lower surface of the vocal fold between the free edge and the area where the muscular layer came close to the epithelial layer.

Key words: vocal fold vibration, lower surface of the vocal fold, high speed movie, mucosal upheaval

はじめに

発声中の声帯振動の解析には、声帯上面だけでなく声帯下面の観察も必要である。しかし声帯は甲状軟骨・輪状軟骨の枠組みの中にあり、しかも吹鳴のためには気管側から送気するという操作を要するので振動声帯下面の観察は容易でない。そのため小鉛片を声帯に刺入してX線ストロボスコープを用いて前額面から声帯下面の振動様式を観察するなどの工夫がなされてきた¹⁾。著者らは、鉛片などの負荷を排しかつ吹鳴が非生理的にならないよう留意して声帯振動を気管側から高速度映画に撮影した。今回、犬摘出喉頭を用いて声帯下面の正常声帯振動を観察し若干の知見を得たので報告する。

実験方法

実験には成犬の正常摘出喉頭4個を用いた。声帯を上下両方向から観察するために、上方は仮声帯までを切除し、下方は輪状軟骨下端で第一気管輪と切断した。

吹鳴に必要な声門閉鎖を得るために両側披裂軟骨声帯突起部を4-0 ナイロン糸で縫合した。実験に用いた4個の喉頭の内2個は声帯膜様部前後軸のほぼ中央で、遊離縁からやや外側(犬C)および外側(犬D)の声帯下面にピオクタンあるいは墨汁を用いて27G針で標識した。

次に、声帯上面を外に向けて喉頭をガラス箱にあけた小孔に固定した。固定には粘土を用いて小孔内の喉頭とガラス箱の間に気密を保つよ

うにした(図1). 加湿した空気を一定の流量でガラス箱に流し, それによって喉頭を吹鳴させた. 喉頭を固定したガラス面の対側のガラス面を通して声帯下面を毎秒約5000駒で高速度映画に撮影した(Hymac, 日立). 撮影の直後も撮影時と同じ条件で吹鳴をしばらく持続させて吹鳴音をテープに録音し振動数を測定した.

撮影後, 声帯下面の標識点に遊離縁と平行に11号メスで小切開を加え, 10%ホルマリンで喉頭を固定した. 標本は脱灰の後, 前額断に薄切し HE 染色およびアザン染色を施し, 光学顕微鏡下に観察した. この操作は, 声帯振動時のみ出現するヒダ状粘膜隆起の位置が非振動時の喉頭のどの部分に相当するかを検討するため

に行なった.

撮影フィルムは通常の速さで映写して声帯振動を観察した後, Film motion analyzer (Model MC-08, Nac) を用いて1駒ごとに分析した. 分析点は, 声帯前後軸に垂直で標識点を通る直線が両側声帯自由縁, 両側のヒダ状粘膜隆起と交差する点である(図2, 矢印). 犬A, Bは標識がないので振幅が最大となる中央部で下唇の運動もあわせて測定した. また, 犬Cでは標識点の動きも分析した. なお, 分析に際して声帯下面の振動部分(声帯下面の膜様部といえる)の前後長を基準(100)として正中線から垂直に各点までの距離を測定した.

結 果

(1) 気管側からみた声帯振動

代表例として図3に犬Aの振動を示す. 吹鳴音の振動数は191 Hzであった. 上が左側, 下が右側で, 外側から順にヒダ状粘膜隆起, 下唇, および遊離縁の動きを表わす. 下唇と遊離縁が重なった区間では下唇が遊離縁となっている.

図3 犬Aの振動. 上が左側, 下が右側で, 外側から順にヒダ状粘膜隆起, 下唇, 遊離縁の動きを表わす. 下唇と遊離縁が重なった区間では下唇が遊離縁となっている.

図4 犬Cの振動. 上が左側, 下が右側で, 左側は外側から順にヒダ状粘膜隆起, 遊離縁の動きを, 右側はヒダ状粘膜隆起の外側にさらに標識点の動きを示す.

図1 声帯振動の観察法. 声帯上面を外に向けて喉頭をガラス箱にあけた小孔に固定した. 加湿した空気を一定の流量でガラス箱に流し, それによって喉頭を吹鳴させた. 喉頭を固定したガラス面の対側のガラス面を通して声帯下面を高速度映画に撮影した.

図2 開大期の声帯下面の模式図. 矢印は分析点を示す.

ヒダ状粘膜隆起, 下唇, 遊離縁とも動きはほぼ対称的で, 異なった周期間の変動もみられなかった. 閉小期に, 下唇は遊離縁となって内方へ移動し左右が正中で激しく衝突して閉鎖期になった. 衝突の直後, 下唇は速やかに外下方へ移動し, 閉鎖期の間外側に留まっていた. この間は下唇を同定しづらい場合があった. その後遊離縁が外方移動を開始するときに一致して (開大期の初期), 下唇が内方への動きを開始した. やがて下唇が再び遊離縁となって, 振動は開大期から次の周期の閉小期に入った. なお, 声帯振動は声帯と声門下腔との間に生じた段差すなわちヒダ状粘膜隆起の内上方で起こった. 下唇の外方移動はこのヒダ状粘膜隆起あるいはそのすぐ内側まで到達した. また, ヒダ状粘膜隆起自身も, 振幅は小さいが遊離縁の動きに同期してそれより早い位相で振動していた.

図 4 に犬 C の振動を示す. 分析点は中央よりやや後方で, 吹鳴音の振動数は 285 Hz であった. 上が左側, 下が右側で, 左側は外側から順にヒダ状粘膜隆起, 遊離縁の動きを, 右側はヒダ状粘膜隆起の外側に標識点の動きを表わす. ヒダ状粘膜隆起は, 犬 A と同様, 振幅は小さいが遊離縁の動きに同期してそれより早い位相で振動していた. 標識点はヒダ状粘膜隆起のやや外側に位置していた. この点はヒダ状粘膜隆起より小さな振幅でかつ遅れた位相で動いていた. ヒダ状粘膜隆起の振動が一部, 外下方に伝播したものと考えられた. 犬 D における標識点はヒダ状粘膜隆起からかなり外側に位置したので標識点の分析は行なわなかった.

(2) ヒダ状粘膜隆起の位置

ヒダ状粘膜隆起は声帯振動時にのみ出現し, 非振動時には観察されない. 非振動時の喉頭を固定して作製した標本上でヒダ状粘膜隆起がどこに相当するかを検討した.

実験に用いた 4 個の喉頭について, 吹鳴音の振動数, 振動分析を行なった部位, 両側遊離縁の振幅, 両側ヒダ状粘膜隆起の位置および標識点の位置 (犬 C, D) を表 1 に示した. 表からわかるように振動数が小さいほどヒダ状粘膜隆起は外側に生じた. 犬 A, B のヒダ状粘膜隆起は犬 D のその位置に比して正中線から約 2 倍の距離に位置していた. また, ヒダ状粘膜隆起と同様, 振動数が小さい方が遊離縁の振幅が大きかった.

図 5 前額断の喉頭標本 (上: 犬 C, 下: 犬 D, アザン染色). 矢印は標識点に加えた切創を示す.

表 1 吹鳴音の振動数, 振動分析を行なった部位, 遊離縁の振幅, ヒダ状粘膜隆起の位置および標識点の位置

犬	振動数 (Hz)	測定部位	遊離縁の振幅		ヒダ状粘膜隆起		標 識 点
			右	左	右	左	
A	191	中 央	12.4	10.7	21.8	22.0	—
B	129	中 央	9.7	10.1	20.1	18.8	—
C	285	やや後方	4.7	4.8	8.9	8.1	12.7 (右)
D	465	中 央	6.7	6.7	9.3	11.5	28.3 (左)

犬C, Dの前額断喉頭大切片標本を図5に示す(アザン染色). 犬Cの右声帯下面の切創は(図5上, 矢印), 粘膜固有層が薄くなり上皮層が筋層と最も接近した部分のやや上方に認められた. 犬Dの左声帯下面の切創は(図5下, 矢印), 粘膜固有層の最も薄い部分の下方に認められた. 高速度映画の分析から得られたヒダ状粘膜隆起の位置(表1参照)と考え合わせると, ヒダ状粘膜隆起は, 上皮層と筋層が最も接近した部位より上方に生じたといえる. また, 振動数が大きい方がより上内方に生じた. 2個の標本とも声帯下面の振動の生じる部分は, 筋層から離れ, 疎な結合組織からなる部分で, 上皮層と筋層が最も接近した部位より上方であった.

考 按

嚔声に対する外科的治療として, 顕微鏡下喉頭微細手術いわゆるラリングマイクロ²⁾の行なわれることが多い³⁾. 喉頭内腔からのアプローチによって病変を摘出する操作が主となる. 病変除去後の創は二次的な治癒過程をたどるので, 手術操作による組織欠損部は瘢痕に置換されることになる. この瘢痕が大きい場合はもちろん, 小さくても部位によっては術後の声帯振動が障害される可能性がある. この意味で, ラリングマイクロ施行後に確実に嚔声を改善せしめるためには, 正常声帯の振動様式を十分に理解している必要がある. しかし, 声帯下面の振動様式については研究が少なく詳細は未だ解明されていない. 松下⁴⁾は, 犬摘出喉頭を用いて撮影した高速度映画の定性的な観察に基づいて, 声帯の振動部分はヒダ状粘膜隆起の内上方であると報告した. 齊藤¹⁾はヒトあるいは犬摘出喉頭に小鉛片を刺入しX線ストロボスコープを用いて前額面から声帯振動を観察した. その結果, 下唇よりも1~2mm下方に隆起が出現し, 声帯自由縁より早い位相でわずかに振動することを報告した. Baer⁵⁾は, 声帯下面に置いた微粒子の前額面上での動きをストロボスコープを用いて観察し, 微粒子はおもに水平方向に運動したと報告した. この結果はX線ストロボ

スコープ法による川崎の研究結果⁶⁾と一致しており, 本研究のように高速度映画撮影によって気管側からの声帯振動の観察, 特に水平方向の詳細な分析を行なうことの重要性を示している. 福田⁷⁾は, 摘出喉頭の頭側に接続した管を通して声門上に陰圧をかけることによって喉頭を吹鳴して観察し, 声門下の振動部分はごく狭かったとしている. しかしこの吹鳴法は, 通常の, 気管側からの送気による吹鳴に比して非生理的であり, とりわけ起声時において, 正常の振動様式と異なる可能性がある. 本研究では, 犬摘出喉頭を用いて, 鉛片などの負荷を排しかつ吹鳴が非生理的とならぬよう工夫して気管側から声帯振動を高速度映画に撮影した. また, 声帯下面の標識点を, 振動分析の対象とすると同時にヒダ状粘膜隆起の解剖学的位置の推定に際しての目印とした.

気管側からみた声帯振動は上述の報告¹⁾⁴⁾⁷⁾とはほぼ同様であった. 閉鎖期に, 下唇は遊離縁となって内方へ移動し左右が正中で激しく衝突して閉鎖期にはいる. 下唇として観察されていた粘膜隆起は, 大部分がそのまま上方, やがて上外方へ移動し, 口側から上唇として観察されるようになる. 一方, 衝突によって進行波の一部は反射して再び外下方へ伝播する粘膜隆起となる. この粘膜隆起が閉鎖期初期にみられる下唇である. 従って開大期にみられた下唇よりも閉鎖期初期の下唇の方が隆起が低いので同定しづらい.

ヒダ状粘膜隆起は, 齊藤の述べたように¹⁾, 声帯自由縁と同期してそれより早い位相で振幅の小さい振動をしていた. また, ヒダ状粘膜隆起のやや外側の標識点(犬C)はヒダ状粘膜隆起より小さな振幅かつ遅れた位相でわずかに動いていた. しかしこの動きはヒダ状粘膜隆起の運動の一部が下方に伝播したものにすぎないことは高速度映画の観察から明らかであった. これらから, 声帯の振動部分はヒダ状粘膜隆起の上方であると結論した. 従って声帯の手術操作時にはヒダ状粘膜隆起の生じる部位をできるだけ

け傷害しないことが望まれる。しかしながら、ヒダ状粘膜隆起の位置は一定でなく、表1に示すように振動数が小さいほど外下方に生じるという傾向がある。また、標識点に加えた小切開を目印にして組織標本上でヒダ状粘膜隆起の生じた位置を推定したところ、上皮層と筋層が最も接近した部位より上方であると考えられた。本研究では非振動時の声帯を固定したので振動時の声帯とは形態に若干の差が生じる。さらに、固定、包埋、薄切の過程で標本の形態に変化の生じた可能性もあるのでヒダ状粘膜隆起の位置を各々の場合で特定することはできない。今後、同一喉頭で振動数が異なるように種々の条件下で吹鳴することによってヒダ状粘膜隆起の生じる位置の変化を詳細に検討する予定である。

ま と め

吹鳴が非生理的にならないように工夫して声帯振動を気管側から高速度映画に撮影し、声帯下面の振動様式を観察した。また実験に用いた4個の犬喉頭のうち2個の喉頭は前額断の組織標本を作製し、振動時に観察されたヒダ状粘膜隆起の位置について検討し、以下の結果を得た。

(1) 振動中、声帯下面にヒダ状粘膜隆起が出現し、声帯振動はこれより上方で起こった。

(2) ヒダ状粘膜隆起は、振幅は小さいが遊離縁の動きに同期してそれより早い位相で振動した。

(3) ヒダ状粘膜隆起は振動数が大きい方がよ

り内上方に生じた。

(4) 喉頭の前額断標本上では、ヒダ状粘膜隆起は上皮層と筋層が最も接近した部位より上方に生じた。

参考文献

- 1) 斉藤成司：発声機構の基礎的研究および喉頭内腔への臨床的アプローチ。耳鼻 23補1：177～189, 1977.
- 2) 斉藤成司, 荻野巳人, 石倉幹雄, 他：喉頭内視鏡下の MICROSURGERY. 日気食会報 17：253～266, 1966.
- 3) 湯本英二：音声外科の立場から一声帯への手術侵襲と術後の声帯振動一。音声言語医学 29：203～207, 1988.
- 4) 松下英明：高速度映画による摘出喉頭における声帯振動に関する実験的研究。耳鼻 15：127～142, 1969.
- 5) Baer T : Investigation of the phonatory mechanism. Proceedings of the conference on the assessment of vocal pathology (ed by Ludlow C and Hart M). ASHA Reports II. pp 38～47, Rockville, 1981.
- 6) 川崎順久：多面的観察による声帯振動の基礎的研究。日気食会報 39：476～492, 1988.
- 7) 福田宏之：声帯粘膜の可撓性を考慮した手術的アプローチ。音声外科における最新の進歩(平野実編)。29～62頁。医学教育出版社、東京、1984.

(原稿採択：平成元年3月20日)

(別刷請求先：湯本英二)

(〒791-02 愛媛県温泉郡重信町志津川454
愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室)