SCHEMATICAL PRESENTATION OF VIBRATION OF PATHOLOGICAL VOCAL CORDS

YUKI KAKITA, Ph.D., MINORU HIRANO, M.D., HIROSHI KAWASAKI, M.D.,
and HIDEAKI MATSUSHITA, M.D.

Department of Otolaryngology School of Medicine, Kurume University, Kurume
(Director: M. Hirano, M.D.)

Vibratory mode of the vocal cords in seven different pathological conditions was investigated by frame-by-frame analysis of ultra high speed motion pictures. The pathological laryngeal conditions investigated were recurrent laryngeal nerve palsy, sulcus vocalis, polyp, polypoid vocal cord, amyloid tumor, epithelial hyperplasia, and carcinoma. On the basis of the data obtained movements of the vocal cord in a frontal section within one vibratory cycle in each pathological conditions were schematically presented where the vocal cord was regarded as a double layered vibrator. Furthermore, some comparisons of vibratory mode among the different conditions were studied with a special attention to the maximum amplitude and the maximum velocity of lateral excursion of the vocal cord, which are related to the mass, elasticity, viscosity, and interferences by the counterpart.

A79—1553—61020

病的声帯振動の模式的表示

久留米大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：平野 実教授）

垣田 有紀・平野 実・川崎 洋・松下 英明

I. 緒 言

我々は先に超高速撮影で記録したフィルムを分析して、振動中の正常声帯の前額断面におけるふるまいを模式的に表示した¹⁾。またその際従来の同種の試みにおいて系統的には行われていなかった、声帯の層構造を考慮するとともに、上方からの観察では見えない声帯下面の動きについては定量的な推定を行った。

前報告では正常声帯についての結果を示したが、本報告では病的な場合について、7種の例を示す。

II. 模式図作製の手がかりと手順

模式図作製のための基本的準備や、撮影画面からの測定に関しての詳細は前の報告に示したが、所見を述べる際に特に必要なものおよび、病的な場合の解析に新しく加えたものについて次に示す。

超高速映画の画面の計測に関しては、まず、フィルムスピードは約3,000フレーム/秒であって、1フレームの示す時間は0.33ms、あるいは3フレームで1msの現象を示している。次に、長さの基準としては、両仮

声帯間の長さを6mmで一定値であると仮定した。非対称な場合や、片側が視野に入っていない場合は、片側の仮声帯と正中線間の長さを3mmと仮定した。正中線は振動が非対称であっても、前連合（視野に入っていない）と両披裂軟骨声帯突起の midpoint を結ぶ線を視察によって予測して決定した。ただし、反回神経麻痺のように、披裂軟骨の位置も非対称な場合は、健側声帯縁がほぼ直線になったときの位置（代償性過内転は起っていない）とした。声帯の前額断面の基本形は、発声中の声帯のラリンゴグラム、声帯の組織学的な構造および各層の材料力学的な性質などを考慮して、等価的二層構造とし、表面をカバー、深部をボディと定義した¹⁾。

また、病的な場合が正常の場合と異なる点は、まず、変位の測定に際して一方が健側でもう一方が患側（あるいは両方が患側）であるため、左右の声帯の動きは一般に非対称であり、時間的なずれも生じるので、両側とも測定する必要がある。さらに前額断面図の作製に際しては、麻痺による組織の萎縮や、浮腫や浸潤による腫脹な

図 1 a 反回神経麻痺の例の声帯の略図と測定点

図 1 b 図 1 a に示した点の水平方向変位の時間変化

図2 前額断面での声帯振動の模式図
(反回神経麻痺, 患側左)

どを考慮して、カバーやボディの断面積を適宜増減した。それから、喉頭鏡による上方からの観測では見ることのできない声帯下面の粘膜波動の様子については、上面に観測できるものを測定して得た位置と速度を参考に、速度は一定と仮定して、計算により位置を推定した。

Ⅲ. 病的声帯の振動状態の解析と模式図

1. 反回神経麻痺の例

図1aに示す声帯上面の略図中 A～E までの記号をつけた5点について測定した水平変位の時間変化を 図1bに示す。AとEはそれぞれ健側(右)と患側(左)の粘膜波動の波頭、BとCはそれぞれ健側声帯の上唇と下唇、Dは患側の声帯縁を示す。両声帯の動きは著しく非対称で、また両声帯が完全に相い接することはない。2つの最大閉小期の間は、患側の1周期に相当し、これが基本周期であるが、健側ではその期間に2度の開閉運動を示している。患側の1周期(基本周期)は、33フレーム分となるので周期 11 ms、したがって基本周波数は約 90 Hz となる。一方、この音声の音響分析の結果では約 170 Hz の値が得られていることと、聴覚的にも 170～180 Hz 辺りの高さに聴こえることから、この例の場合、音声波の段階での基本周波数は健側の振動の方が強く反映していると考えられる。

模式図の対象として選んだのは図1bの①～⑬で示したフレームであり、これをもとに作製した模式図を図2に示す。患側のボディの断面積は筋の萎縮と収縮障害を考慮して、健側の約60%と仮定した。これは形態学的な結果より推定した。以下主な所見を記す。

i) ①は最小閉小期で、両声帯の間隙は約 0.2 mm である。健側の上唇(B)は約 0.5 m/s の速度で開大を始めたところであり②まで開大が続く。患側(D)は一時健側に近ずき、そのあと健側より約 7 ms 遅れて開大し始める。

ii) ②では健側は第1周期目の最大開大期にあって、正中からの水平変位は 0.5 mm である。このあと④まで 0.1 m/s の速度で閉小していく。患側(D)は②から③までは 0.4 m/s、③から④の次のフレームまでは 0.8 m/s で開大し、後者は最大の開大速度を示している。また③では、健側の声帯縁から 1 mm 外側に粘膜波動の波頭(A)が現われ、0.5 m/s の速度で外側に向って移動しつつ減衰し、④で消滅する。この粘膜波動の波頭の変位は、①から②の健側の変位のちょうど延長上にあることから、②で健側が折り返した際に外側へ向って生じた衝撃によって新たに発生した波と考えられる。一方これ

とは別に、のちに上面に現れる波頭の位置と速度から逆算して、両声帯の下方に、吹きあげによる粘膜波動が生じはじめていと推測される。健側では扁平上皮下端付近、患側では下方遊離縁付近に波頭がある。

iii) ④から⑦までは、健側の上唇はわずかに動いては

いるが、ほぼ正中から0.25 mmの位置で停滞している。患側では、⑤から⑥にかけて、最大開大期を示す。水平変位は約1.8 mmである。さらに④で声帯縁(D)から0.5 mm外側にわずかに粘膜波動の波頭(E)が現れる。これも③からの健側の波頭と同様に、折り返しの衝撃に

図 3 a 声帯溝症の例の声帯の略図と測定点

模式図番号 フレーム番号

図 3 b 図3aに示した点の水平方向変位の時間変化

図4 前額断面での声帯振動の模式図
(声帯溝症、患側両側)

よって生じたと考えられ、②から④までと同じ 0.8 m/s の速度で外側に移動し、⑥の一つ手前のフレームで消滅する。患側ではボディとカバーのスティフネスの差が少ないので顕著な波は起らない。一方、吹きあげによって生じた粘膜波動は上方に移動するが、健側ではまだ視野に入らず、患側では、声帯の先端に到達する。

iv) ⑥で、健側では吹きあげによる波が視野に入って、下唇(C)として認められ、 0.7 m/s の速度で正中を越えて患側に侵入する。この侵入は⑦で最大となり、正中から約 0.3 mm である。⑦から⑧にかけては、上唇は 0.3 m/s 、下唇は 0.1 m/s の速度で互いに接近し、⑧の次のフレームでは下唇は見えなくなる。⑦で健側の第

1 周期目がおわる。患側では、⑥から⑧にかけて約 0.2 m/s でやや閉小する。

v) ⑧から⑩にかけて健側は、①から②とほぼ同じような様子で、速度も等しく 0.4 m/s で開大し、⑩で第2番目の最大開大期を示す。その後⑩に向ってわずかに閉小する。患側では⑧から⑩にかけて正中より約 1.5 mm の位置でほとんど停滞しているが、⑩でもう一度わずかに外側に開大してもどる。また、⑥で両側の下側に2番目の吹きあげによる波が生じると推測される。⑩で健側停滞の先端から 0.2 mm 外側に粘膜波動の波頭(A)が現われ、 0.7 m/s で外側に向って移動し、⑪で消滅する。

vi) 健側では⑪の次のフレームから⑬の2フレームあとにかけて閉小期を示し、閉小速度は 0.3 m/s である。患側では⑪から⑬の2フレームあとにかけてやはり閉小期を示し、閉小速度は 0.8 m/s である。このあと⑬で①の状態にもどる。

2. 声帯溝症の例

超高速撮影の画面では、角度の関係で右側の溝は視野に入っていないので、左側の動きを膜様部ほぼ中央で(図3a)水平変位を測定して(図3b)、模式図を描いた(図4)。ストロボスコープによる観察では左右の動きはほぼ対称的であったので、右側は左側と対称に図示した。声帯溝症では病変の部位は扁平上皮領域のカバーの部分に限られる。なお、溝による凹みより上の凸部を上突部(図3aの点A)、下の凸部を下突部(図3aの点B)と呼ぶことにする。

i) ①は上突部の最小閉小期であるが、完全閉鎖は起こらず、正中線から約 0.25 mm 変位している。上突部は①から⑤まで、約 1.3 m/s の速度で開大し、⑤で最大開大期となる。このときの水平変位は約 2.8 mm である。一方下突部は②から認められ 0.6 m/s の速度で閉小する。②は声帯全体としての最大開大期で、その水平変位は 0.8 mm である。

ii) ⑤から⑧にかけて上突部は閉小期に入り、開大期とほぼ等しい速度で閉小する。下突部は⑥から⑦にかけて最小閉小期となり、このときも完全な閉鎖は起こらず、 0.05 mm 程度正中から変位している。⑦から⑧にかけて下突部は開大を始め、⑧で上突部にかくれて見えなくなる。

この振動の1周期は15フレームであるから 5 ms 、したがって基本周波数は 200 Hz である。

3. 声帯ポリープの例

水平変位の測定の対象としたのは、図5aのA~D点

で、患側ではポリープの外縁(A)と内縁(B)、健側では声帯縁(C)と粘膜波動の波頭(D)である。ポリープが健側におおいかぶさってCが視野に入らない場合は、ポリープの前後の視野に入る部分からその位置を推測し

た。各点の水平変位の時間変化と、それにもとづいた模式図を、それぞれ図5bと図6に示す。声帯ポリープも病変は遊離縁部のカパーのみに限られ、ポリープの部分だけ体積が増加している。この例は浮腫が主病変なので

図 5a 声帯ポリープの例の声帯の略図と測定点

模式図番号

フレーム番号

図 5b 図5aに示した点の水平方向変位の時間変化

図6 前額断面での声帯振動の模式図
(声帯ポリープ、患側右)

材質的には、外力による変形がかなり容易に起こる。

図5bからわかるように、A点とB点の間隔が、閉小期には小となり開大期には大となっている。すなわちポリープは閉小期に健側声帯と接触して押しつぶされ、開大期にはそれがもとにもどる。観察に際してはさらにその動きに伴って、押しつぶされるときは上方へ、もとにもどるときは下方へ、と首振り運動を行なう。模式図ではこれらの動きの特徴も加味してある。

i) ①は上からの視野では、ポリープの外縁(B)と健側の声帯縁が接しているように見えるが、実際は0.2 mmの間隙をのこしてはなれている。①から③からにか

けて健側声帯は呼気の吹きあげによって0.5 m/sの速度で開いていき、③から④にかけて最大開大期となり、その水平変位は0.8 mmである。③の1フレーム前から健側に現われはじめた粘膜波動の波頭は0.5 m/sの速度で外側に移動し、④の2フレーム後で消滅する。一方、患側では、おしつぶされていたポリープがもとにもどりながらわずかに下方に首をふりつつ0.3 m/sの速度で開大する。

ii) ④から⑦まで健側は開大時の1/2の速度(0.25 m/s)で閉小していく。患側では声帯(A)が閉じはじめるが、ポリープはすぐにはそれに追従できず、しだいにおしつぶされ、上方に首をふりながら声帯より少し遅れて閉小していく。

iii) ⑦～⑨まで健側声帯は、ポリープとの接触によって停滞する。患側は⑧で最小閉小期となりポリープは最もおしつぶされる。しかし患側の固有の声帯と健側声帯とは相い接しない。⑧から⑨にかけては、ポリープがおしつぶされた反動で患側声帯をおしもどす。ポリープの先端はほぼ停滞している。⑩で再び両側の開大が開始され①の状態にもどる。

この振動の1周期は23フレームであるから、約7.6 ms、したがって基本周波数は、130 Hzである。

4. ポリープ様声帯の例

上面からの声帯の略図を図7aに示す。この例では病変は両側にある。水平変位測定の対象としたのは図7aに示すA～Eの5点で、両側のポリープ様腫脹の内縁(C, D)、外縁(B, E)、と粘膜波動の波頭(A)である。各点の水平変位の時間変化と、それにもとづいた模式図を、それぞれ図7bと図8に示す。本症も病変はカバーのみに限られ、病変の部分だけ体積が増加している。浮腫性病変が主体なので材質的には変形が容易におこる。

図7bからわかるように1周期のほぼ1/2の期間にわたって両側のポリープ様腫脹部は接触しており、接触したまま同じ方向に変位する現象がみられる。さらにそれに伴ってかなりの変形を示す。病変部の外縁の動きは著明でなく、したがって声帯の変位の変化は大きくない。この例においても両声帯の固有の部分は相い接しない。粘膜波動はポリープ様腫脹の外縁よりも外側には正常の場合と同様に観測された。

i) ①から③にかけて、両側のポリープ様腫脹部は接触したまま右方へ0.1 m/sで変位していく。しかしその外縁はこれと逆にわずかに左方へ向って変位していく。したがって、右側のポリープ様腫脹部は圧縮変形をうけ、

図 7a ポリープ様声帯の例の声帯の略図と測定点

図 7b 図 7a に示した点の水平方向変位の時間変化

図 8 前額断面での声帯振動の模式図
(ポリープ様声帯、患側両側)

左側のそれは伸張する。一方、①で右側声帯のポリープ様腫脹部の外縁辺りから粘膜波動が生じ、0.3 m/s の速度で外側に向かって移動し③で消滅する。

ii) ③から⑤までは、両側のポリープ様腫脹部がはなれて声門は開大をはじめ、同時に両側とも並行に 0.15 m/s の速度で左方に移動する。圧縮されていた腫脹部はふくらみはじめ、はずみで下方に向って首をふる。⑤か

ら⑥までは声門の最大開大期である。⑥から⑦までは再び閉小しはじめる。これに伴って右側のポリープ様腫脹は左側のそれの上からおおいかぶさるように変形する。

iii) ⑦から⑨までは再び両側ポリープ様病変部が接触したままである。⑦から⑧にかけては、右側が左側にさらにおおいかぶさるが、⑧で折りかえして右側はしだいに圧縮されはじめる。⑨から⑩がほぼ最小閉小期の様相を示しており、⑩で再び①の状態にもどる。

この振動の 1 周期は 25 フレームであるから 8.3 ms、したがって基本周波数は 120 Hz である。

5. アミロイド腫瘍の例

上面からの声帯の略図を図9aに示す 左声帯に大きな腫瘍があり、振動周期全体にわたって常に右健側声帯の上面に接触している。水平変位の測定対象としたのは、図の A～D までの 4 点で、腫瘍の先端頭部内縁 (A) と外縁 (B、頭部は著明に白くなっている)、腫瘍の基部の境界 (C)、および健側の声帯縁 (D) である。点 D は常に腫瘍の下にあるため明視できないので腫瘍の前後の観測可能な部分からその位置を推定した。各点の水平変位の時間変化と、それにもとづいた振動の模式図を、それぞれ図 9b と図 10 に示す 病変は、遊離縁部のカバーに限られ有茎性で、その部分の体積が増加している。材質的にはポリープよりも硬い。

腫瘍は常時健側声帯に接触していて、声帯振動に伴って健側声帯の上面を滑りながら首ふり運動をする。

i) ①から③にかけて健側声帯は 0.5 m/s の速さで開大する。患側はそれにいくぶん引かれて腫瘍の基部が後方に移動する。同時に腫瘍は下方に首をふりはじめ、③で最も横にねた形となる。③から④は健側声帯の最大開大期で水平変位は 1 mm である。

ii) ④から⑦にかけて健側声帯は 0.3 m/s で閉小していく。患側の腫瘍はそれにおされて上方に首をもち上げながら左方に移動する。

iii) ⑦から⑨まで健側はさらに閉小を続ける。患側の腫瘍は健側に接触しておかれ、基部の方が頭部より著明に右方にもどりつつある。頭部の首ふりもまた逆に少しずつ下方に向う。⑩で①と同じ状態にもどる。この状態が最小閉小期である。

この振動の 1 周期は 19 フレームであるから 6.4 ms、したがって基本周波数は 160 Hz である。

6. 上皮肥厚性疾患の例

上面から見た声帯の略図を図11a₂に示す。この例は両側性的上皮肥厚性疾患で、肥厚した上皮は各声帯上面を

図 9a アミロイド腫瘍の例の声帯の略図と測定点

図 9b 図9aに示した点の水平方向変位の時間変化

図 10 前額断面での声帯振動の模式図
(アミロイド腫瘍、患側左)

約1mmの幅でおおっている。水平変位の測定対象としたのは、図のA～Fまでの6点で、両側の声帯縁(C, D)および上皮肥厚部の内側の境界(B, E)と外側の境界(A, F)である。各点の水平変位の時間変化と、それにもとづいた振動の模式図をそれぞれ図11bと図12に示す。病変部は遊離縁より喉頭室側の上皮で、カバーに限られる。材質的にはかなり硬く、変形はあまり起こらな

い。

振動中の声帯の動きは極めて抑制されている。図11bより最大開大期と最小閉小期の声門間隙の差が0.4mm程度しかなく、上皮肥厚部の外側の境界はほとんど変位を示さない。振動の特徴は、水面に浮んだボートのように上皮肥厚部が横ゆれを示し、吹きあげによる粘膜波動は下方から上ってきても肥厚部分に衝突して消滅する。

i) ①から④まで右側声帯縁(C)は0.05 m/sでゆるやかに開大し、左側(D)はむしろそれにほぼ並行して右側へ移動する。②で最大開大期となり、④までこの間隙を保持する。一方肥厚部は声帯縁よりも少し遅れて、④で最大開大期となる。また、①で、吹きあげによる粘膜波動が扁平上皮領域の下縁付近に発生すると考えられ、⑥でほぼ上皮肥厚部の内側に到達して消滅すると推測される。

ii) 声帯縁は④から閉小しはじめ、⑥で最小閉小期となる。完全閉鎖は起こらず、声門間隙の幅は0.1mmである。肥厚部もやはり④から閉小を示すが、少し遅れて⑦の1フレーム後で最小閉小期となる。また⑥で2番目の粘膜波動が扁平上皮領域の下縁付近に発生して上昇し⑧から⑨にかけて肥厚部に到達して消滅すると推測される。

iii) 声帯縁は⑦から、上皮肥厚部は⑧から再び開大期に入り、⑩まで開大を続ける。右側の声帯縁が⑧から観測されなくなるが、肥厚部とほぼ同時か、少し早めに開大しているのではないかと推測される。⑩で再び①の状態にもどる。

この振動の1周期は17フレームであるから5.7ms、したがって基本周波数は175Hzである。

7. 喉頭癌の例

声帯の上面からの略図を図13aに示す。右側声帯にかなり幅広く癌ができており、動きはほとんどない。水平変位の測定対象は図でA～Cの3点で、癌の内上縁(A)、癌の内下縁(B)および健側の声帯縁(C)である。各点の水平変位の時間変化と、それにもとづいた振動の模式図を、それぞれ図13bと図14に示す。

癌の部分は質量が大きいと同時に材質的にかなり硬く、さらに浸潤がボディにまで及んでいるため、変形はほとんど起らず、振動中ほとんど動かない。約0.1mm以下の変位と、その慣性によるわずかな首ふり運動を示すにすぎない。健側声帯もその影響を受けて最大水平変位が約0.3mm程度しかない。粘膜波動も、患側はもちろんのこと健側にも生じない。

図 11a 上皮肥厚性疾患の例の声帯の略図と測定点

図 11b 図11aに示した点の水平方向変位の時間変化

図 12 前額断面での声帯振動の模式図
(上皮肥厚性疾患, 患側両側)

i) ①から⑥まで健側声帯は 0.08 m/s でゆるやかに開大し, ⑥で最大開大期となる。患側では①から④にかけて, 吹きあげのために癌の部分がわずかに上方へ首をもたげるため③から癌の内縁が観測される。しかし, ④ですぐ折り返してその反動で下方に向って首をふりはじ

めるため, 下縁は⑤で見えなくなる。

ii) 健側声帯は, ⑥から⑨まで閉小期であり, 閉小速度は開大期より速く, 0.13 m/s である。患側では⑥から⑨のあいだ下方への首ふりもほぼ停止してほとんど動きを示さない。⑩で再び①の状態にもどる。

この振動の1周期は23フレームであるから, 7.7 ms , したがって基本周波数は 130 Hz である。

Ⅳ. 総括ならびに考案

前の報告¹⁾では正常声帯を対象としたが, 本報告では諸種の喉頭疾患における異常声帯振動の前額断面における模式的表示を行なった。前額断面の基本形は, 発声中の声帯のX線像, 声帯の組織学的な構造および各層の材料力学的な性質などを考慮に入れて, 等価的二層構造に近似して模式化した²⁾。声帯に発生する諸疾患の発生母地となる層がほぼ一定しているという事実³⁾から考えて, このような層構造を考慮した模式化は意義が大きい。

次に各疾患における声帯振動の特徴を, 正常声帯の場合と比較して考察する。着目する特徴量は, 声帯振動の最大振幅 d (最大水平変位幅), 最大変位速度 v , そして粘膜波動が生じる場合はその速度である。まず, 正常および各疾患における d と v の関係を図15に示す。横軸と縦軸はそれぞれ d と v の対数で目盛ってある。理論的な考察の結果, d や v の大きさは, 振動体の材質に関係することがわかった。すなわち, 石坂⁴⁾による声帯振動の1自由度モデルの運動方程式から d と v を表わす式を導き, 偏微分によって, 質量, 弾性, 粘性などの変化が d や v に及ぼす影響を調べた結果, d も v も, 弾性や粘性の増加によって減少し, 質量や体積速度の増加によって増加する。また図の概略の傾向では, d と v がほぼ比例していることがわかるが, この比例関係からのずれの分は, 基本周波数と波形の違いから生じるものなので, ここでは言及しない。

図15の示す結果の所見を述べる前に, すでに得られている声帯の組織学的所見⁵⁾から種々の病変の場合の質量と総合的に判断したみかけの硬さ(粘弾性に等価で, 硬さの程度が増加するときは, 粘性も弾性もともに増加するとみなす。)に着目してここに取り上げた症例および正常を比較すると, 次のような大小関係が得られる。

質量: ポリープ

ポリープ様声帯
アミロイド腫瘍
上皮肥厚性疾患
喉頭癌

> 正常 > 反回神経麻痺
声帯溝症

図 13 a 喉頭癌の例の声帯の略図と測定点

図 13 b 図13 a に示した点の水平方向変位の時間変化

図 14 前額断面での声帯振動の模式図 (喉頭癌、患側右)

組織の硬さ:

喉頭癌 > 上皮肥厚性疾患 > アミロイド腫瘍 > 正常 > 反回神経麻痺 (完全麻痺) > ポリープ > ポリープ様声帯

また、本論文に示した例において反対側の声帯による妨害の程度を示すと次のようである。

反対側による妨害の程度:

ポリープ 反回神経麻痺
ポリープ様声帯 > 正常 > 声帯溝症
アミロイド腫瘍 上皮肥厚性疾患
喉頭癌

図 15 正常および各疾患における声帯振動の最大振幅と最大変位速度の関係

以上の結果を図15の結果にあてはめると、まず、正常および病変が片側性の例の健側(喉頭癌の例を除く)のグループがほぼまとまっていて、dの値では少しばらつきがあるが、vの値は0.4—0.5 m/sでほぼ一定である。反回神経麻痺では、質量、硬さ共に小さく、正常および健側群よりd、vともに大きい。前述の理論的結果にあてはめると、この結果は、硬さの減少の方が質量の減少よりも影響が大きいことを示す。声帯溝症は、質量は正常より小さく、溝の部分の硬さは正常より大きいにもかかわらず、図15でvは正常よりわずかに大きい。これはdの測定に際しては溝の底部でなく溝の上下縁の動きを追跡しているため、溝の底部の硬さの増大の影響よりも、振動部分の正常に近い硬さの効果の方が表われていると考えられる。ポリープ、ポリープ様声帯、アミロイド腫瘍などの材質的に比較的軟かい病変の例においては、硬さと質量のいずれに着目しても正常よりd、vともに大きくなると考えられる。しかしながらこの3例では、いずれも反対側による妨害が大きいためd、vともに抑制されており、図15にみられるごとく結果的には、特にvに関して正常より小さい群となっている。上皮肥厚性疾患や癌のような材質的に硬い疾患の例ではd、vともに著しく小さくなっている。以上のようにd、vは振動体の質量、硬さ、他側からの妨害の程度によってほぼ規定され、影響の程度は、硬さによるものは質量によるものより大きく、他側からの妨害によるものはさらに

大きい。ただし癌の例の健側だけは例外で、病変がないにもかかわらず d , v が顕著に小さい。これは、力んだ音声から推察すると、癌のため発声が困難な状況下でどうにかして声帯振動を起こさせようとするために、健側声帯が異常に緊張しているためではないかと考えられる。このように最大振幅と最大速度の値は、病変による声帯の材質の変化のちがいをよく反映しており、特に最大速度にこれがよく表われている。

一方、粘膜波動の速度は、波動が発生する場合は正常、疾患にかかわらず 0.5 m/s 前後の一定の値が得られた。ただし癌では、健側、患側ともに粘膜波動を全く起こさない。したがって粘膜波動はその速度よりもむしろ発生するかしないかが重要な特徴と考えられる。

以上のような結果は、病的声帯各層の等価的な質量や粘弾性定数を推定する手がかりにもなると考えられ、声帯の材料的性質の病的な変化を察知する上に有用である。また本研究における模式化は、病的声帯の振動異常のモデル的な説明や、振動のシミュレーションなどを行う際にきわめて有用である。

V. 結 語

7種の喉頭疾患における声帯の振動状態を超高速度映画によって撮影し、そのフィルムの画面を解析した結果をもとに、組織学的所見をも参考にして、声帯を2層構造に近似した前額断面での振動の模式図を作成した。また、声帯の最大振幅と最大変位速度、粘膜波動の速度の値の差異が、少なくとも現象的に、それぞれの疾患の特徴をよくあらわしていることを示した。

参 考 文 献

- 1) 垣田有紀他：声帯の層構造を考慮した振動状態の模式的表示——正常声帯の場合。日耳鼻，79；1333-1340，1976（昭51）。
- 2) 平野 実：音声外科の基礎と臨床。耳鼻，21，補1，239～440，1975（昭50）。
- 3) 石坂謙三：声帯の振動に関する研究。東北大学博士学位論文，88～89，1972（昭47）。

（原稿受付 昭和51. 6. 1日）