In vivo におけるヒト気管の物性

千葉大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：金子敏郎教授）

広岡明美

MECHANICAL PROPERTIES OF THE HUMAN TRACHEA IN VIVO

AKEMI HIROOKA, M.D.

Department of Otolaryngology, School of Medicine, Chiba University, Chiba

In the field of head and neck surgery, it is important to know the resectable length of the trachea in order to perform cricohyoidpexia or end to end anastomosis of the trachea successfully. The resectable length depends closely upon extensibility of the trachea. 'Extensibility' also depends upon its elasticity. As previously reported by Yahara, evaluation of "Yerzley's Resilience" of the resected canine trachea could well express its elasticity.

In the present study, a clinical investigation was performed for assessing "Yerzley's Resilience" of the human trachea in vivo using the same manner as Yahara's. A single rectangular mechanical impulse was given to the human trachea. Then, the vibration pattern of the trachea was recorded by ultrasonic pulse variant M-mode display. Resilience values were estimated by assessing the freely decrementing vibration curve described above using a given formula. Twenty-one men and 15 women ranging in age from 13 to 78 were investigated in the ordinary supine position at first and, then, in the extended neck position. In addition, the relationship between elasticity of the trachea and the neck extensibility was investigated.

The results were as follows ;

1. Resilience values of the trachea become higher in proportion to the age when examined in the ordinary supine position.
2. No positive relationship was obtained between aging and resilience values in the extended neck position.
3. In persons above the age of 40, resilience values of the trachea in the ordinary supine position were lower if the neck extensibility was good, while higher if it was not.
4. In persons below 39, resilience values were low regardless of the neck extensibility.

In conclusion, the results suggest that "Yerzley's Resilience" of the human trachea in vivo can also well express the elasticity of the trachea.

Key words: 気管弾性, 加齢, 超音波パルス法, Yerzley Resilience

A91-0262-71022

I はじめに

近年気道領域疾患, 特に悪性腫瘍に対する外科的治療, 交通外傷における気管断裂の手術等, 気管吻合術を行う機会が増加してきている^{1)~9)}。耳鼻咽喉科領域

においても喉頭, 頸部の悪性腫瘍の手術を中心に気管吻合術の重要性は増加している。気管吻合術の成否は気管の伸展率に左右され, 特に喉頭全摘出術後の音声再建術における気管挙上や, 悪性甲状腺腫における気

管部分切除後の端々吻合等縫合部位に強い張力のかかる術式では、伸展率の小さい気管は過伸展から縫合不全に陥り易い。気管の伸展率には加齢による変化や個体差があり、縫合不全を防ぐためにこれらの研究が必要となってくる。気管の性質に関する研究は数多く見られるが、その中で気管の長軸方向の弾性に関する検索は少なく、中でも術前に in vivo で気管の伸展率を予測し得る方法の報告はない。

当教室では1964年、声帯運動を観察する目的で超音波パルス法による Ultrasonoglogtography を開発¹⁰⁾¹¹⁾、その後より微細な声帯振動を観察し得る超音波パルス法 M-mode 変法をとり入れて、主として声帯の物性、特に共振特性に関する研究を行ってきた¹²⁾¹⁸⁾。

当教室の矢原はこの装置を応用し、犬摘出気管を用いて気管弾性に関する基礎的研究を行い、気管弾性を in vivo で測定できる可能性を示した¹⁹⁾。この方法は、被検者に疼痛、放射線被爆等の侵襲を与えない利点を有し、本法により気管弾性を測定できれば、気管吻合術の成否を論ずる際の有力な目安となり得る。今回矢原の行った実験法を踏襲して、in vivo におけるヒト気管の弾性を、主として加齢による変化という観点から研究し、若干の文献的考察を加えて報告する。

II 測定方法

II-1 原理

気管の弾性を調べるには、気管の伸展率と負荷される張力の大きさの関係を調べなければならないが、これを生体内の気管に対して非観血的に行うことは不可能である。このため、それに代わる手段として、気管弾性を in vivo で測定し得る Yerzley Resilience を用いる。

物体に外力を加えると、物体内の任意の断面においてその両側に、外力に応じて互いに逆向きの等しい大きさの力が生ずる。これが応力であり、応力に応じて物体に歪が生ずる。この際、外力を除くと同時に歪が消失する性質を弾性という。一方、運動流体中に任意の面を考えた時、両面の隣合った流体の部分が異なる速度で流れている場合には、速度差をなくして一様にするような向きの接線応力がこの面に働く。この性質を粘性といい、応力と歪の関係が時間とともに変化する²⁰⁾²¹⁾。

弾性体において応力が歪に比例し、粘性的性質を含まないものを理想弾性体という。これに対し、応力が歪と歪速度の両方に依存し、粘性的性質を含むものを

粘弾性体という²⁰⁾。理想弾性体においては、自由振動は永久に続くと考えられるが、実際の固体では固体内部に生ずる摩擦のため振動は減衰する。これは一種の粘性と考えられる。

粘弾性体に衝撃を与えると、応力も歪も同振動数の正弦波状に変化するが、両者の間に位相のずれが生ずるため、与えられた力学的エネルギーの一部が熱となって消費される。この際の応力と歪の比を複素弾性率 E^* とすると、

$$E^* = \sigma / \epsilon = E' + iE''$$

σ : 応力 ϵ : 歪

E' : 動的弾性率 E'' : 動的損失 $= \eta \omega$

η : 動的粘性 ω : 角周波数

となる²²⁾。動的粘弾性において応力を歪と同位相の成分と、それより90°進んでいる成分に分解し、前者を歪の振幅で除したものが動的弾性率であり、粘弾性体の弾性程度を表す²⁰⁾²³⁾。

気管に単一の刺激を与えると、気管は減衰振動を起こす。この振動波形より弾性率を求める方法が Yerzley Resilience である。

Yerzley Resilience は粘弾性体の動的弾性率を示し、変形のエネルギーに対する回復のエネルギーの占有する割合を%で表す。

Yerzley Resilience は、自由振動減衰曲線より次のように求められる(図1)²⁴⁾²⁵⁾。

II-2 装置および測定方法

図2に Block Diagram を示す。装置は励振系と測定系に大別される。測定系は超音波パルス法 M-mode 変法を用いた。これは M-mode 法では捉えられない声帯の微細な振動を観察するために当教室で開発されたもので、エコーの高さの変化を電位に変換し、波形として表す(図2)。

a. 励振系

電気刺激装置 (SEN-3201) を用いて duration 0.5msec の単発矩形波を発振させ、出力アンプ (MIMY-AM30) にて増幅し、Wilcoxon 社製インピーダンスヘッド内蔵加振器 (F3Z-602W) を駆動させ、これを気管直上皮膚に当てる。

Yerzley Resilience

$$= \left(\frac{CD}{BC} + \frac{DE}{CD} \right) \times 50 (\%)$$

図1 Yerzley Resilience 値

図2 装置のBlock Diagram

b. 測定系

超音波探触子(2.25MHz, 直径10mm ϕ)を加振器を当てた位置より1cm下方の気管直上皮膚に当て、周波数1万Hz繰り返し発振器内臓超音波パルス送受信器(USI-19W)を用い、A-modeとして気管内壁エコーを検出する。Echo selector(SSZ-43W)でエコーを捉え、その高さを電位に変換し、oscilloscope(VC-10)でモニターする。これをdata recorder(MP-10)に記録し、日本光電製Mini computer(ATAC-450)を用いX-Y plotter振動曲線を記録する。得られた減衰曲線よりResilience値を計測する。

III ヒト気管弾性の測定

矢原の行った犬摘出気管による基礎実験に基づき、in vivo におけるヒト気管の弾性を測定した。

III-1 対象および測定方法

13-78歳の男女計36人を対象とした。年齢層別には0-19歳が13人、20-39歳が8人、40-59歳が8人、60歳-が7人である。

被検者は仰臥位をとり、頸部自然位および伸展位(頸部を最大後屈した位置)とし、単発矩形波による衝撃波を気管に与えて気管壁の振動を記録した。得られた振動波形よりYerzley Resilience値を求めた。

また、頸部の易伸展性を調べるために、対象のすべてについて頸部自然位と伸展位における頸軸とOM-lineのなす角度を測定し、両者の差、すなわち自然位から伸展位まで伸ばした際の頸部の角度の変化を頸部伸展角度とした(図3)。

III-2 成績

単発矩形波の衝撃により気管壁に減衰振動が生じ、

頸部伸展角度 = b - a

図3 頸部伸展角度

$$\text{Yerzley Resilience 値} = \left(-\frac{CD}{BC} + \frac{DE}{CD} \right) \times 50 (\%)$$

図4 振動曲線とYerzley Resilience値

記録された振動波形よりYerzley Resilience値を求めた(図4)。

i) Yerzley Resilience値の加齢による変化

各年齢層における代表的な振動波形を頸部自然位と伸展位に分けて示した(図5)。自然位では若年者程減衰率が大きく、伸展位と異なる波形を示すが、年齢増加に伴い自然位の減衰率が小さくなり、伸展位との波形の違いが見られなくなっていく様子がみられる。

この波形より各々のYerzley Resilience値を求め、年齢層別にグラフに示した(図6)。Yerzley Resilience値はすべての年齢層において自然位で低値を、

図5 年齢変化に伴う振動波形の変化

図6 年齢層別 Yezley Resilience 値

伸展位で高値を示したが、この傾向は若年者で著しく、年齢増加に従い両者の差が小さくなった。平均値を求めると、自然位では0-19歳で71.3%、20-39歳で72.5%、40-59歳で75.0%、60歳-で77.4%であり、伸展位では0-19歳で82.1%、20-30歳で81.4%、40-59歳で

表1 年齢層別 Yezley Resilience 値および Resilience 比平均値

年 令		自然位 Yezley Resilience 値 [a] mean $\pm$ S.D.	伸展位 Yezley Resilience 値 [b] mean $\pm$ S.D.	Resilience 比 [b/a] mean $\pm$ S.D.
0~19才	13人	71.3 $\pm$ 3.7	82.1 $\pm$ 3.5	1.15 $\pm$ 0.08
20~39才	8人	72.5 $\pm$ 2.5	81.4 $\pm$ 4.4	1.12 $\pm$ 0.05
40~59才	8人	75.0 $\pm$ 3.1	81.2 $\pm$ 5.3	1.08 $\pm$ 0.06
60才~	7人	77.4 $\pm$ 3.8	80.7 $\pm$ 2.4	1.04 $\pm$ 0.04

図7 加齢による Yezley Resilience 値の変化

図8 加齢による Resilience 比の変化

81.2%、60歳-で80.7%であった(表1)。

自然位においては年齢が増加するに従い Yezley Resilience 値は増加するが、伸展位においては加齢に

よる大きな変化はみられなかった。このため自然位と伸展位の Yerzley Resilience 値の差は若年者ほど大きく、加齢により小さくなる傾向を示す(図7)。自然位と伸展位の Yerzley Resilience 値に有意差があるか調べるために、求めた平均値を有意水準5%でt-検定すると、0-19歳、20-39歳、40-59歳では有意差があるが、60歳-では有意差がなかった。この傾向を明確に示すために、伸展位 Yerzley Resilience 値を自然位 Yerzley Resilience 値で除したものを Resilience 比とした。

各年齢層の Resilience 比は0-19歳で、1.15、20-39歳で1.12、40-59歳で1.08、60歳-では1.04となり、年齢が増加する程減少する傾向を示した(図8)。この年齢層別 Resilience 比を有意水準5%でt-検定すると、隣接する年齢層すなわち0-19歳と20-39歳、29-39歳と40-59歳、40-59歳と60歳-の間には有意差が認められなかったが、より離れた年齢層の間、すなわち0-19歳と40-59歳、20-39歳と60歳-の間には、それぞれ有意差が認められた。

ii) 頸部伸展角度による Yerzley Resilience 値の変化

全例を39歳以下と40歳以上に分け、各々を頸部伸展角度により3つに分類した。各々について Yerzley Resilience 値の平均値を求め、その加齢による変化を調べた。

A群: 頸部伸展角度20-29°, すなわち頸部の伸展しにくい群。

B群: 頸部伸展角度30-39°, すなわち頸部の伸展し易さが中等度の群。

C群: 頸部伸展角度40°-, すなわち頸部の伸展し易い群。

以上の3群に分類し、39歳以下と40歳以上について比較した。

表2 頸部伸展角度別 Yerzley Resilience 値および Resilience 比平均値

年 令	頸 部 伸 展 角 度		自然位 Yerzley Resilience 値 (%) [a] mean ± S. D.	伸展位 Yerzley Resilience 値 (%) [b] mean ± S. D.	Resilience 比 [b / a] mean ± S. D.
～39才	20～29°	3人	72.0 ± 4.1	80.4 ± 2.1	1.12 ± 0.05
	30～39°	7人	72.5 ± 1.4	81.8 ± 2.3	1.13 ± 0.02
	40°～	11人	71.2 ± 4.0	82.3 ± 4.9	1.16 ± 0.09
40才～	20～29°	5人	79.7 ± 2.6	81.7 ± 1.9	1.03 ± 0.02
	30～39°	6人	74.7 ± 1.1	80.2 ± 3.4	1.07 ± 0.04
	40°～	4人	73.8 ± 3.7	81.2 ± 4.9	1.10 ± 0.06

図9 頸部伸展角度による Yerzley Resilience 値の変化

39歳以下ではA群が3人、B群が7人、C群が11人、40歳以上ではA群が5人、B群が6人、C群が4人であり、やはり39歳以下では頸部の伸展し易い例が多く、これと比較すれば、40歳以上では頸部の伸展しにくい例の占める割合が大きくなっている。しかし頸部の伸展し易い群に40歳以上が4人も含まれ、しかもその中の1人は61歳であり、個人差を考慮にいれなければならないと考えられる。

自然位 Yerzley Resilience 値は、39歳以下ではA群が72.0%、B群が72.5%、C群が71.2%、40歳以上ではA群が79.7%、B群が74.7%、C群が73.8%であった。一方伸展位 Yerzley Resilience 値は、39歳以下ではA群が80.4%、B群が81.8%、C群が82.3%、40歳以上ではA群が81.7%、B群が80.2%、C群が81.2%であった(表2)。

39歳以下では3つの群の間に明らかな差は見られず、3群とも自然位 Yerzley Resilience 値は低値を示し、伸展位との差は大きく、頸部伸展角度の違いによる影響は見られなかった。一方40歳以上では、A群では自然位 Yerzley Resilience 値は高値を示し、伸展位との差は小さく、C群では自然位 Yerzley Resilience 値は低値を示し、伸展位との差は大きく、39歳以下と近い値を示した。B群では両者の中間の値を示した(図9)。自然位 Yerzley Resilience 値を有意水準5%でt-検定すると、A群、B群では39歳以下と40歳以上の間に有意差があり、C群では両者に有意差がなかった。

39歳以下と40歳以上をさらに群しく比較するため、i)と同様に Resilience 比を求めると、39歳以下ではA群が1.12、B群が1.13、C群が1.16、40歳以上ではA群が1.03、B群が1.07、C群が1.10となった。図10のように39歳以下でも40歳以上でもA群からB群、C

図10 頸部伸展角度による Resilience 比の変化

表3 Yerzley Resilience 値および Resilience 比の男女差

		自然位 Yerzley Resilience 値 (%) [a] mean ± S. D.	伸展位 Yerzley Resilience 値 (%) [b] mean ± S. D.	Resilience 比 [b/a] mean ± S. D.
男性	21人	74.0 ± 4.1	81.1 ± 3.4	1.10 ± 0.06
女性	15人	73.0 ± 3.8	82.0 ± 3.8	1.13 ± 0.09

群と頸部伸展角度が増大するに従って Resilience 比が大きくなるように見えるが、A群とC群の間には有意水準5%のt-検定で、39歳以下では有意差がなく、40歳以上では有意差が存在し、やはり39歳以下では3つの群の間に差が少ないことが明らかになった。さらに同じ群における年齢差を同様に有意水準5%でt-検定すると、A群、B群では39歳以下と40歳以上に有意差があり、C群では39歳以下と40歳以上に有意差がなかった。

iii) Yerzley Resilience 値の男女差について

男女別に見ると、男性21人、女性15人で、自然位 Yerzley Resilience 値は男性が74.0%、女性が73.0%、伸展位 Yerzley Resilience 値は男性が81.1%、女性が82.0%であった。i), ii)と同様に Resilience 比を求めると、男性が1.10、女性が1.13であった(表3)。各値の男女差を有意水準5%でt-検定すると、自然位および伸展位 Yerzley Resilience 値、Resilience 比とも、有意差はみられなかった。

IV 考 察

気管の弾性は、主として粘膜固有層および繊維軟骨

図11 Resilience

層に含まれる弾性繊維による^{26)~28)}。弾性繊維は25歳位から老化が始まり、アミノ酸構成の変化やカルシウムの増加により繊維の断裂がおこり、組織の弾性が低下する²⁹⁾。矢原は喉頭癌手術時に切除した30歳台、50歳台、70歳台の気管壁の Weigert 染色標本を示し、弾性繊維の加齢による減少傾向を示した¹⁹⁾。Burton によれば、コラーゲンのヤング率は 1×10^9 dynes/cm, エラスチンのヤング率は 3×10^6 dynes/cm であり³⁰⁾、組織中のエラスチンの減少により組織のヤング率は上昇し、硬化する。

本研究に用いた超音波探触子は直径が $10\text{mm}\phi$ であるため、気管軟骨輪と軟骨輪間の気管輪状靱帯を合わせた振動を捉えているが、実際には気管の伸展率、軟骨輪間の弾性が大きな影響をもつ。

川上は、加齢によるヒト気管の延長について言及し、軟骨輪の幅は成人後変化しないが、軟骨輪間の幅は、15-29歳で 706μ であったものが、60-80歳では $1,173\mu$ に増加していると述べている³¹⁾。これは気管が弾性を失ったための変化と考えられる。

Yerzley Resilience は本来ゴムの弾性の測定法であり³²⁾、先に述べたごとく、粘弾性体の動的弾性率を、その自由振動減衰曲線より求めるものである。

Resilience とは弾性エネルギーのことであり、変形に対する復元のエネルギーを表す。これは次式で表される(図11)³³⁾。

これより前述の成績について考察する。

i) 自然位 Yerzley Resilience 値

気管は肺や喉頭との連続性、食道や甲状腺、その他の周囲臓器との結合により、頸部自然位においてもいくらかの張力を受けている。しかし計測時は仰臥位をとっているため重力の影響も少なく、また頸部伸展の影響もないため、自然位 Yerzley Resilience 値は、ほぼヤング率(E)に比例するものと考えられる。すなわち高齢者の Resilience 値が高いことは気管の硬化を示

すものと解釈できる。

ii) 伸展位 Yerzley Resilience 値

頸部を自然位から伸展位に変化させると、気管は、加齢による変化や個人差はあるが、平均 16.0mm(全長の13.7%)延長すると言われている³⁴⁾。頸部伸展により気管が $\Delta \ell$ だけ伸展すると $(\Delta \ell / \ell)^2$ の増加により伸展位 Yerzley Resilience 値は自然位より高値となる。また伸展位における気管の伸展率は、加齢により減少すると考えられるので、自然位 Yerzley Resilience 値のように、加齢による大きな変化が出現しないことも理にかなった結果と思われる。すなわち伸展位 Yerzley Resilience 値は E と $\Delta \ell$ の両方の影響を受けている。

iii) Resilience 比

自然位の Resilience および $\Delta \ell$ を $R_n, \Delta \ell_n$ とし、伸展位を同様に $R_e, \Delta \ell_e$ とすると、

$$R_n = \frac{E}{2} \left(\frac{\Delta \ell_n}{\ell} \right)^2, \quad R_e = \frac{E}{2} \left(\frac{\Delta \ell_e}{\ell} \right)^2$$

となる。

個々の気管に関してはヤング率(E)は同じであるから、伸展位 Yerzley Resilience 値を自然位 Yerzley Resilience 値で除した Resilience 比は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \text{Resilience 比} &= \frac{R_e}{R_n} = \frac{E}{2} \left(\frac{\Delta \ell_e}{\ell} \right)^2 \bigg/ \frac{E}{2} \left(\frac{\Delta \ell_n}{\ell} \right)^2 \\ &= \left(\frac{\Delta \ell_e}{\Delta \ell_n} \right)^2 \end{aligned}$$

従って Resilience 比は E の影響を受けず、気管の伸び率の二乗に比例すると考えられる。

iv) Yerzley Resilience 値の加齢による変化

自然位 Yerzley Resilience 値は若年者では低値を、高齢者ほど高値を示している。これは i) で述べたように、自然位では Resilience 値がヤング率に比例するため、気管の柔軟な、すなわちヤング率の小さい若年者では低値を示し、気管の硬化の進んだ、すなわちヤング率の大きい高齢者では高値を示したと考えられる。

一方伸展位 Yerzley Resilience 値は、若年者では自然位との差が大きく、高齢者では差が小さい。これは若年者では気管伸展率が大きいため、自然位と伸展位の $\Delta \ell$ の差が大きく、これと反対に、高齢者では伸展率が小さく、自然位と伸展位の $\Delta \ell$ の差が小さいためと考えられる。これより Resilience は、若年者で大きく、高齢者で小さくなる。

v) 頸部伸展角度による比較

頸部伸展角度により分類した 3 群を各々比較する

と、若年者では頸部伸展角度の大小にかかわらず、Yerzley Resilience 値は自然位で低く伸展位で高く、Resilience 比は大であった。一方高齢者では、頸部伸展角度の小さい群では Yerzley Resilience 値が自然位においても高く、Resilience 比が小さく、若年者との間に明らかな違いが見られたが、頸部伸展角度の大きい群では自然位 Yerzley Resilience 値が低く、Resilience 比が大きく、むしろ若年者に近い傾向が見られた。これより若年者では、頸部の伸展しにくい群においても気管は柔軟で、必ずしも気管の伸展率が頸部の伸展し易さと比例しないが、高齢者では、頸部の伸展しにくい群では気管の硬化が進み、伸びにくい状態であり、一方頸部の伸展し易い群では気管の硬化がそれ程進んでおらず、比較的気管の伸展率も大きいことが推察される。

vi) 男女差について

気管の硬化度、伸展率とも本研究に関する限り、男性と女性の間で差はないことが推察された。

vii) 気管の弾性および伸展率

気管の縫合不全を防止する目的で、今日まで多くの症例や研究が報告されてきた。臨床的には気管の切除可能範囲の検索や、切除可能範囲を増加させるための術式等の工夫に関する報告が見られる。縫合不全を起こさない切除可能範囲は文献により多少異なるが、だいたい 2-5cm 位という意見が多い^{35)~38)}。また切除可能範囲を増加させるため、縫合部位にかかる負荷を減少させることを目的として気管食道剝離、舌骨上筋切離その他の操作を加える工夫がなされている³⁹⁾⁴⁰⁾。金子はこの際に軽減される負荷の計測を行い、気管挙上に要する力は無操作では 1cm 挙上に 900g、2cm 挙上に 2,000 g 以上であるが、気管剝離により 1cm 挙上は 500g、2cm 挙上は 2,000 g、さらに甲状腺処理を加えることにより、1cm 挙上は 180g、2cm 挙上は 300g にまで軽減されると報告している³⁹⁾。さらに林崎は各術式において実際に気管にかかる張力について言及している⁴¹⁾。また加藤は術前に fiberscopy で切除を要する範囲と位置を確認することにより良好な成績を得たと報告している³⁵⁾。

しかしこれらの技術を有効に用いるためには、さらに多くの基礎的研究を必要とする。気管の弾性はもちろんのこと、血行、内圧の問題等、多方面にわたる研究がなされてきた^{42)~53)}。

Cantrell (1961) は、犬気管を用いて縫合部にかかる張力と血管吻合の関係を調べ、張力が 1,700 g より少な

ければ気管縫合部の血管が吻合する可能性があると述べている⁴²⁾。前田(1974)は、仔犬の気管切除による吻合部張力と術後経過の関係を報告している⁴³⁾⁴⁴⁾。山口(1981)は犬を使用した実験により、気管端々吻合時の適切な縫合間隔は3-4mmで、気道圧が25cmH₂O以上にならない方が良いと報告している⁴⁵⁾。Coburn(1972)およびWinter(1982)は、両端を閉鎖した犬摘出気管を用いて気管内圧と容積の関係、換言すれば主として気管の環状方向の弾性を研究している。Coburnは気管内に生食水を注入し、内圧と容積の経時変化を観察、また迷走神経刺激による膜様部平滑筋の影響についても言及している⁴⁶⁾。Winterは同様の実験を空気を注入して行っている⁴⁷⁾。

気管の長軸方向の弾性を扱った研究としては、Harris(1959)および道鉢(1965)が屍体摘出気管を用いてヒト気管弾性の年齢変化を調べ⁴⁸⁾⁴⁹⁾、Olsen(1967)がネコの気管弾性を、また前田(1980)が犬の気管弾性を研究し⁵⁰⁾、Meyers(1980)はヒトと犬の気管弾性を比較している。前田は10匹の犬の摘出気管を用い、気管の最大伸展率は0.36であり、ヒト気管長を約11cmとすると切除可能範囲は、3.3cmであると述べている。また張力が750g以上になると、張力負荷にもかかわらず気管は伸展しなくなることを、気管がフックの法則に従うのは張力80g以下であること等を報告している³⁶⁾。Meyersは、気管に張力を負荷した場合の弾性はヒトが犬よりも大であると述べている⁵¹⁾。

矢原は、本研究と同様の方法で犬摘出気管を用いた実験を行い、張力負荷と伸展率の関係および新鮮摘出気管とホルマリン固定による人工硬化モデルを用いた気管硬化の実験成績を報告した。ここで今回の成績を、同じ装置および方法を用いた矢原の犬気管の成績と比較してみる。

矢原の実験では、犬摘出気管に0g-1,000gの張力を負荷してResilience値および伸展率を測定した後、同気管をホルマリン固定して人工硬化モデルとし、同様の測定を行った。図12、13のごとく、新鮮摘出気管では張力負荷により無負荷から300gまではResilience値およびResilience比が著明な増大傾向を示し、以後1,000gまでゆるやかな増大を示した。一方ホルマリン固定後の気管では、無負荷時のResilience値が新鮮摘出気管より高く、張力が増加してもあまり増大しなかった。これをヒト気管の場合と対比して見ると、ヒトにおける頸部自然位および伸展位は、各々犬における無負荷時と張力負荷時に相当し、ヒト気管の加齢によ

図12 犬摘出気管の張力と Resilience 値との関係

図13 犬摘出気管の Resilience 比と伸展率の関係 (新鮮例とホルマリン固定後)

る変化は、犬における新鮮摘出気管とホルマリン固定気管との関係と類似の相関関係を示した。このことより、ヒト気管の加齢による硬化は伸展率低下の一因となること、および高齢者でも頸部の伸展し易い例では伸展しにくい例と比べ、気管の硬化が進んでいないことが考えられる。一方犬気管の実験で、張力と Resilience 比の関係は張力-伸展率曲線とよく対応し、気管伸展率と Resilience 比はほぼ比例関係にあることが示された。ヒト気管に対する本研究は、in vivo であるため伸展率を計測することは不可能であるが、気管伸展率と Resilience 比の間に、犬気管における結果と同様の関係があることが予想される。

次に今回の成績を、同じヒト気管弾性を研究した

Harris および道鉢の成績と比較する。Harris は、0-88歳の51例の屍体（新生児20例，成人30例）より摘出した気管に張力を負荷して気管の伸展度を測定し，気管の最大伸展率は満期出産児では46%，高齢者では15-20%で，10歳の加齢毎に約3%減少すると述べている。

道鉢の成績では，50例の平均気管伸展率が24.3%で，このうち10歳台が41.6%，60歳台が17.2%となっており，ほぼ Harris の成績と一致している。

本研究の成績も，気管の伸展率を表す Resilience 比が，加齢によりほぼ直線的に減少しており，同様の傾向を示していると言える。これより高齢者では若年者と比べ，気管の切除可能範囲を少なく見積ることが必要と考えられる。

Harris の研究は新生児と成人に関するもののみであるが，本研究でも被検者はすべて13歳以上であり，0-12歳の小児に関する検索は行っていない。成長期の気管伸展率は成人と比し異なる傾向を示す可能性も考えられ，本来なら小児に関しても検索が必要である。しかし頸部自然位において鎖骨上に現れる気管は成人でも約1.5cmであり³⁰⁾，これより短い小児の頸部気管に直径10mmφの超音波探触子と加振器を，互いに接触させずに当てることは不可能であり，本研究に使用した装置で小児の気管弾性を計測することは，残念ながら出来なかった。しかし耳鼻咽喉科領域の手術で扱う機会の多い高齢者を含めた成人に関しては，気管弾性に関する傾向をある程度把握することが出来たことは有意義と思われる。

また，矢原，前田，Harris および道鉢の研究は，摘出気管を用い直視下に伸展率の計測を行っているため，得られた数値は具体的で，かつ正確である。これに対し in vivo における気管の弾性，特に頸部伸展角度との関連には，気管の物性のみならず頸椎，頸部血管系，筋・筋膜をはじめ種々の結合組織の物性も関与し，かつ気管自体に付着する血管その他の軟部組織の影響も加わるため，遊離気管の測定値より小さくなる可能性がある。しかし本法は術前に気管の硬化度を測定でき，しかも矢原の研究における伸展率と Resilience 比の関係から，Resilience 比を求めることにより，各症例に対応した気管の切除範囲の大体の設定が可能となる。本法は気管切除可能範囲を予測する無侵襲的手段として，今後期待し得るものであろう。

Vま と め

超音波パルス法を用いてヒト気管の Yerzley Resilience 値を測定し，次の結果を得た。

i) 加齢による変化

すべての年齢層で Yerzley Resilience 値は，自然位で低値を，伸展位で高値を示した。また自然位 Yerzley Resilience 値は年齢増加に伴い高値となるが，伸展位では変化が見られなかった。すなわち Resilience 比は加齢により減少した。

ii) 頸部伸展角度による変化

39歳以下では頸部伸展角度に関係なく，自然位 Yerzley Resilience 値は低値で，Resilience 比が大きかった。40歳以上では頸部伸展角度の小さい群では自然位 Yerzley Resilience 値は高値で，Resilience 比が小さいが，頸部伸展角度の大きい群では自然位 Yerzley Resilience 値が低値で Resilience 比が大きく，むしろ39歳以下と近い傾向を示した。

iii) 男女差

自然位および伸展位 Yerzley Resilience 値，Resilience 比とも，男性と女性の間に有意差は見られなかった。

以上のことより次のことを推察した。

i) 加齢により気管の硬化が進み，気管の伸展性は減弱する。

ii) 若年者では頸部の易伸展性と無関係に気管は柔軟でよく伸展するが，高齢者では頸部の伸展し易い例では気管は比較的柔軟で伸展し易いが，頸部の伸展しにくい例では気管の硬化が進み伸展しにくい。

iii) 気管の硬化，伸展率に男女差はない。

参 考 文 献

- 1) Conley JJ: Glottic reconstruction and wound rehabilitation. Arch Otolaryngol 74: 238-242, 1961.
- 2) 金子敏郎 他: 喉頭全摘出後の機能再建術-Serafini の reconstructive laryngectomy とその問題点-. 気食会報 26: 332-337, 1975.
- 3) 浅井良三: 喉頭形成-喉摘につづく一次的喉頭形成術-. 日気食会報 33: 110-112, 1982.
- 4) 金子敏郎: 形成的喉頭摘出術および類型術式. 日気食会報 33: 113-118, 1982.
- 5) 斉藤 等: T-E シャント Komorn 変法. 日気食会報 33: 119-122, 1982.
- 6) 天津睦郎: T-E シャント天津法. 日気食会報 33: 123-127, 1982.
- 7) 北村 武: Glottoplasty への道. 日気食会報 33: 128

- 130, 1982.
- 8) 田辺正博 他: 代用声門形成術の新手法. 日気食会報 34: 297-302, 1983.
- 9) 石川創二: 気管・気管支再建 基礎的な面より. 気食会報 20: 96-102, 1969.
- 10) 北村 武, 金子敏郎, 浅野 尚: 喉頭疾患の超音波診断-Ultrasonoglottography の可能性-. 日気食会報 15: 181, 1964.
- 11) Kitamura T, Kaneko T, and Asano H: Ultrasonic diagnosis of the laryngeal diseases. Jap Soc Ultrason Med 2: 14-15, 1964.
- 12) 内田邦明: ヒト生体の声帯物性-正常者の場合-. 日耳鼻 85: 161-174, 1982.
- 13) 鈴木晴彦: ヒト生体の声帯物性-病的声帯の場合-. 日耳鼻 85: 654-660, 1982.
- 14) 小松健祐 他: 超音波パルス法によるヒト摘出喉頭における声帯物性 第一報. 日超医論文集 41: 287-288, 1979.
- 15) 小松健祐 他: 超音波パルス法によるヒト摘出喉頭における声帯物性 第二報. 日超医論文集 41: 263-264, 1982.
- 16) 増田 卓 他: 単発矩形波励振によるヒト声帯物性の観察. 日耳鼻 87: 1256-1257, 1984.
- 17) 沼田 勉: ヒト摘出喉頭の声帯物性-単発矩形波励振による共振特性. 日耳鼻 88: 857-867, 1985.
- 18) 増田 卓: ヒト生体の声帯物性-単発矩形波励振による共振特性-. 日耳鼻 89: 763-773, 1986.
- 19) 矢原三十美: 気管の物性-基礎的研究-. 日耳鼻 90: 1823-1833, 1987.
- 20) 岡 小天 編: レオロジー入門. 工業調査会, 東京, 1985.
- 21) 山田嘉昭: 塑性・粘弾性. 培風館, 東京, 1980.
- 22) 三輪俊輔: 振動測定. 五十嵐寿一 他編: 実験物理学講座 9 音響と振動. 共立出版, 東京: 392-404, 1968.
- 23) 宇佐見民雄, 大石不二夫: ゴム材料の選び方, 使い方. オーム社, 東京, 1978.
- 24) Standard methods of test for mechanical properties of elastomeric vulcanizates under compressive or shear strains by the mechanical oscillograph. ASTM Designation: D945 - 59, Adopted, 1955; Revised, 1959.
- 25) Yerzley FL: A mechanical oscillograph for routine tests of rubber and rubber-like materials. Am Soc Testing Mats 39: 1180-1190, 1939.
- 26) 小野 譲: 気管・気管支の解剖と生理. 気食会報 13: 9-16, 1962.
- 27) 滝沢敬夫 他: 気管支の組織構造に関する知見. 小児科診療 44: 1633-1641, 1981.
- 28) 後藤敏郎: 耳鼻咽喉科学 第3版: 医学書院 810.
- 29) 藤田尚男, 藤田恒夫: 標準組織学総論. 医学書院, 1975.
- 30) Burton AC: Relation of structure to function of the tissues of the wall of blood vessels. Physiol Rev 34: 619-642, 1954.
- 31) 川上雅彦: 加齢に伴う肺と気道の形態変化. 呼吸 3: 1183-1187, 1984.
- 32) Yerzley FL et al: The evaluation of rubber and rubberlike compositions as vibration absorbers: apparatus for automatic recording. Industrial and Engineering Chemistry 9: 392-394, 1937.
- 33) 中沢 一, 小泉 亮: 固体の力学. 養賢堂, 1984.
- 34) 浅井未得: 気管・気管支再建 臨床面から. 気食会報 20: 114-119, 1969.
- 35) 加藤 功: 喉頭気管再建術 4. 頸部気管端々吻合術 Laryngeal Release について. 気食会報 32: 138-140, 1981.
- 36) 前田昌純, 川島康夫: 気道形成術の臨床-Tracheal mobilization の意義-. 日気食会報 31: 401-408, 1980.
- 37) 前田昌純: 喉頭気管再建術 3. 喉頭・気管の吻合術-とくに Tracheal mobilization の意義-. 日気食会報 32: 133-137, 1981.
- 38) 浅井未得: 気管, 気管支の形成. 気食会報 14: 69-72, 1963.
- 39) 金子敏郎: 喉頭気管再建術 6. 形成的喉頭摘出術. 日気食会報 32: 144-147, 1981.
- 40) Gillo HC: Circumferential resection and reconstruction of the mediastinal and cervical trachea. Annals of Surgery 162: 374-388, 1965.
- 41) 林崎勝武, 矢原三十美, 川島明美, 金子敏郎: 気道再建と気管の物性. 日気食会報 36: 123-128, 1985.
- 42) Cantrell JR et al: The repair of circumferential defects of the trachea direct anastomosis: experimental evaluation. J Thoracic and Cardiovas Surg 42: 589-598, 1961.
- 43) 前田昌純 他: 幼児の気管端々吻合術の問題点-その手術限界に関する基礎的研究-. 日胸外会誌 22: 1-15, 1974.
- 44) 前田昌純: 気道形成の臨床-特に組織損傷因子の分析-. 現代の臨床 8: 104-113, 1974.
- 45) 山口 豊 他: 喉頭再建術 2. 頸部移行部および縦隔内気管病変の気管再建術-特に端々吻合における問題点-. 日気食会報 32: 126-132, 1981.
- 46) Coburn RF et al: Time-dependent pressure-volume relationships of the in vivo canine trachea. Respi-

- ration *Physiol* 16 : 282-289, 1972.
- 47) Winter DC et al : Direct in vivo measurements of the elastic properties of canine trachea. *J Biochem Engineering* 104 : 311-313, 1982.
- 48) Harris RS : Tracheal extension in respiration. *Thorax* 14 : 201-210, 1959.
- 49) 道躰祐二郎 : 外因性気管障害の外科的治療. *日気食会報* 16 : 61-66, 1965.
- 50) Olsen CR, Stevens AE and Mollroy MB : Rigidity of tracheae and bronchi during muscular constriction. *J Appl Physiol* 23 : 27-34, 1967.
- 51) Meyers AD et al : Biomechanical characteristics of the human trachea. *Otolaryngol Head Neck Surg* 88 : 409-411, 1980.
- 52) 深井志摩夫 他 : 犬における気管粘膜下層の微細血管構築に関する研究. *日気食会報* 35 : 229-232, 1984.
- 53) Harris RS : The effect of extension of the head and neck upon the infrahyoid respiratory passage and the supraclavicular portion of the human trachea. *Thorax* 14 : 176-180, 1959.
-
- 稿を終えるに臨み、御指導、御校閲を賜った恩師金子敏郎教授に深甚なる謝意を捧げます。また終始御指導、御助言をいただいた林崎勝武講師に深く感謝致します。また、御協力いただいた矢原三十美先生を始め教室員の皆様に厚く御礼申し上げます。
- なお、本論文の要旨は第19回日本耳鼻咽喉科学会千葉県地方部会、第37回日本気管食道科学会総会において発表した。
-
- (原稿受付 昭和62. 8.19日急載)
- 別刷請求先 〒201 狛江市東和泉3-5-1-201 広岡明美

<p><u>A 91-0247-43331</u></p> <p>唾液腺腫瘍の臨床病理学のおよび免疫組織学的研究</p> <p>村上正文 (福島医大)</p> <p>大小唾液腺腫瘍126例について臨床病理学的観察を行い、特に多形腺腫の再発の理由と腺様嚢胞癌の予後について検索した。また、免疫組織学的に各種マーカー (lysozyme, lactoferrin, Al-p, keratin, S-100, actin, vimentin, CEA, Ki-67, etc.) の反応性を観察し、腫瘍の組織発生や細胞性格、悪性度との関連性について検討した。その結果、多形腺腫の再発は細胞の増殖力よりも手術による腫瘍散布に起因することや、また腺様嚢胞癌で充実型を示すものの悪性度が著明に高いことが示唆された。免疫組織学的には良性・悪性腫瘍とも導管上皮系細胞と筋上皮系細胞からなることが示された。Ki-67は臨床病理学的悪性度と良く相関した反応が得られ、悪性度の評価への応用が期待された。</p>	<p><u>A 91-0233-25581</u></p> <p>特発性外リンパ腫の臨床像</p> <p>深谷 卓 (三井記念) 野村恭也 (東大)</p> <p>手術的に確認した特発性外リンパ腫40例40耳の誘因、自覚症状、他覚所見を検討した。誘因では鼓室、脳脊髄液圧の変化をもたすものが多かった。自覚症状では92%に聴覚症状が、70%に前庭症状が認められた。聴覚、前庭症状は多岐にわたっていた。外リンパ腫に特有とされる pop 音や水の流れるような耳鳴は20%に自覚された。他覚症状では長時間持続する、患側下での頭位眼振が55%に認められ、嚢孔症状は5%に認められるのみであった。温度眼振検査では正常例が多かった。純音聴力では平均域値は様々で、聴力型も水平型、低音障害型、谷型等様々であった。</p>
<p><u>A 91-0262-71022</u></p> <p>In vivo におけるヒト気管の物性</p> <p>広岡明美 (千葉大)</p> <p>気管の切除可能範囲を術前に予測する手段として、ヒト気管弾性を in vivo で測定できる Yezley Resilience (Y.R. と略す) を求めた。方法としては衝撃波を与えた際の気管の振動を超音波パルス法 M-mode 変法を用いて記録し、その波形より Y.R. 値を求めた。13-78歳の36人を対象とし、頸部自然位と伸展位の Y.R. 値を求めた。</p> <p>結果として自然位 Y.R. 値は加齢に伴い高値となる、伸展位と自然位の Y.R. 値の比は加齢に伴い小さくなる、40歳以上では頸部の伸展しにくい例程自然位 Y.R. 値が高値となる等が示され、気管の加齢による硬化や、頸部の易伸展性の及ぼす影響等が推察された。</p>	<p><u>A 91-0240-22182</u></p> <p>ティンパノメトリーによる中耳含気腔容積ならびに上鼓室疎通性の診断</p> <p>小林俊光・佐々木豊・末武光子・池田勝久 高坂知節 (東北大) 沖津卓二 (東北通信) 和田 仁 (東北大機械工学科)</p> <p>慢性穿孔性中耳炎の術前に上鼓室疎通性を診断することは術式決定の上で重要な意義がある。われわれは穿孔耳においてはティンパノメトリーのコンプラヤンスが外耳道と中耳腔の含気量の和を表わすことから、これを測定することにより含気腔容積の大小ならびに上鼓室疎通性の良否を推定できると考えた。</p> <p>51耳の慢性穿孔性中耳炎と5耳の外傷性鼓膜穿孔の計56耳でティンパノグラムと中耳 C T 所見の対比を行った。コンプラヤンスが2.0ccより大きい33耳はすべて上鼓室疎通性が良好であったが、2.0cc未満の23耳中19耳、1.5cc未満の18耳中17耳の疎通性は不良であった。ティンパノメトリーにより簡便かつ迅速に上鼓室疎通性のスクリーニングが行えることを証明した。</p>