FUNCTION OF THE LARYNGEAL MUSCLES ON THE POSITION AND
SHAPE OF THE VOCAL CORD

YUICHI KOIKE, M.D., MINORU HIRANO, M.D.,

MICHIHIRO MORIO, M.D. and TAKAO KASUYA, M.D.

The Department of Otolaryngology, School of Medicine, Kurume University, Kurume

(Director: M. Hirano, M.D.)

The purpose of the present study is to investigate how the position and the shape of the vocal cord are altered by contraction of the laryngeal muscles, and thus to determine the role of each laryngeal muscle in adjusting the vibrator, i. e. the vocal cord.

In excised canine larynges, the changes in position and shape of the vocal cord when each muscle was electrically stimulated were observed and photographed from above as well as from the inner side. Then the larynges were rapidly immersed in cold alcohol solution of -30°C and fixed in the stimulated condition. They were dehydrated with a freeze substitution method, and later seved for histological examinations.

The results obtained are the followings:

1. Whe the the cricothyroid muscle is stimulated, the vocal cord is stretched, elongated and slightly adducted to paramedian position. The edge of the vocal cord becomes thin.
2. Contraction of the posterior cricoarytenoid muscle results in abduction of the vocal cord to lateral position and the glottis is widely opened. The edge of the vocal cord becomes slightly thick, however, it becomes thin in the width of the entire vocal cord.
3. Among the adductor muscles, there are significant differences in regulating shape of the vocal cord. When the thyroarytenoid muscle is stimulated, the vocal cord is markedly shortened and thickened and the middle part of the vocal cord is bulged. On the other hand, the cord is slightly elongated and becomes slightly thin at the edge when the lateral cricoarytenoid muscle is stimulated.

4. On the histological examination of frontal section of the vocal cord, size and shape of the subepithelial layer, i. e. lamina propria is changed by contraction of each muscle.

Contraction of the thyroarytenoid muscle results in an increase in cross sectional area whereas a decrease in the area results from contraction of the other three muscles.

5. Contraction of the arytenoid muscle causes adduction of the arytenoid region, however, it does not affect shape of the membranous portion of the vccal cord markedly.

6. From the findings described above, it appears that the laryngeal muscles play important roles to change the shape of the vocal cord, as well as to determine the position of the vocal cord.

This gives us the bases to discuss laryngeal adjustments which produce different patterns of vocal cord vibration in various ways of phonation.

内 喉 頭 筋 の 機 能

——声門および声帯形態の変化に関して——

久留米大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：平野実教授）

小 池 祐 一 平 野 実 森 尾 倫 弘
粕 谷 尚 男

緒 言

喉頭の生理機能の中でも人の発声機能は最も分化した高等なものとされる。それだけにその機構は複雑であり、従つて、その主役を演じる内喉頭筋の機能についても、すべてが明らかにされているわけではない。内喉頭筋の機能に関しては解剖学的、組織学的、生化学的、生理学的など、いろいろのアプローチによつて、従来多くの研究がなされ、それぞれで多くの知見がもたらされている。特に生理学的立場から筋の活動様式をみる筋電図的研究が最も多く、かつ深く行われており、最近では平野¹⁾が歌声の調節機構に関して、また広瀬²⁾が発話時の内喉頭筋活動に関して、主として筋電図的に研究を行つて、発声機能という立場から、それぞれの内喉頭筋の機能の分化を詳細に解明している。

ところで発声時には、主として内喉頭筋の活動によつて、声帯はその位置、形態、緊張度などが微妙に変化調節され、それによつて声帯の振動モードや声帯音の性質が規制される³⁾。声帯を振動体という観点からみると、筋活動の結果生じる声門および声帯形態の変化をそれぞれの内喉頭筋について明らかにしておくことも、前述の筋電図研究とはまた別の立場から、喉頭筋の性格を深く解明し、声帯の振動モードを理解する上で重要なことである。この方面の研究としては内喉頭筋作働時の声門形態の変化に関するものがあり、従来より摘出喉頭や生体喉頭で多数の実験的研究が行われているが⁵⁾⁸⁾¹¹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、それらは岩村⁹⁾による犬生体喉頭における定量的観測を除けば、大部分が平面的、定性的観察にとどまつており、必ずしも充分とは言い難い。

われわれは犬摘出喉頭を用いて、各内喉頭筋を電気刺激し、その際の声門および声帯形態の変化を多面的にとらえ、さらに急速凍結固定喉頭を用いて、声帯の内部構造の変化を検討した。このような研究をする目的は複雑な喉頭調節における内喉頭筋の働きを形態的な面から追

求する第一歩であり、まず基本像として内喉頭筋単独作働の場合の声門および声帯形態の変化を明らかにし、もつて内喉頭筋の機能を機能形態学的立場から研究しようとするものである。

研究対象および方法

研究材料には新鮮な犬摘出喉頭を使用した。イソゾール静脈麻酔下に成犬喉頭を速やかに摘出し、喉頭蓋および仮声帯を切除して声帯が完全に明視されうる状態にした。さらに各内喉頭筋、すなわち輪状甲状筋(前筋)、甲状披裂筋(内筋)、側輪状披裂筋(側筋)、後輪状披裂筋(後筋)および披裂筋(横筋)を損傷させることなく露出させた。なお内筋および側筋は外部より直視できないので、甲状軟骨板に長方形の開窓を行つて明視下におき、さらに両筋の間を走る反回神経内転筋枝を切除して、直接に筋のみが電気刺激されうる状態とした(図1)。

図1 内喉頭筋の露出

以上の処置を終えた喉頭（以下処置済喉頭と称する）の輪状軟骨下端部を固定台あるいは固定棒で支持固定して、一側内喉頭筋にそれぞれ単独に電気刺激を行い、その際の声門および声帯形態の変化を以下に述べる方法によつて観察した。電気刺激は日本光電製刺激装置を使用

して、双極電極をそれぞれの筋のほぼ中央部にあてがつた。刺激の条件は電圧 4～6V、頻度 30Hz、持続時間 1 msec である。

なお内喉頭筋 5 つのうち、横筋刺激では声帯形態の変化が非常に軽微であり、われわれの実験方法ではその変化を捉え難いため、実験の大部分では、これを除く残り 4 筋を対象とした。観察の方法は下記の 4 つである。

- 1) 声門上よりの観察
- 2) 声門内側よりの観察

処置済喉頭をさらに正中矢状面で切断した半截喉頭を用いて、声門内側よりその変化を観察した。

なお 1)、2) の実験では、その変化をすべて喉頭およびカメラを固定した状態で写真に記録し、声帯の位置、長さ、厚み、声帯上縁のレベルおよび声門面積のそれぞれの変化を検討した。

- 3) 凍結固定喉頭の鋳型による観察

処置済喉頭の輪状軟骨下端部をクリップ付固定棒で支持固定し、一側内喉頭筋を電気刺激したそのままの状態、 -30°C に冷却した 100% アルコール液に瞬時に浸して、急速凍結固定を行った (図 2、図は半截喉頭の場合を示す)。次いで、同冷却アルコール液に浸したまま -30°C の冷凍庫に移し、5～7 日間かけて喉頭組織の凍結置換固定を行い、その後徐々に室温にもどした。そこで固定された喉頭をアルコール液より取り出し、その内腔へ印象剤アルジェースを注入して、喉頭内腔の鋳型を作製し、特に声帯中央部の前額断鋳型像によつて声門および声帯形態の変化を検討した。

- 4) 凍結固定喉頭の組織像による観察

半截喉頭を用いて 3) と同様の実験を行い、凍結固定喉

頭より声帯中央部の前額断組織片を切り出し、パラフィン包埋大切片標本 ($10\sim 15\mu$) を作製、H. E. 染色および膠原・弾力線維染色を行つて、声帯内部の構造の変化を組織学的に検討した。なお反対側の半截喉頭は無刺激のまま同様の急速凍結固定により組織標本を作製して対照とした。

研究成績

I 声門上および内側よりみた声門および声帯形態の変化

各内喉頭筋電気刺激時における声門および声帯形態の変化をまとめて示すと写真 1 の如くである。以下具体的にそれぞれの変化について順次述べる。

- 1) 声帯位および声門面積の変化

非半截喉頭を用いて声帯位の変化についてみると、写真 1、表 1 に示す如く、前筋刺激の場合には、声帯は軽度の内側移動を行つて副正中位をとる。この場合の声帯位の変化は声帯の伸長に伴う附随的な位置移動であり、厳密には内転とは言えない。内筋および側筋刺激では、声帯は強く内転して正中線を越え過内転位をとるが、その声帯縁の形態は両筋で異なる。すなわち、内筋刺激の場合には、声帯は主として膜様部が強く内側へ膨出し、弓状の声帯縁を呈するが、軟骨部の内転は弱い。一方、側筋刺激の場合には、声帯突起部が強く内旋するため、膜様部および軟骨部はともに強く内転する。この場合、声帯縁は直線状をなし、内筋刺激の場合とは非常に対照的である。横筋刺激では主として軟骨部が内転して声帯は副正中位をとる。また後筋刺激では声帯は強く外転して外側位をとる。

次に、声門面積は声門上より撮影した写真を用いて、両声帯および両披裂部で囲まれた範囲の面積として計測検討した。その変化は表 1 に示す如くで、刺激前に対する刺激中の面積の比 (%) で表わしている。

表 1 声帯位および声門面積の変化

被刺激筋	N	声 帯 位	声 門 面 積
前 筋	11	副正中位	80% (70～94)
内 筋	8	過内転位	40% (14～58)
側 筋	6	過内転位	20% (14～32)
横 筋	3	副正中位	45% (35～59)
後 筋	15	外 側 位	248% (197～340)

(註) N：対象数

数値は一側内喉頭筋刺激時の刺激前に対する刺激中の計測値の比 (%)

冷却アルコール液 (-30°C)

図 2 急速凍結固定実験方法

まず、前筋、内筋、側筋、横筋刺激の場合には、いずれも声門面積は減少し、後筋刺激の場合のみ著しく増加する。減少をきたす4筋についてみると、側筋刺激の場合が最も声門面積の減少度が大きく(20%)、次いで内筋刺激(40%)、横筋刺激(45%)の場合の順であり、これら3筋の刺激ではいずれも50%以下に面積は減少している。前筋刺激の場合には、その減少度は最も小さく80%である。

声門面積の変化は声帯位の変化を反映するものではあるが、実際には、写真1でみられる如く、声帯縁が必ずしも直線状をなして変化しないことや、声帯膜様部と軟骨部とは声門面積の変化度が異なることなどから、声門面積の変化と声帯位の変化とは必ずしも量的な比例関係を示さない。内筋および側筋を例にとると、内筋刺激では膜様部声帯縁が弓状に膨隆するため、声門軟骨部に比して声門膜様部の方が面積の減少度は著しい。一方、側筋刺激の場合には、披裂軟骨が強く内旋するため、むしろ声門軟骨部面積の方がその減少度は小さい。

2) 声带上縁の傾斜およびレベルの変化

半截喉頭を用いて、声門内側より撮影した写真上で計測した声带上縁の傾斜およびレベルの変化を示すと表2の如くである。表中に示す角度は刺激前を水平とした場合の刺激中の傾斜角度を示す。

表2 声带上縁の傾斜およびレベルの変化

被刺激筋	N	傾斜角	傾位	声帯レベル
前筋	3	5° (5~6)	前傾位	低下
内筋	3	14° (12~15)	後傾位	低下
側筋	3	6° (5~7)	後傾位	低下
後筋	3	11° (11~13)	前傾位	上昇

註 N: 対象数

傾位: 刺激前(水平), — 刺激中

前筋刺激では声带上縁は声帯前部が低位の前傾位(5°)をとり、声帯全体は低下する。内筋刺激の場合には、声帯前部が高位の後傾位(14°)をとるが、声帯全体としては最も低下する。また側筋刺激では声帯後部が低位の後傾位(6°)をとり、声帯全体は低下する。後筋刺激では声帯後部が高位の前傾位(11°)をとり声帯全体は上昇する。声带上縁の傾斜の程度は前筋、側筋刺激では小さく、内筋、後筋刺激の場合には大きい。

また、非半截喉頭において、声帯膜様部中央の声带上縁のレベルを刺激側と非刺激側とで比較してみると、前筋、側筋刺激の場合には、刺激側のレベルは低くなり、

内筋、後筋刺激の場合には高くなる。その変化の程度は内筋、後筋刺激の場合がより顕著である。

内筋刺激の場合、声带上縁のレベルが刺激側で高くなるのは、声帯膜様部中央の著しい膨出による相対的上昇であり、声帯全体のレベルは前述の半截喉頭による観察で明らかな如く、実際には低下している。

3) 声帯の長さの変化

非半截喉頭を用いて、一側内喉頭筋を単独に電気刺激した場合の声帯の長さの変化を示すと表3の如くである。声帯の長さは前連合部より声帯突起までの距離として、声門上より撮影した写真上で計測し、その変化を刺激前に対する刺激中の声帯の長さの比(%)で表わしている。

表3 声帯の長さの変化

被刺激筋	N	声帯の長さの変化
前筋	13	右 109% (105~113)
		左 106% (103~111)
内筋	13	右 90% (76~97)
		左 93% (78~100)
側筋	5	右 102% (101~104)
		左 97% (97~100)
横筋	3	右 98% (96~99)
		左 98% (95~99)
後筋	15	右 113% (105~123)
		左 94% (89~98)

0 100 %

刺激前の声帯の長さ

■ 刺激側
□ 非刺激側

(注) N: 対象数

数値は一側内喉頭筋刺激時の刺激前に対する刺激中の計測値の比(%)

まず、刺激側声帯の長さの変化についてみると、前筋、側筋、後筋刺激の場合には、いずれも声帯は延長し、内筋、横筋刺激の場合には声帯は短縮する。声帯を延長させる3筋の中では、その延長の程度は後筋刺激の場合が最も大きく、次いで前筋刺激の場合であり、側筋刺激の場合には声帯の延長は非常に軽微である。一方、内筋刺激の場合には声帯は著しく短縮する。横筋刺激の場合の短縮は非常に軽微である。

次に、非刺激側声帯の長さの変化についてみると、前筋刺激の場合のみ声帯は延長し、他の内筋、側筋、横筋、後筋刺激の場合には声帯はいずれも短縮する。つまり、一側内喉頭筋を電気刺激すると、刺激側の声帯のみならず非刺激側の声帯の長さにも相当の変化が生じることが明らかであり、しかも、前筋、内筋および横筋刺激

表4 声帯粘膜の組織形態的变化

	声帯辺縁部の幅	声帯辺縁部の厚み	声帯辺縁部の断面積
前筋	94 %	108 %	90 %
内筋	129	92	111
側筋	81	105	72
後筋	95	91	93

(註) 数値は非刺激側(対照)に対する刺激側の計測値の比(%)

の場合には、刺激側と非刺激側声帯とがともに、前筋刺激では延長、内筋および横筋刺激では短縮と一致した変化をするのに対して、側筋および後筋刺激の場合には、刺激側と非刺激側声帯とはいずれも一致した変化を示さない。つまり、刺激側声帯は延長するのに非刺激側声帯は短縮する。この一見矛盾するが如き所見をきたす理由については考按でふれる。

4) 声帯の厚みの変化

声門上および内側の2方向から撮影した写真を用いて、声帯の厚みの変化を検討した。写真上での計測は困難であるので、ここでは外観的变化の所見について述べるにとどめる。

まず、前筋刺激では声帯は強く伸長し、その辺縁部の厚みは減少する。内筋刺激では、特に声帯膜様部において、その辺縁部は著明に厚みを増し、内側へ強く膨出する所見が特長的である。側筋刺激では声帯はやや伸長し、厚みを減じて薄くなる。後筋刺激では、声門上から見ると、声帯辺縁部は円みを帯びて、その厚みは増大するが如く観察されるが、内側より見ると、声帯の下面でその彎曲度を減じて平坦となり、厚みは減少している。横筋刺激では声帯の厚みに関してほとんど変化を認めない。

II 急速凍結固定喉頭における声門および声帯形態の変化

各内喉頭筋電気刺激時における凍結固定喉頭の声門鑄型像および組織像の変化をまとめて示すと写真2の如くである。以下に順次述べる具体的な変化は、最も定型的に固定され、人工的变化の少ない代表的な各1例について観測したものである。

1) 鑄型像よりみた変化

一側内喉頭筋電気刺激時の凍結固定喉頭より作製した声門鑄型から、声帯中央部における前額断鑄型像の変化を各内喉頭筋についてみると、前筋刺激の場合には、刺激側声帯は非刺激側声帯に比して、その辺縁部は厚みを減じてやや尖鋭化する。また声帯上縁のレベルはやや低くなるが、声帯下面から声門下腔にかけては、その形態の変化はほとんど認められない。内筋刺激では声帯辺縁部は全体的にその厚みを著しく増大し、声帯上縁のレベルはやや高くなる。これは声帯上面が強く膨出するためである。しかし声帯全体としてはそのレベルは低くなっており、声門下腔への移行部はその彎曲度が著しくなる。側筋刺激では声帯辺縁部の厚みは薄くなり、声帯上縁のレベルは低くなる。後筋刺激では声帯の辺縁部はその尖端部では厚みを増すが、声帯下面では平坦となり、厚みは減少している。声帯下部から声門下腔にかけては、その彎曲度は減少して、滑らかな移行を示す。声帯上縁のレベルは高くなる。

2) 組織像よりみた変化

急速凍結固定喉頭の声帯膜様部中央における前額断組織像は写真2に示す如くである。組織像の拡大写真を用いて、その組織形態上の変化を表4に示す如く計測検討した。表中の数値は非刺激側(対照)に対する刺激側の長さおよび面積の比(%)を表わす。

(a) 声帯辺縁部粘膜の幅の変化

声帯筋上端部のレベルで声帯辺縁部の幅の変化を見ると、前筋刺激の場合には、対照に比してわずかに減少し、内筋刺激では著しく増加している。また側筋刺激の場合には、81%と最も減少度が大きく、後筋刺激ではわ

ずかに減少している。

(b) 声帯辺縁部粘膜の厚みの変化

声帯辺縁部の最も突出した部位で上皮から声帯筋までの距離（声帯粘膜の厚みとする）の変化をみると、前筋、側筋刺激の場合にはそれぞれわずかに増加しており、内筋、後筋刺激ではそれぞれわずかに減少している。

以上の(a)、(b)の観測結果からみると、(a)で測定した声帯辺縁部粘膜の幅の変化が前章で述べた外観上の声帯の厚みの変化をよく反映していると言える。

(c) 声帯辺縁部粘膜の断面積の変化

声帯辺縁部で上皮と声帯筋の辺縁部とで囲まれた範囲（粘膜固有層に相当する）の前額断面積の変化を検討してみると、前筋、側筋および後筋刺激の場合には、いずれも断面積は減少し、内筋刺激の場合のみ著しく増加している。このような声帯粘膜の断面積の変化は声帯の外観上の厚みの変化をその傾向においてよく反映しており、しかも、その変化には粘膜固有層の形態的变化が主に関与すると考えてよい。

総括および考按

内喉頭筋は発声、呼吸、嚥下に関係した働きを有しており、特に発声には直接的に関与して喉頭の複雑な調節を行っている。内喉頭筋の機能は、一般には声門開大（後筋）、声門閉鎖（内筋、側筋、横筋）および声帯緊張（前筋）として大別分類されてはいるが、それぞれの筋の詳細な性格については、まだ完全には解明されていない。内喉頭筋の機能に関しては、その研究手段として筋電図の方法が最も有力であり、従来より多数の研究が報告されているが、最近の進んだ研究では、さらに声門閉鎖筋に関してその機能の分化が詳しく解明されつつある¹²⁴⁾。

われわれは本研究において内喉頭筋の働きを声門および声帯形態におよぼす変化という点から検討し、もつて筋の機能を機能形態的に明らかにすることを目標とした。この種の研究は従来より、摘出喉頭や生体喉頭を用いて多数の実験的研究がなされているが⁸³⁾¹¹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、それらは声門形態の変化を平面的、定性的に観察しているにとどまり、必ずしも充分とはいえない。内喉頭筋の作働によつて生じる声門形態の外観的变化、すなわち、声帯の位置、レベル、長さ、厚みの変化やさらに、声帯内部構造の組織形態的变化を明らかにすることは、前述の筋電図の研究とはまた別の立場から、内喉頭筋の性格をより深く理解し、さらに振動体としての声帯²³⁾の振動モ

ードを理解する上でも重要なことである。

そこでわれわれは人喉頭に最も類似し、しかも入手し易い犬摘出喉頭を用いて、内喉頭筋作働による声門および声帯形態の変化を立体的、定量的、さらに声帯内部構造の変化についても組織学的に検討した次第である。

1) 実験方法について

内喉頭筋の機能形態的研究を行う場合、摘出喉頭を用いるか、生体喉頭を用いるかは実験の目的によつて多少異なってくるが、われわれの実験では声帯形態の変化をより明確に観測するため摘出喉頭を用いた。また半截喉頭を用いて、声門内側から観測を行ったこと、さらに声帯の組織形態的变化をみる目的に急速凍結固定法を応用したことは従来とは異なる点である。この方法は声帯形態の reversible な変化を電気刺激中に冷却アルコール液に浸して急速に凍結し、同時に組織の置換固定をも併せ行おうとするものであるが、組織標本上でその形態の変化を観測することは必ずしも容易なことではない。つまり、組織標本作製の過程で、人工的変形が加わり得る可能性を否定しえないが、われわれは同一条件下の同一喉頭（片側）を対照として比較することによつて、できるだけ真実に近い変化を得ることに努めた。

電気刺激の条件は予備実験で近接する筋に電流滑走を起さない範囲で最も強い収縮を起させるに必要な最適有効刺激条件を検討し、4～6 V、30 Hz、1 msec と一定の条件とした。各筋の大きさや収縮力はそれぞれで異なり、最適刺激条件は必ずしも一定ではないと考えるが¹⁵⁾¹⁶⁾、われわれの実験では上記の如く一定条件下での筋の作働による変化をみることにした。電気刺激を行うに際して最も注意を払ったのは選択的に単独筋のみを刺激することであつた。問題となるのは内筋と側筋の場合であり、われわれは筋を直接明視下におくとともに、神経を切除して電流滑走を避けた。それでも両筋は相接して存在するため、両筋が誤つて同時に刺激されることがあるので、予め両筋について単独に電気刺激した場合の声帯形態の特長的变化の違いを充分確認しておいた。すなわち、内筋を刺激すると、声帯辺縁部は強く膨出して厚みを増し、声帯縁は弓状を呈して内転する。一方、側筋刺激では声帯辺縁部は薄くなり、声帯縁は直線の形態を保つて内転する。このように両筋は同じ内転筋でもその声帯形態におよぼす作用は非常に異なるので、正しく単独の筋が刺激されているかどうかを形態的な面からもチェックしながら実験を進めた。

2) 声門および声帯位の変化について

過去の喉頭筋の機能に関する研究はこの点に関して枚挙にいとまがないほどの報告を行っているが、声帯位の定義は必ずしも明確ではない。摘出喉頭によるわれわれの実験でも、筋刺激による喉頭全体の変位、他側声帯の変位、声帯形態の変化などが加わって、声帯位の判定が困難な場合が少くないが、一応ここでは従来の記載法に準じている。

竹之内¹⁵⁾は犬生体喉頭において、一側内喉頭筋支配神経枝の電気刺激を行い、その声帯運動の観察結果から、声門閉鎖筋である横筋、側筋、声帯筋はそれぞれ過内転作用があるが、単独では声門閉鎖は起りえず、同時収縮によって始めて声帯の内転と声門閉鎖が完全になると述べている。われわれの実験でも、内筋、側筋刺激では同様に声帯は正中線を越えて過内転位を示したが、横筋については、副正中位までの内転にとどまり、その内転力は前2筋に比べてはるかに弱い。同じ過内転位をとる内筋と側筋とでは、その声門像は非常に対照的であり、内筋の収縮では膜様部声帯は弓状に膨出した辺縁を呈し、軟骨部声帯の内転は弱い、側筋の収縮では膜様部声帯は直線的辺縁を呈して、軟骨部声帯の内転は強い。前筋が働くとき声帯位は副正中位に移動し、声門面積も減少するが、その作用は内転とは言い難く、声帯の伸長に伴う附随的な内側移動と考えた方がよい。⁵⁾⁶⁾

声門閉鎖筋について総括すると、内筋による過内転位は声帯形態の著明な変化を伴う内転によるものであり、側筋による過内転位は位置の変化を主とした内転によるものである。また横筋は軟骨部声門の閉鎖を主とした副正中位への内転作用を有するが、声帯形態にはほとんど影響を与えない。

3) 声帯のレベルの変化について

半截喉頭による実験で声帯レベルの変化をみると、内筋刺激で声帯は最も著明に低下し、声帯上縁の傾斜度も最も大きくなる。前筋、側筋刺激では声帯レベルはわずかに低下するのみであるが、声帯上縁の傾斜の方向は異なり、前者では前傾位、後者では後傾位をとる。本実験は摘出喉頭で輪状軟骨を固定して施行したものであるが、生体においても、その傾向としては、声帯レベルは声門閉鎖筋が働く発声時には低下し、後筋が働く呼吸時には上昇すると考えられる。

非半截喉頭によって、さらに喉頭内における相対的な声帯上縁のレベルの変化をみると、内筋を除く他3筋の場合には半截喉頭における変化とその傾向は一致するが、内筋刺激の場合には声帯上縁のレベルは高くなり、

前述の半截喉頭での観察で声帯レベルが低下するとした記載に反する。しかし、これは内筋刺激により膜様部声帯の上面が膨出して、上縁のレベルが相対的に上昇した結果であり、声帯全体のレベルそのものは実際には低下している。

4) 声帯の長さの変化について

前筋は声帯を延長させ、内筋は逆に短縮させることは衆知のことである。このように両筋には相反する働きのあることから発声時における声帯の緊張は両筋によるものであり、したがって両筋を一括して声帯緊張筋とするものもある⁷⁾。両筋が発声に重要な働きをしていることは言うまでもないが、声帯の長さの変化に関して、声門閉鎖筋である側筋、また開大筋である後筋については従来あまり触れられていない。われわれの実験では側筋はわずかに、後筋は著しく声帯を延長させる働きがある。岩村⁸⁾によれば生体犬喉頭では、後筋刺激で声帯は10%伸長、側筋刺激では7%短縮すると述べており、われわれの観測結果とは側筋において異っている。ところで声帯の長さが変化すると、当然、声帯の緊張度に影響を与えることになるから、その意味では側筋も後筋も声帯の緊張を増す筋であると言える。後筋は声門開大筋であることから、発声における関与については未だ明確ではないが、声帯の緊張に関して、前筋の声帯前方牽引に対する後筋は後方牽引の意味を有し、前筋の働きに拮抗して披裂軟骨の支持の機能を有すると考えられる。

声帯の緊張度については、喉頭筋そのものの機械的収縮性をみる実験¹⁶⁾や声門に装着した圧トランスジューサーを用いての声門圧の測定¹²⁾などの方法によって間接的に声帯の緊張度を調べるが行われている。われわれは声帯振動との関係に主眼をおいているので、声帯全体（粘膜と声帯筋）や声帯筋とは別に、声帯粘膜のみの緊張度の変化をも問題としたいが、これを直接測定することは現在のところ困難であり、声帯の長さや形態的变化からその緊張度を推定している。

ところで一側内喉頭筋を電気刺激すると非刺激側の声帯長にも影響がおよぶことを前に述べた。このことは喉頭の形態からみて予想されるところではあるが、特に側筋および後筋の場合、刺激側声帯は延長するのに非刺激側声帯は逆に短縮するという相反する所見が認められる。この理由について、側筋による短縮は非刺激側の披裂部が刺激側へ牽引され、声帯突起尖端がわずかに内方へ移動するためであり、後筋による短縮は前連合部の後方移動と披裂部が刺激側に牽引されて、声帯突起尖端が

わずかに内方移動するためであると解釈している。摘出喉頭でみられるこのような非刺激側の変化が生体喉頭でも同様に生じるかどうか問題であるが、生体喉頭は外喉頭筋や周囲組織によつて支持固定されていることを考慮すれば、その影響はより少いと考えられる。

5) 声帯の厚みの変化について

内喉頭筋の収縮によつて声帯の厚みが変化することは既に多くの記載があるが、特にこの点に焦点をしばつて検討された報告は少い。外観的には内筋刺激で声帯の厚みは著しく増大し、前筋、側筋、後筋刺激では薄くなるが、凍結固定組織像で検討してみると、内筋刺激では声帯粘膜固有層の断面積が増加しており、前筋、側筋、後筋刺激ではいずれも減少していることが分かる。これらの厚みの変化は声帯長の変化と関連があり、声帯の延長によつて断面積は減少し、短縮によつて増大している。また声帯辺縁部の厚みの計測から、内筋刺激の場合には声帯の厚みが増して両声帯の接触面は広くなり、前筋、側筋刺激では狭くなっている。これらの事実は発声時における声帯振動を理解する上で興味ある所見であり、前

筋が相対的に強く働く light register では粘膜波動や振幅が小さく、一方、内筋が相対的に強く働く heavy register では粘膜波動、振幅が大きくなる所見¹⁾²⁾が良く理解できる。また発声時の声帯振動は単に声帯の緊張度のみならず、声帯粘膜の厚みの変化、特に粘膜固有層の変化が大きく関与していると考えられる。

6) まとめ

以上の声帯の位置、レベル、厚みに関する結果を総合して、一側内喉頭筋（横筋を除く）が作働した場合の声帯膜様部中央における前額断像の模式図を描くと図3の如くなる。

最後に、内喉頭筋の機能を声門および声帯形態におよぼす作用という点から整理してみると次の通りである。

1. 声帯位の変化
副正中位……前筋、横筋
過内転位……内筋、側筋
外側位……後筋
2. 声門の広さの変化
増加……後筋
減少……側筋＞内筋＞横筋＞前筋
3. 声帯のレベルの変化
上昇……後筋
低下……内筋*＞側筋＞前筋
4. 声帯の長さの変化
延長……後筋＞前筋＞側筋
短縮……内筋＞横筋
5. 声帯の緊張度**の変化
増加……前筋、側筋、後筋
減少……内筋、（横筋）
6. 声帯の厚みの変化
増加……内筋
減少……前筋、側筋、後筋

* 喉頭内における相対的声帯上縁のレベルは高くなる。

** 声帯の緊張度は直接測定したのではなく、形態的变化を参考に推察したものである。ここで言う緊張度は声帯振動に際して重要な声帯粘膜の stiffness と考えてよい。

結 語

犬摘出喉頭を用いて、各内喉頭筋電気刺激による声門および声帯形態の変化を立体的、定量的、さらに組織形態的に検討し、それぞれの内喉頭筋の機能を機能形態的立場から明らかにした。しかし生体における内喉頭筋の

(注) 実線は刺激側、点線は非刺激側（対照）

図3 内喉頭筋収縮時の声門および声帯形態（模式図）

小池論文付図(1)

写真1 内喉頭筋単独電気刺激時の声門および声帯形態の変化
前筋 内筋

(注) 上段の写真……刺激側は右側, 下段の写真……上が刺激中, 下が刺激前(対照)

小池論文付図(2)

側筋

後筋

写真2 内喉頭筋単独電気刺激時の声帯像、声門鋸型、組織像の変化

筋内

筋前

小池論文付図(4)

後筋

側筋

(注) いずれも右側が刺激側、声帯像、鑄型、組織像は同一喉頭によるものではない

機能は単純なものではなく、協調的な複雑な調節機構によつて遂行されているものであり、今後ともさらにあらゆる方面からの研究がなされなければならない。

参考文献

- 1) 平野実：歌声の調節機構。音声言語医学，11；1，1970。
- 2) 平野実：発声中の声帯。医学のあゆみ，80；622，1972。
- 3) 平野実・小池祐一・広瀬幸矢・森尾倫弘：振動体としての声帯の構造。日耳鼻，76；1341，1973。
- 4) 広瀬肇：声門鎖筋の機能分化。日耳鼻，77；46，1974。
- 5) 広戸幾一郎・平野実・豊住頼一・進武幹：喉頭筋の機能。耳鼻臨床，57；1，1964。
- 6) 広戸幾一郎：発声機構の面からみた喉頭の病態生理。耳鼻臨床，59；229，1966。
- 7) 広戸幾一郎：喉頭の比較解剖生理。耳鼻咽喉科学（後藤敏郎監修），下巻，医学書院，1971。
- 8) 岩村忍：喉頭内筋の機能区分。音声言語医学，15；77，1974。
- 9) 小池祐一・平野実・森尾倫弘・粕谷尚男：声帯の形態と内喉頭筋。音声言語医学，14；29，1973。
- 10) *Lemere, F.*: Innervation of the larynx, I. Innervation of the laryngeal muscles. *Am. J. Anat.*, 51; 417, 1932.
- 11) *Lemere, F.*: Innervation of the larynx, III. Experimental paralysis of the laryngeal nerve. *Arch. Otolaryng.*, 18; 413, 1933.
- 12) 村上泰：後輪状披裂筋反射とその生理的意義。日耳鼻，74；1263，1971。
- 13) 長石忠三：声帯運動に関する実験的研究。耳鼻臨床，33；518，1938。
- 14) 高瀬晴朗：哺乳動物内喉頭筋及び喉頭関節の比較解剖生理学的研究。耳鼻，10（補1）；18，1964。
- 15) 竹之内智：喉頭神経刺激による声門運動に関する研究。耳鼻臨床，56；398，1963。
- 16) 牛島達次郎：喉頭筋の機械的収縮特性に関する実験的研究。日耳鼻，71；1494，1968。
- 17) *Vogel, P.H.*: The innervation of the larynx of man and the dog. *Am. J. Anat.*, 90；427，1952。

本論文の要旨は第18回日本音声言語医学会総会（1973，東京）および第16回国際音声言語医学会（1974，インターレーケン）に於て口演した。

（原稿受付 昭和50.6.19日急載）