

特集 加齢に伴う発声発語器官の変化

加齢に伴うヒト声帯の機能形態学的変化

佐藤公則

Kiminori Sato

総説▶

要旨 機能形態学の観点から、振動体としてのヒト声帯の加齢に伴う形態学的変化と音声機能を関連させると、加齢に伴う音声機能の変化と病態生理が説明できる。

高齢者では、加齢に伴う声帯粘膜上皮の変化、粘膜固有層の細胞外マトリックスの質的・量的変化がおこっている。すなわち細胞外マトリックス複合体の三次元構造と各細胞外マトリックスの組成が変化し、振動体としての声帯粘膜の形態と粘弾性が変化している。

加齢に伴う喉頭の組織学的変化は、振動体としての声帯の物性と声帯振動に影響を与え、声の老化に関与している。喉頭組織の加齢的变化は個人差が少なくない、声の老化に個人差があるのと同様である。

キーワード▶ 加齢, 音声, 声の老化, 機能形態学, ヒト声帯, 喉頭

I. はじめに

発声には発声器官（喉頭、呼吸器系、共鳴管腔）、すなわち喉頭の機能を司る中枢神経・末梢神経系、喉頭あるいは呼吸の運動を行う筋、振動する声帯粘膜組織などが関与している。

音声は年齢とともに変化する。声の老化には、発声器官の加齢的变化が関与している。また内分泌の変化、喫煙、健康状態なども声の老化に影響する。さらに声以外に加齢に伴う話し言葉（speech）の変化が加わって、高齢者の話し声を特徴づける。しかし、高齢者の声の正常範囲の定義はなく、加齢に伴う声の変化が生理的变化なのか、音声障害であるのかを診断することが難しい場合もある。

発声は呼吸によって声帯が振動し生成される物理的現象である。したがってヒト声帯を振動体としてとらえ、機能形態学的観点からヒト声帯の加齢に伴う形態学的変化と音声機能を関連させると、高齢者の音声機能の病態生理が説明できる。

本総説では、Functional Morphology（機能形態学）の観点から、加齢に伴うヒト声帯の機能形態学的変化と音声機能の変化、すなわち声の老化を概説する。

II. 正常な発声に必要な条件

正常な発声のためには以下の条件が必要である¹⁾。

- ①声門が適度に閉鎖（呼気圧の大きさに応じた閉鎖）すること。
- ②声帯（粘膜固有層浅層・声帯靭帯・声帯筋）が適切な容積・物性をもっていること。
- ③両声帯の容積・物性が左右対称であること。
- ④両声帯が適度に湿潤していること。
- ⑤声門を通過する呼気流が十分であること。
- ⑥共鳴腔が正常であること。
- ⑦心理的要因がないこと。

上記の正常な発声のための条件のどれかが保たれなければ、音声障害をきたす。音声障害の病態を考える上で、これらの条件を観察、チェックし病態を把握することが大切である¹⁾。

また加齢に伴うヒト声帯の形態学的変化と音声機能を関連させる際に、加齢に伴う形態学的変化が、上記の正常な発声のための条件のうち、どの条件を障害しているのかを考えると高齢者の音声機能の病態生理が説明できる。

III. ヒト声帯固有の層構造

哺乳類のなかでヒトだけが会話をしたり、歌ったりできる。他の哺乳類にはないヒト固有の声帯層構造が、会話・歌唱を可能にしている。

ヒト成人の声帯は粘膜上皮（声帯遊離縁では重層扁平上皮）、粘膜固有層（浅層、中間層、深層）と筋層からなる層構造をとる^{2,3)}（図1）。

久留米大学医学部耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座

[連絡先] 佐藤公則：久留米大学医学部耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座（〒830-0011 福岡県久留米市旭町 67）

TEL：0942-31-7575 FAX：0942-37-1200 E-mail：kimisato@oct-net.ne.jp

受稿日：2017年9月14日 受理日：2017年10月7日

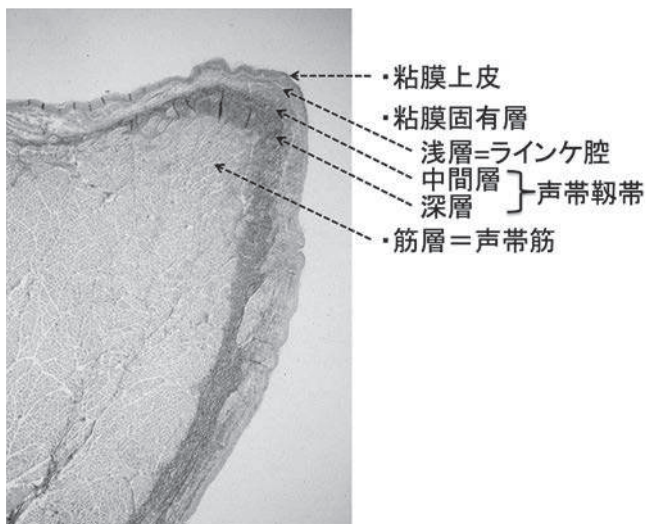


図1 ヒト成人の声帯 (27歳, 男性) (前額断標本, Elastica van-Gieson 染色) (文献3より)

ヒト声帯遊離縁は重層扁平上皮からなる。上皮細胞は7~8層からなり、基底部の細胞は立方形で表層部にいくに従って細胞は扁平になる。最表層は非角化扁平上皮細胞で、粘膜上皮の表面には多くの microvilli を認める。機能形態学的には、声帯が正常に振動するために必須である声帯表面の湿潤に、重層扁平上皮表面の microvilli が関与しているといわれている⁴⁾。

粘膜固有層浅層はラインケ腔とも呼ばれ、粗な線維性結合組織と基質からなる^{2,3)}。粘膜固有層の中間層は主に弾性線維からなり、深層は主に膠原線維からなり、両者で声帯靭帯を形成する^{2,3)}。

声帯膜様部の粘膜固有層が、声帯振動に最も関与する。ヒト声帯の粘膜固有層は細胞外マトリックスの三次元構造をとり、粘弾性をもった振動体を形成している^{4,5)}。ヒト成人の声帯粘膜の主な細胞外マトリックスは、細網線維 (Ⅲ型コラーゲン) (図2)、膠原線維、弾性線維などの線維タンパクとグリコサミノグリカン (ヒアルロン酸など)、糖タンパクなどの基質である^{4,5)}。細網線維 (Ⅲ型コラーゲン) は、一般的に弾性をもった組織に発達している。

IV. ヒト声帯層構造の成長・発達・老化

新生児にはヒト固有の声帯層構造を認めない⁶⁻⁹⁾。ヒトの声帯は成長・発達し、思春期頃にヒト声帯の層構造が完成する⁷⁾。

ヒト声帯膜様部の粘膜固有層の前端と後端には、細胞と細胞外マトリックスの集塊を認め、それぞれ前黄斑、後黄斑と呼ばれている^{3,10,11)}。ヒト成人の黄斑は声帯星細胞、膠原線維、細網線維、弾性線維、基質 (特にヒアルロン酸) などからなる^{3,10,12)}。黄斑内にはビタミン A を貯蔵した脂肪滴を保持し、細胞突起をもった星型の声帯星細胞 (Vocal

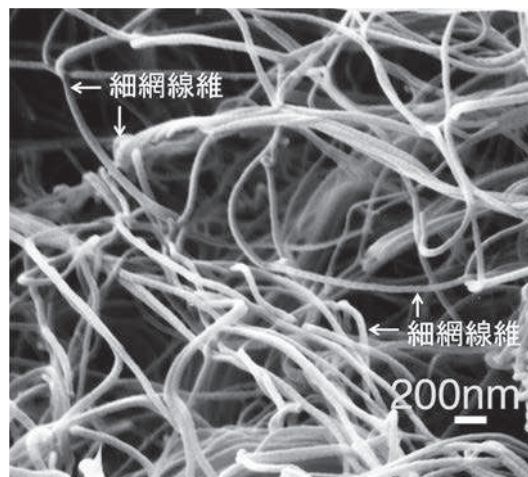


図2 ヒト声帯粘膜固有層浅層の細網線維の三次元構造 (走査電子顕微鏡像) (文献5より)

組織消化法により細網線維、膠原線維以外の線維タンパクと基質を消化している。実際の組織では、細網線維の間隙に弾性線維、グリコサミノグリカンが分布し、粘弾性をもった組織構造を形成している。

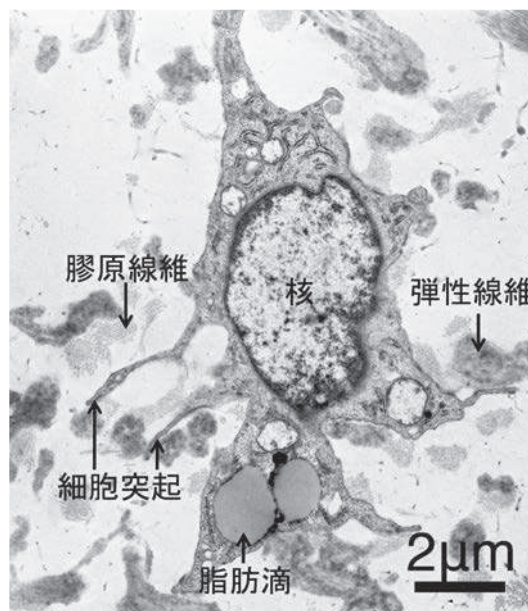


図3 ヒト声帯星細胞 (文献12より)

ヒト声帯黄斑内には、細胞突起をもち、核/細胞質比が小さく、細胞質にビタミン A を貯蔵した脂肪滴をもつ、星型の声帯星細胞が密に分布する。

Fold Stellate Cell) (Sato et al, 2001) (図3) が密に分布している¹¹⁻¹³⁾。

黄斑内の声帯星細胞は細胞外マトリックスを恒常的に産生し、声帯振動に不可欠な声帯粘膜の細胞外マトリックスの代謝に関与し、ヒト固有の声帯粘膜の層構造を構築・維持している^{11,12)}。またヒト声帯層構造の成長・発達・老化に関与している (図4)^{14,15)}。

近年、ヒト声帯の前・後黄斑は幹細胞ニッチで、黄斑内の細胞は組織幹細胞である可能性が示唆されている (図

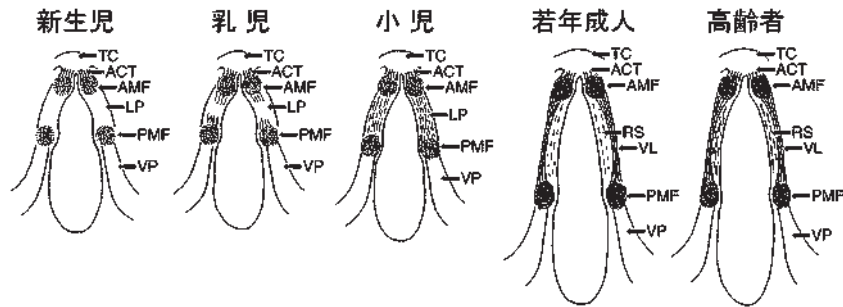


図4 ヒト声帯層構造の成長・発達・老化 (文献 14, 15 より)

新生児では声帯の層構造は認めない。成長とともに細胞外マトリックスが声帯膜様部中央へ形成され、思春期頃に声帯の層構造が完成する。加齢とともに声帯粘膜の細胞外マトリックスの質と量が変化する。TC: 甲状軟骨, ACT: 前交連腱, AMF: 前黄斑, LP: 粘膜固有層, PMF: 後黄斑, VP: 披裂軟骨声帯突起, RS: ラインケ腔, VL: 声帯靱帯

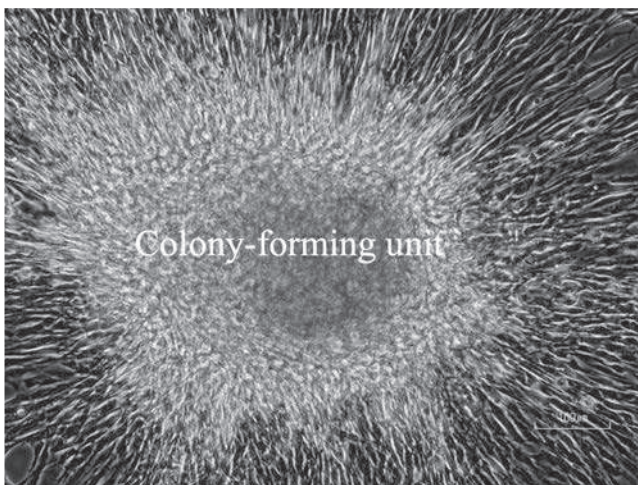


図5 in vitro で colony-forming unit を形成したヒト黄斑内の培養細胞 (文献 18 より)

幹細胞は in vitro でコロニー形成能が高い。

5)¹⁶⁻¹⁸⁾。組織幹細胞を頂点とする幹細胞システムによる絶え間ない声帯組織の再生によって、ヒト声帯組織の恒常性が維持されていることが推察される¹⁷⁾。しかしヒト声帯黄斑内の細胞の階層性は明らかではなく、幹細胞システムにおける声帯星細胞の階層性も明らかではない。声帯星細胞は、組織幹細胞あるいは前駆細胞である可能性が示唆されている^{17, 18)}。

Mechanotransduction とは細胞に対する機械的刺激を生体力学的な反応に転換するメカニズムであり、細胞機能を調節する機能である¹⁹⁾。この Mechanotransduction あるいは細胞膜に存在するレセプターが細胞内のシグナル伝達を司り、遺伝子の発現・制御を行っていることが知られている。

生後の発声すなわち声帯振動による機械的刺激が黄斑部の細胞を刺激・活性化し (mechanotransduction)、ヒト固有の声帯粘膜の層構造を構築するために必要な細胞外マトリックスの産生を促進し、ヒト声帯粘膜は成長・発達し、ヒト固有の声帯層構造を構築することが示唆されている。

また層構造が完成した後の成人の声帯でも、発声すなわち声帯振動による機械的刺激が黄斑部の細胞を刺激し (mechanotransduction)、声帯振動に必須の声帯粘膜内の細胞外マトリックスの代謝に関与し、ヒト固有の声帯層構造の維持に関与していることが示唆されている¹⁹⁾。

V. ヒト声帯層構造の加齢的变化

声帯構造の加齢的变化は、同じ性・年代でも個人差が大きい。ヒト声帯層構造の加齢的变化には以下の傾向が認められる²⁰⁾。

1. 声帯粘膜上皮の加齢的变化

高齢者ヒト声帯遊離縁の重層扁平上皮には、過角化 (hyperkeratosis)、錯角化 (parakeratosis)、粘膜上皮有棘層の肥厚 (acanthosis)、極性 (epithelial polarity) の消失、粘膜上皮突起 (rete ridge) の延長、萎縮 (atrophy) などの組織学的変化を認める²⁰⁾。また重層扁平上皮表面の microvilli が消失している²⁰⁾。

加齢に伴うヒト声帯遊離縁の重層扁平上皮の組織形態学的変化は、声帯振動に少なからず影響を与え、声帯振動に必須である声帯表面の湿潤に関与している重層扁平上皮表面の microvilli の消失は、声の老化の一因になっていることが示唆される²⁰⁾。

2. 声帯粘膜固有層の加齢的变化

1) 細網線維、膠原線維の加齢的变化

若年成人では、細網線維 (Ⅲ型コラーゲン) (一般的に弾性組織に発達している) と膠原線維は微細な網目状の三次元構造をとり、細胞外マトリックスの骨格を形成する (図 2)⁵⁾。

高齢者では粘膜固有層浅層内の膠原線維の密度は増加し、細網線維の密度は減少する²¹⁾。この変化は男性に顕著である²¹⁾。この結果、膠原線維の線維と線維の間隙は狭くなり、線維の間に存在する弾性線維とグリコサミノグリカンのためのスペースが減少する²¹⁾。膠原線維の微細構造

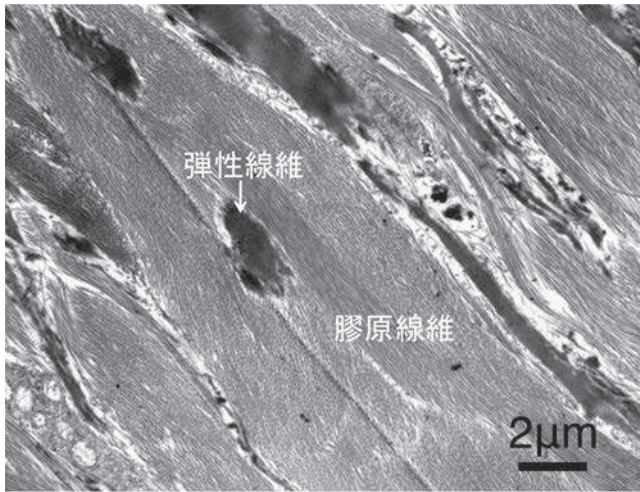


図6 高齢者(85歳, 男性)の粘膜固有層浅層の膠原線維(透過型電子顕微鏡像, タンニン酸染色)(文献21より)
 膠原線維が増生し, 太く束状になって錯走している。膠原線維の間隙は小さい。

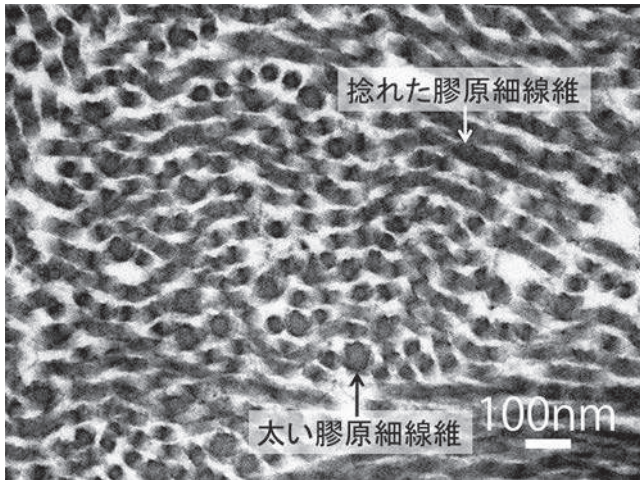


図7 高齢者(83歳, 男性)の粘膜固有層浅層の膠原細線維(透過型電子顕微鏡像, タンニン酸染色)(文献21より)
 膠原細線維の直径は40~80nmと大小不同であり, 輪郭は不整で, 捻れが認められる。

は, 膠原線維は太く束状になって錯走する(図6)²¹⁾。膠原細線維の直径の大小不同が目立ち, 横断面では細線維の輪郭は不整で, 膠原細線維に捻れがみられる(図7)²¹⁾。このような膠原細線維の形態学的変化は, 加齢に伴って起こるコラーゲンの架橋の変化に起因するものと推察される。また器質癒痕化した膠原線維が粘膜固有層内に認められる例(図8)がある²¹⁾。太い膠原線維が粘膜固有層の浅層から深層まで一様に分布し, 声帯粘膜の層構造が破綻している例もある。高齢者では粘膜固有層深層内の膠原線維が器質癒痕化し, 増生している例がある(図8)²¹⁾。

2) 弾性線維の加齢的变化

弾性線維は組織に弾性を与える。

高齢者では最も振動する粘膜固有層浅層(ラインケ腔)

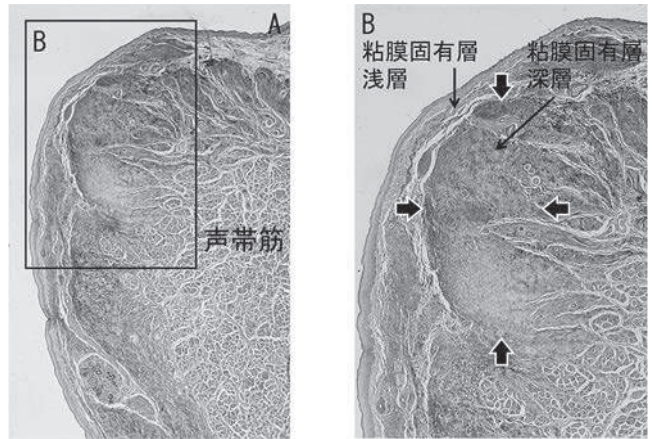


図8 高齢者の声帯(97歳, 男性)(前額断標本, Elastica van-Gieson 染色)(文献21より)

粘膜固有層浅層は薄く, 膠原線維が増生しその密度が高くなっている。粘膜固有層深層には膠原線維の塊を認め(B: 矢印), 線維性結合組織が増生している。B: Aの黒枠の拡大

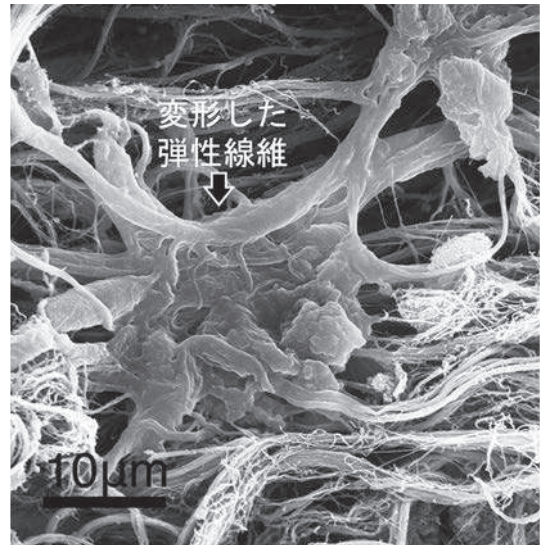


図9 60歳, 女性の粘膜固有層浅層の弾性線維(走査型電子顕微鏡像)(文献22より)

組織消化法により弾性線維以外の線維タンパクと基質を消化している。弾性線維が癒合し, 変形した弾性線維を認める。

内の弾性線維の密度が減少する。

弾性線維は変性萎縮し, 不規則な断裂, 異常な波状構造をとる²²⁾。弾性線維の微細構造は, amorphous substanceが増加し microfibrilが減少する²²⁾。弾性線維の太さは不均一で表面は不整になる²²⁾。弾性線維の走行は不規則で, 分枝し複雑なネットワークを形成する²²⁾。また線維が不規則に癒合したような変形した弾性線維(図9)も認められる²²⁾。

高齢者では弾性線維の三次元構築・組成が変化する。弾性線維はエラストマーゼに抵抗性になり, 弾性線維の代謝が加齢に伴い変化している²²⁾。

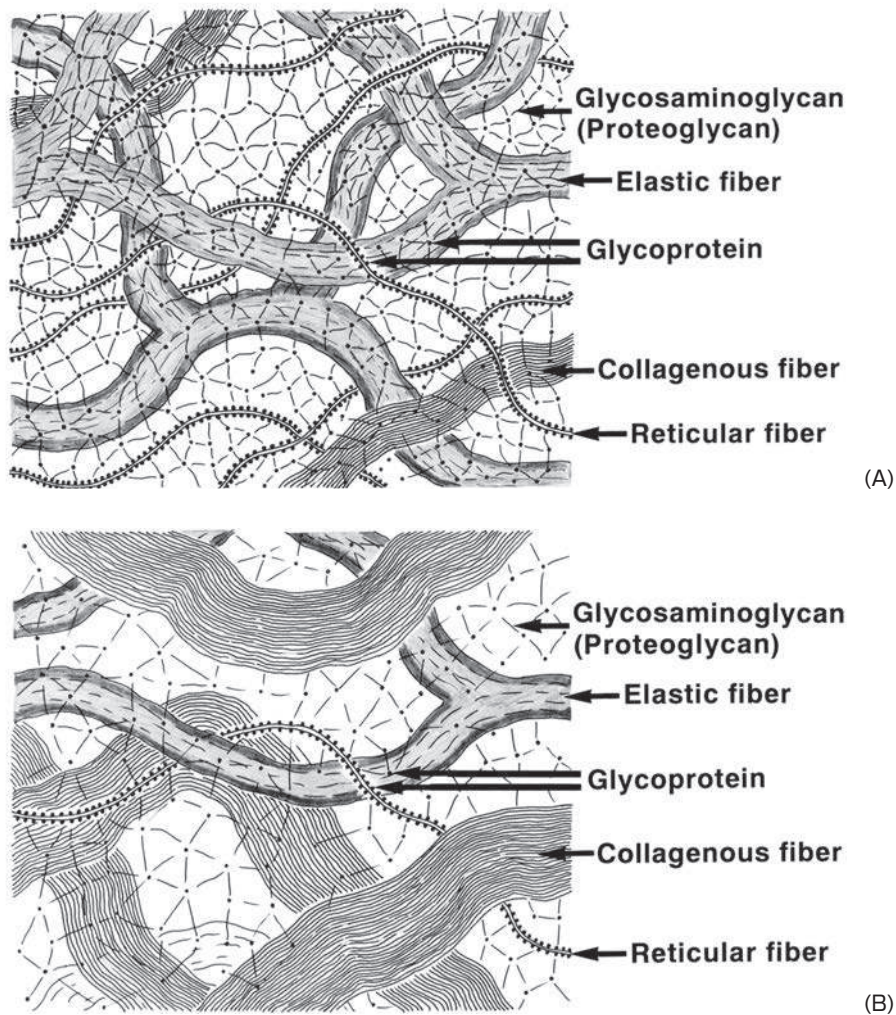


図 10 声帯粘膜固有層浅層の細胞外マトリックス (A: 若年成人, B: 高齢者) (文献 21 より)
細胞外マトリックスの加齢的な質的・量的変化が、細胞外マトリックスの三次元構造とその粘弾性を変化させ、振動体としての物性の変化をきたす。

高齢者では粘膜固有層中間層の弾性線維は、萎縮し、その厚さは薄くなる²³⁾。この変化は男性に顕著である²³⁾。

3) グリコサミノグリカンの加齢的变化

グリコサミノグリカンは、組織に粘弾性を与える。

高齢者の粘膜固有層内のグリコサミノグリカンは減少する^{20, 21)}。膠原線維の増生が軽度で、線維と線維の間隙が比較的保たれている例では、グリコサミノグリカンが比較的豊富であるが、膠原線維が増生し、線維と線維の間隙が狭小化している例では、グリコサミノグリカンが減少している²¹⁾。

4) 声帯粘膜固有層の細胞外マトリックスの三次元構造の加齢的变化

若年成人の粘膜固有層浅層 (ラインケ腔) (図 10A) では、細い膠原線維と細網線維は比較的疎な網目状三次元構築をとり、細胞外マトリックスの骨格を形成する⁵⁾。線維と線維の間隙は比較的広く、これらの線維の間に弾性線維とグリコサミノグリカンが豊富に分布し、組織に粘弾性を与えている⁵⁾。このような細胞外マトリックスの複合体が

声帯粘膜の形態を維持し、粘弾性をもった振動体を形成する⁵⁾。

高齢者の粘膜固有層浅層 (ラインケ腔) (図 10B) では、細胞外マトリックスの骨格を形成している細網線維と膠原線維に形態的变化が認められる。細網線維は減少し、膠原線維は密に増加し太く束状になり錯走する。これらの線維と線維の間隙は狭く、線維と線維の間に存在し組織に粘弾性を与える弾性線維とグリコサミノグリカンが減少する。女性では粘膜固有層浅層が浮腫状になる例もある^{20, 23)}。

このように高齢者の声帯粘膜固有層では、細胞外マトリックスの質的・量的変化が加齢とともに起こっている。すなわち細胞外マトリックス複合体の三次元構築と各細胞外マトリックスの組成が変化し、声帯粘膜の形態と粘弾性が変化している²⁰⁾。

VI. ヒト声帯黄斑の加齢的变化

上述したようなヒト声帯粘膜固有層の細胞外マトリックス

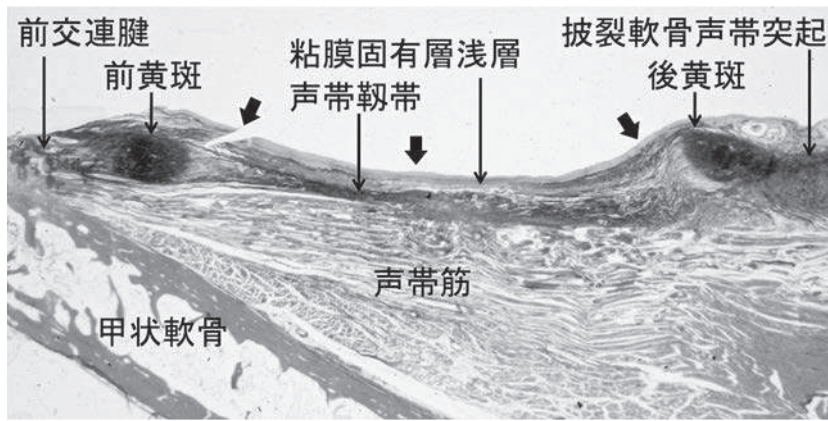


図 11 ヒト成人の声帯 (90 歳, 男性) (水平断標本, Elastica van-Gieson 染色) (文献 27 より)
粘膜固有層と声帯筋が萎縮し, 声帯膜様部が弓状 (矢印) になっている。

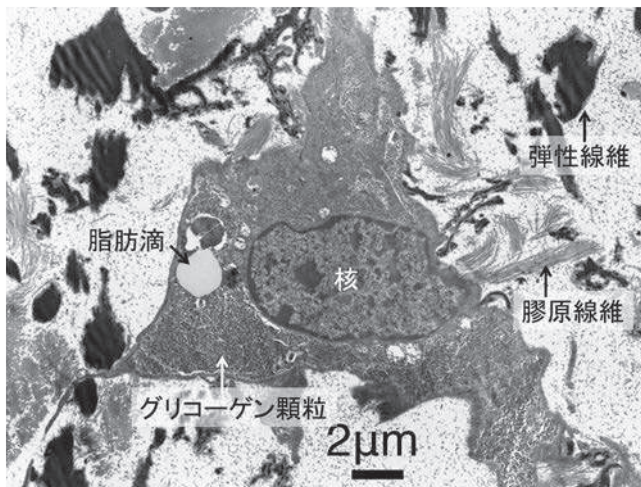


図 12 高齢者 (79 歳, 男性) の前黄斑内の声帯星細胞 (透過型電子顕微鏡像, タンニン酸染色) (文献 26 より)
細胞質にはグリコーゲン顆粒が豊富に認められ, 細胞内小器官が少なくなっている。

スの加齢的变化はなぜ起こるのであろうか。

声帯膜様部の前端と後端に存在する黄斑は, 声帯振動に不可欠な声帯粘膜の細胞外マトリックスの代謝に関与し, ヒト固有の声帯粘膜の層構造を構築・維持し, 声帯層構造の成長・発達・老化に関与していることは前述した (図 4)。

高齢者の声帯黄斑では, 声帯星細胞内の粗面小胞体やゴルジ装置などタンパク合成に関与する細胞内小器官が少なくなり, 声帯星細胞の活性が低下している (図 12)²⁴⁻²⁶⁾。細胞質にはグリコーゲン顆粒が豊富に認められ, 声帯星細胞の代謝が低下している (図 12)²⁴⁻²⁶⁾。細胞内小器官が変性, 消失した声帯星細胞も認められる²⁴⁻²⁶⁾。このような加齢的变化をきたした声帯星細胞から産生される線維タンパクを含めた細胞外マトリックスの産生量は減少している²⁴⁻²⁶⁾。

このように黄斑の加齢的变化により, 声帯粘膜の細胞外マトリックスの代謝が低下し, 声帯粘膜の細胞外マトリックスの加齢的变化に影響を与えている。

近年, ヒト声帯の前・後黄斑は幹細胞ニッチであり, 黄斑内の細胞は組織幹細胞である可能性が示唆されていることは前述した。幹細胞システムの頂点に位置する組織幹細胞やそのニッチの加齢的变化を幹細胞老化 (ステムセルエイジング) と呼ぶ。今後ステムセルエイジングに着目することによって, ヒト声帯の老化の実態がさらに明らかになることが予想される。

3. 声帯筋の加齢的变化

高齢者では甲状披裂筋の断面積は小さくなり筋が萎縮している²⁷⁻²⁹⁾。筋線維数は減少し, 筋線維の径は大きくなる^{27, 29)}。これらの甲状披裂筋の加齢的变化は, 筋萎縮による声門閉鎖不全, 筋機能の低下をきたす。

VII. その他の喉頭組織の加齢的变化

1. 喉頭腺の加齢的变化

喉頭腺からの分泌液は, 発声時に潤滑液として作用し, 声帯振動に影響を与える。

高齢者では, 喉頭腺の分布密度は低下し腺房が萎縮している²⁷⁾。喉頭腺の微細構造の加齢的变化は, 分泌に関与する漿液細胞と粘液細胞の粗面小胞体とゴルジ装置が減少し, 漿液細胞内の分泌顆粒と粘液細胞内の粘液性分泌物が減少し, 分泌液の量が減少している^{30, 31)}。すなわち加齢に伴い喉頭腺の腺房機能が低下している。

また高齢者では分泌量が減少しているだけでなく, 分泌液の粘性が変化している^{30, 31)}。加えて上述した重層扁平上皮表面の microvilli の消失は, 声帯振動に必須である声帯表面の湿潤を低下させる^{30, 31)}。このような声帯の潤滑液の加齢的变化は, 声帯振動に影響を与え, 声の老化の一因になる。

2. 輪状披裂関節の加齢的变化

声帯の動きに影響を与える輪状披裂関節の加齢的变化は, 輪状披裂関節の関節面が凹凸不整になっており, 男性

では関節面まで骨化する例がある²⁷⁾。

輪状披裂関節の微細構造の加齢的变化は、軟骨基質のプロテオグリカンが減少し、膠原線維が露出し関節面が凹凸不整になる³²⁾。この原因は、高齢者では輪状披裂関節の軟骨芽細胞の活動性が低下し、軟骨芽細胞から産生される細胞外マトリックスが減少しているためである³²⁾。輪状披裂関節の加齢的变化が著しい場合は、披裂軟骨の運動に影響を与える可能性がある^{27,32)}。

3. 高齢者声帯膜様部の弓状変化

声帯に器質的・機能的病変がないにもかかわらず高齢者、特に男性で声帯膜様部が弓状になる(図11)。このような高齢者の弓状声帯は、軽度のものでは開放時間率(open quotient)が大きくなり、高度のものでは声門閉鎖不全をきたし、音声障害の一因になる。

高齢者の弓状声帯の原因は、声帯筋の萎縮と前黄斑と後黄斑の間の粘膜固有層の厚さ、男性では特に粘膜固有層浅層が加齢とともに薄くなるためである(図11)^{20,33,34)}。高齢者の声帯黄斑の大きさは若年成人の大きさと同じであり、声帯膜様部は前黄斑の内側後縁から後黄斑の内側前縁にかけて弧を描くように弓状になる(図11)^{20,33,34)}。

VIII. 機能形態学からみた音声の加齢(声の老化)

振動体としての声帯が正常に振動し、正常に発声するための条件には、声門閉鎖、声帯の硬さ、声帯の質量、声帯の層構造、声帯の均質性、両声帯の対称性、妨害物、呼気圧がある³⁵⁾。加齢に伴う声帯の組織学的構造の変化や呼吸機能の低下は、正常発声に必要なこれらの条件に影響を与える。

1. 声門閉鎖

高齢者声帯膜様部の弓状変化は、開放時間率(open quotient)を大きくし、声門閉鎖不全をきたす。声帯粘膜固有層の細胞外マトリックスの質的・量的変化による声帯粘膜の厚さや硬さの変化、声帯筋の萎縮、筋機能の低下は声門閉鎖不全をきたす。さらに加齢に伴う呼気圧の低下、あるいはその時間的変動が加わると、呼気圧の大きさに応じた声門の適度な閉鎖が難しくなり正常な発声が行いにくくなる。

2. 声帯の硬さ、質量、層構造

加齢に伴うヒト声帯遊離縁の重層扁平上皮の組織形態学的変化は、声帯の硬さに少なからず影響を与え、重層扁平上皮表面のmicrovilliの消失は、声帯振動に必要な声帯の湿潤を低下させる²⁰⁾。

高齢者では声帯粘膜固有層の細胞外マトリックスの質的・量的変化がおこっている。声帯粘膜の細胞外マトリックスの加齢的变化(図10B)により、両側声帯粘膜の物理的性質(弾性定数、粘性係数)が変化し、声帯の硬さや質

量に変化する。またヒト固有の声帯層構造が破綻する。

話声位は加齢とともに変化する³⁶⁻³⁸⁾。男性では加齢に伴って声の基本周波数は増加する(話し声・話声位が高くなる)³⁶⁻³⁸⁾。女性では加齢に伴って声の基本周波数は減少する(話し声・話声位が低くなる)^{38,39)}、あまり変わらない⁴⁰⁾など一定の傾向は認めない。発声できる最低音から最高音までの声域(声の周波数域)は、高齢になると男女とも狭くなる。

高齢者の男性にみられる硬く薄い声帯粘膜(図11)は、速く小さい振幅で振動し、振動数(基本周波数)は増加する。このことは高齢者男性の声が高くなるという報告と一致する。

高齢者の女性にみられる浮腫状の声帯粘膜は、質量が増加し、振動数(基本周波数)は減少する。このことは高齢者女性の声が低くなるという報告と一致する。

硬さや質量が変化した声帯、また層構造が破綻した声帯では、振動数(基本周波数)が変化しにくくなる。このことは高齢者の声域(声の周波数域)が狭くなるという報告と一致する。

3. 声帯の均質性、両声帯の対称性、妨害物

高齢者声帯の物理的性質の変化は、一側の声帯内で均質ではなく、左右の声帯は非対称性になる。粘膜固有層内の器質癒痕化した膠原線維の塊(図8)は、粘膜内の妨害物になる。

IX. 高齢者の音声機能(声の加齢的变化)

声は声帯振動によって生じる複合音である。声の聴覚的要素には、高さ、大きさ、長さ、音色の四つがある。これらの四つの聴覚的要素の加齢的变化が組み合わせり、高齢者の声が形成される。

1. 声の高さの加齢的变化

高齢者の声の基本周波数に関しては上述した。

2. 声の大きさの加齢的变化

高齢になると男女とも声は小さくなる⁴¹⁾。逆に声が大きくなるという報告もある⁴²⁾。発声できる最も小さい声から最も大きい声までの範囲(声の音圧域)は、高齢になると男女とも狭くなる。

声帯粘膜固有層の細胞外マトリックスの質的・量的変化による声帯粘膜の厚さや硬さの変化、声帯筋の萎縮、筋機能の低下、加齢に伴う呼気圧の低下、あるいはその時間的変動により発声機能が低下し、声の大きさの加齢的变化が起こる。

3. 声の長さの加齢的变化

加齢により発声持続時間は短くなる³⁹⁾。

加齢に伴う呼吸機能の低下、声門閉鎖不全などが原因である。

4. 声の音色の加齢的变化

声の音色に対応する音響的要素は複雑である。声のゆらぎとしての基本周波数変動指数 (pitch perturbation quotient : PPQ, 基本周波数のゆらぎ), 振幅変動指数 (amplitude perturbation quotient : APQ, 振幅のゆらぎ) は, 高齢者では大きくなる³⁸⁾。その他, 息もれ, 声の震え, 声の緊張性などが高齢者に認められる⁴²⁾。

上述した加齢に伴う声帯粘膜上皮の変化, 粘膜固有層の細胞外マトリックスの質的・量的変化, 声帯潤滑液の減少と粘性の変化などにより, 声の音色が変化し嗄声をきたす。

5. 話し言葉の加齢的变化

日常, 声を聞く場合は話し言葉を聴く。高齢者では話す速度が遅くなる⁴¹⁾。話し言葉に含まれる子音の明瞭度 (歯切れの良さ) が低下する⁴³⁾。

X. ま と め

高齢者の声帯粘膜では, 粘膜上皮の変化と粘膜固有層の細胞外マトリックスの質的・量的変化が加齢とともに起こっている。すなわち細胞外マトリックス複合体の三次元構築と各細胞外マトリックスの組成が変化し, 声帯粘膜の形態と粘弾性が変化している。

ヒト声帯の層構造, 特に声帯粘膜の加齢的变化は, 正常発声に必要な条件に影響を与え, 声帯振動を不規則にし, 声の高さ, 大きさ, 長さ, 音色を変化させる。

喉頭腺分泌液の量の低下と粘性の変化は, 声帯の潤滑作用を低下させ, 声帯振動に影響を及ぼし, 声の音色が変化する。

このように加齢に伴う喉頭の組織学的変化は, 振動体としての声帯の物性と声帯振動に影響を与え, 声の加齢的变化に関与している。

Functional Morphology (機能形態学) の観点から, 振動体としての声帯の形態学的加齢変化と音声機能に関連させると, 高齢者の音声機能の病態生理が説明できる。

喉頭組織の加齢的变化は個人差が少なくない。声の老化に個人差があるのと同様である。

文 献

- 1) 佐藤公則 : 所見に乏しい声帯の音声障害はどう診断するのか。耳・鼻・のどのプライマリケア。中山書店, 東京, 293-297頁, 2014。
- 2) 平野 実 : 音声外科の基礎と臨床。耳鼻, 21 (補冊 1), 239-254, 1975。
- 3) Hirano M, Sato K : Histological Color Atlas of the Human Larynx. Singular Publishing Group, San Diego, 1993。
- 4) Sato K : Cells and extracellular matrices in the human adult vocal fold mucosa. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 5) Sato K : Reticular fibers in the vocal fold mucosa. Ann Otol Rhinol Laryngol, 107 : 1023-1028, 1998。

- 6) Sato K, Hirano M, Nakashima T : Fine structure of the human newborn and infant vocal fold mucosae. Ann Otol Rhinol Laryngol, 110 : 417-424, 2001。
- 7) Hirano M, Kurita S, Nakashima T : Growth, development and aging of human vocal folds. In: Bless DM, Abbs JH, eds. Vocal fold physiology. College-Hill Press, San Diego, pp. 22-43, 1983。
- 8) Sato K : Cells and extracellular matrices in the human newborn vocal fold mucosa. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 9) Sato K : Growth and development of the human vocal fold mucosa. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 10) Sato K, Hirano M : Histologic investigation of the macula flava of human vocal fold. Ann Otol Rhinol Laryngol, 104 : 138-143, 1995。
- 11) Sato K : Macula flava and vocal fold stellate cells of the human adult vocal fold. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 12) Sato K, Hirano M, Nakashima T : Stellate cells in the human vocal fold. Ann Otol Rhinol Laryngol, 110 : 319-325, 2001。
- 13) Sato K, Hirano M, Nakashima T : Vitamin A-storing stellate cells in the human vocal fold. Acta Otolaryngol, 123 : 106-110, 2003。
- 14) Sato K, Umeno H, Nakashima T : Functional histology of the macula flava in the human vocal fold. Part 1: Its roles in the adult vocal fold. Folia Phoniatr Logop, 62 : 178-184, 2010。
- 15) Sato K, Umeno H, Nakashima T : Functional histology of the macula flava in the human vocal fold. Part 2: Its roles in the growth and development of the vocal fold. Folia Phoniatr Logop, 62: 263-270, 2010。
- 16) Sato K, Umeno T, Nakashima T : Vocal Fold stem cells and their niche in the human vocal fold. Ann Otol Rhinol Laryngol, 121 : 798-803, 2012。
- 17) Sato K : Tissue stem cells and the stem cell niche of the human vocal fold mucosa. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 18) Sato K, Chitose S, Kurita T, et al : Microenvironment of macula flava in the human vocal fold as a stem cell niche. J Laryngol Otol, 130 : 656-661, 2016。
- 19) Sato K : Mechanical regulation (cellular mechanotransduction) of the human vocal fold mucosa. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 20) Sato K : Geriatric changes of cells and extracellular matrices in the human vocal fold mucosa. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 21) Sato K, Hirano M, Nakashima T : Age-related changes of collagenous fibers in the human vocal fold mucosa. Ann Otol Rhinol Laryngol, 111 : 15-20, 2002。
- 22) Sato K, Hirano M : Age-related changes of elastic fibers in the superficial layer of the lamina propria of vocal folds. Ann Otol Rhinol Laryngol, 106 : 44-48, 1997。
- 23) Hirano M, Kurita S, Sakaguchi S : Ageing of the vibratory tissue of human vocal folds. Acta Otolaryngol, 107 : 428-433, 1989。
- 24) Sato K : Geriatric changes of the macula flava of the human vocal fold. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018。
- 25) Sato K, Hirano M : Age-related changes of the macula flava of the human vocal fold. Ann Otol Rhinol Laryngol, 104 : 839-844, 1995。
- 26) Sato K, Hirano M, Nakashima T : Age-related changes in vitamin A-storing stellate cells of human vocal folds. Ann Otol Rhinol Laryngol, 113 : 108-112, 2004。

- 27) 佐藤公則, 坂口伸治, 栗田茂二郎, 他: 高齢者喉頭の形態学的研究. 喉頭, 4: 84-94, 1992.
- 28) 鈴木 徹: 声帯筋の年齢変化-組織学的研究. 日耳鼻, 85: 1469-1481, 1982.
- 29) 佐藤秩子, 田内 久: ヒト声帯筋の加齢的变化についての微計測的研究. 日老医誌, 19: 26-32, 1982.
- 30) Sato K: The laryngeal glands. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018.
- 31) Sato K, Hirano M: Age-related changes in the human laryngeal glands. Ann Otol Rhinol Laryngol, 107: 525-529, 1998.
- 32) Sato K: Histoanatomy of the human glottis. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018.
- 33) 佐藤公則, 坂口伸治, 平野 実: 高齢者の弓状声帯の組織学的研究. 喉頭, 8: 11-14, 1996.
- 34) Sato K: Atrophy of the vocal fold. Functional Histoanatomy of the Human Larynx. Springer, Singapore, in press, 2018.
- 35) 平野 実: 声の障害とその検査の概要. 日本音声言語医学会(編) 声の検査法. 医歯薬出版, 東京, 17-33 頁, 1982.
- 36) Mysak ED: Pitch and duration characteristics of older males. J Speech Hear Res, 2: 46-54, 1959.
- 37) Hollien H, Shipp T: Speaking fundamental frequency and chronologic age in males. J Speech Hear Res, 15: 155-159, 1972.
- 38) Honjo I, Isshiki N: Laryngoscopic and voice characteristics of aged persons. Arch Otolaryngol, 106: 149-150, 1980.
- 39) 森 一功, 児島久剛, 土師知行, 他: 老人の音声の音響学的特徴. 耳鼻臨床, 81: 737-745, 1988.
- 40) McGlone RE, Hollien H: Vocal pitch characteristics of aged women. J Speech Hear Res 6: 164-170, 1963.
- 41) Ptacek PH, Sander EK, Maloney WH, et al: Phonatory and related changes with advanced age. J Speech Hear Res, 9: 353-360, 1966.
- 42) Ryan WJ: Acoustic aspects of the aging voice. J Gerontol, 27: 265-268, 1972.
- 43) Ryan WJ, Burk KW: Perceptual and acoustic correlates of aging in the speech of males. J Commun Disord, 7: 181-192, 1974.