

私が愛用する手術器具 72

喉頭注入針

田山 二郎*

Niro TAYAMA

はじめに

筆者が声帯麻痺に対する注入療法に関与して20年以上になる。当初は注入素材として常温固化型シリコンを用いていたが、諸般の事情によりシリコンの使用が困難となった。その後に注入材料として登場したのが、アテロコラーゲンや自家脂肪であり、最近ではリン酸カルシウム骨ペーストなども用いられるようになった。アテロコラーゲンは医療用充填剤として供給されており、吸収率が高いという欠点はあるものの、局所麻酔下に注入可能であるため、非常に使いやすい素材である。

本稿ではアテロコラーゲンを注入する上で筆者が古くから使用している喉頭注入針について紹介する。

I. 喉頭注入針

図1が局所麻酔下用のアテロコラーゲン注入針である。アテロコラーゲンを経口的に声帯に直接注入することを目的に、10年以上も前に作成し、現在も形状を変更することなく使用している。当時もすでに喉頭注入針は存在してはいたが、彎曲の角度がゆるく、長さが若干短いこともあり、注入操作が困難であった。そこで局所麻酔下の喉頭生検で汎用していたカールライネル喉頭鉗子を参考にして彎曲や長さなどの形状を決定し、永島医科器械に作成を依頼した。

注入時に針にかかる力と、針の内腔を満たす無駄なアテロコラーゲンの量を考慮して、針全体は肉厚で内腔は狭く設計してある。注入部の針先は、逆流防止のために25 G (外径 0.5 mm) とし、また深く刺しすぎないように、本体との間で太さ

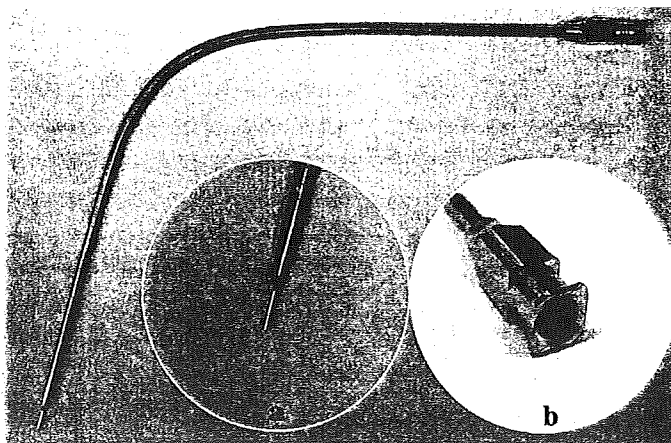


図1 局所麻酔下用喉頭注入針 (アテロコラーゲン注入針, 田山氏)

a : 針先. 25 G. 6 mm

b : 針元. ロック式注射器に対応

Key words : 声帯注入術, 喉頭注入針, 声帯麻痺, 声帯萎縮, アテロコラーゲン

* 国立国際医療センター耳鼻咽喉科・気管食道科 (〒162-8655 東京都新宿区戸山1-21-1)

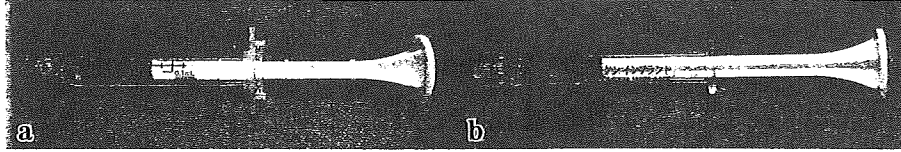


図 2 アテロコラーゲンカートリッジ

高研社製の3%アテロコラーゲンを使用している。先端のゴムキャップと手元のツバを外して専用の注入器にセットする。

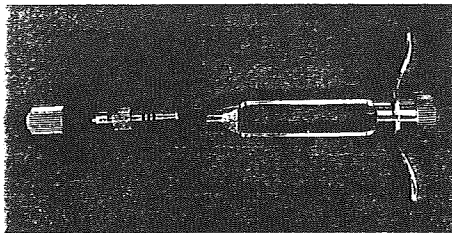


図 3 コラーゲン専用注入器
3つの部品より構成されている。

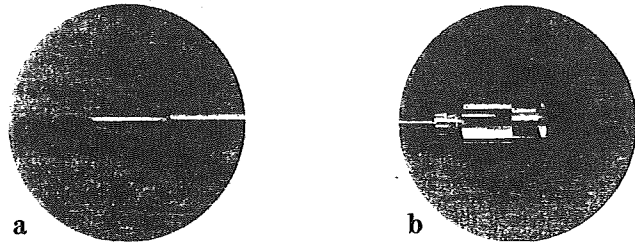


図 4 喉頭微細手術用喉頭注入針 (アテロコラーゲン注入針直)
a: 針先: 25 G, 6 mm. b: 針元: ロック式注射器に対応

を違えるとともに、6 mmの長さに設定してある(図1-a)。針の手元の部分は注入圧と汎用性を考慮してロック式とした(図1-b)。

現在注入用のアテロコラーゲンは高研社よりカートリッジ(図2)で市販されているため、専用の注入器(図3)が必要である。以前は別種のカートリッジと注入器であったものが、数年前に現行のものに変更されている。問題点としては、現在の注入器は注入時の力加減でガラスカートリッジ先端が割れるなどの不具合を生ずることがあるため、メーカーでは対応を検討しているところである。

図4は全身麻酔下の喉頭微細手術で注入するための直針である。注入時にかかる力は直線的であるため、針本体の太さは局所麻酔用に比較して細くなっている。針先(図4-a)は25 Gで長さは6 mm、針先と本体の太さも二段、針元(図4-b)もロック式と、局所麻酔用とほぼ同一の設定である。

II. 使用の実際

1. 局所麻酔下の注入術

声帯麻痺による声帯萎縮、声帯溝症、その他の声帯萎縮に対して、外来・局所麻酔下に声帯内アテロコラーゲン注入術を行っており、本注入針は大いに役立ってくれている。

注入術の手技を以下に示す。

1) キシロカインビスカスによる口腔内麻酔

2%キシロカインビスカス10 mlを口腔内に10分程度含ませる口腔内の麻酔を図る。麻酔後終了に含んだキシロカインビスカスはできるだけ吐き出させる。場合によっては本麻酔の変わりに、4%キシロカイン1~2 mlをネブライザーにて吸入させることもある。

2) キシロカイン噴霧による咽頭・喉頭麻酔

4%キシロカインで咽頭・喉頭粘膜の表面麻酔を行う。患者の呼吸に合わせ必要かつ十分な麻酔を心がける。この処置においても不要な麻酔薬は唾液とともに吐き出させる。スプレー内のキシロ



図 5 側視鏡による注入
患者自身に舌を引き出させ、術者が側視鏡を操作しつつ経口的に注入する。



図 6 注入部位
声帯膜様部の外側に穿刺し、ある程度膨隆するまで注入する。

カイン残量には常に注意を払い、使用量を確認して過量投与を防ぐ。

3) 側視鏡もしくは喉頭ファイバー下での操作
以前は間接鏡下に注入術を施行していたが、現在では、側視鏡下もしくは喉頭ファイバースコープ下にモニター観察や記録をしつつ注入術を行っている。側視鏡を使用する利点は、術者自身が内視鏡を操作しながら注入するため、助手がいなくても施行可能なことである(図5)。側視鏡による口腔内からの観察が困難な場合には、喉頭ファイバースコープ下に施行するが、内視鏡を操作する助手とのタイミングが重要になる。

4) 注入部位と量

経口的に声帯膜様部中央より若干後方に針を刺入する(図6)。注入深度は声帯筋層の外側を目標とする。粘膜下に注入されると声帯の粘膜波動が障害されるおそれがある。適切な部位に注入されると、声帯下面から膨隆が見られ、しだいに声帯全体が腫脹するようになる。吸収されることを見越して声帯が腫脹する程度まで注入する方がよいが、総量では1回1ml程度(カートリッジ1本)にとどめている。注入量が多すぎると不適な部位へ注入される危険とがあり、また穿刺部よりの逆流も多くなる。

5) 術後の観察、注意事項

注入後は30程度経過を観察する。飲食は1~2

時間後に麻酔効果が消失したことを確認の上で開始させる。術当日に発熱を見ることがあるが、おそらく誤嚥によるものと推察している。症例によっては予防的に数日抗菌薬の投与を考慮する。数日間は発声を控えさせる。

2. 喉頭微細手術下の注入

8割以上の患者において局所麻酔下での注入術が可能であろう。しかし咽頭反射が強く局所麻酔下の注入術がどうしても無理な症例では、全身麻酔により喉頭微細手術下に行くこともある。ただアテロコラーゲンの吸収率は高く、少なくとも数回の施行が予想されるため、全身麻酔下で繰り返し注入することは不合理である。喉頭微細手術による注入術においては吸収率の低い自家脂肪などの注入材料が選択されることが多くなる。

III. 声帯内アテロコラーゲン注入術の適応と効果

当初の対象は声帯麻痺による声帯萎縮症例であった。しかし、その後、声帯溝症や加齢変化に代表されるような声帯萎縮に対しても応用している。前述したようにアテロコラーゲンは吸収率が高いため、少なくとも数回の注入が必要となる。通常月1回程度の注入を基本として、音声改善効果を判断しつつ追加注入を考慮している。

治療効果としては、正中位固定の麻痺症例の声

帯萎縮の補正にはかなり効果的であり、2~3回程度の注入で安定した効果が得られることが多い。傍正中位固定の症例では、声帯後方に注入することで、声帯の内転を期待できる場合もある。その他の症例についての効果はさまざまであり、今後の検討が必要であろう。

IV. 喉頭注入針の活用法

本来はアテロコラーゲンの注入を目的として作成したものであるが、最近では慢性喉頭炎や声帯の癥痕性病変などに対するステロイド注入にも使用している。ロック式のガラス注射器（図7）などに接続できるため、さまざまな薬剤を直接喉頭に注入することが可能である。今後もこの喉頭注入針は益々役立つであろう。

まとめ

筆者らが研修を受けた時代には間接鏡を用いて局所麻酔下の喉頭生検や手術などが頻繁に行われていた。現在では電子内視鏡や処置器具の発達により局所麻酔下の手術が再び見直されてきている。本稿で紹介した喉頭注入針もその手助けとなれば幸いである

文 献

- 1) 牛島達次郎：声帯内シリコン注入術—手術手技をめぐって—。耳鼻と臨床 30 (5)：873-878, 1984.

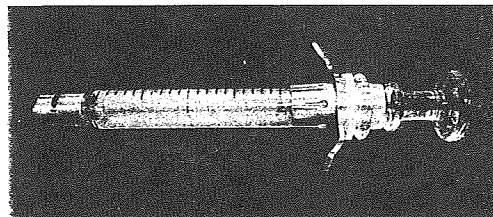


図 7 ロック式ガラスシリンジ
ステロイドなどの注入を行う際に用いる。

- 2) 田山二郎, 村上 泰, 水野正浩, 他：声帯注入術における New Type RTV-Silastic 使用の経験—付加反応型シリコンによる声帯注入—。喉頭 2 (2)：155-160, 1990.
- 3) 岡本和憲：声門閉鎖不全に対するアテロコラーゲン声帯内注入療法に関する基礎的研究。日耳鼻 90 (3)：394-403, 1987.
- 4) 田山二郎, 弓削 忠, 二藤隆春, 木村美和子：声帯内注入術の現状と将来—声帯内コラーゲン注入術。音声言語 48 (2)：158-162, 2007.
- 5) 小川佳伸, 松永 喬, 宮原 裕, 他：自家脂肪注入による声帯麻痺治療例。耳鼻臨床 87 (9)：1257-1262, 1994.
- 6) 梅野博仁, 佐藤公則, 白水英貴, 他：声帯麻痺—その基礎と臨床—声帯内脂肪注入術の基礎と臨床。喉頭 18 (2)：89-95, 2006.
- 7) 木村美和子, 二藤隆春, 今川 博, 田山二郎：一側声帯麻痺症例に対する声帯内コラーゲン注入術長期経過の検討。日気食 59 (3)：304-310, 2008.
- 8) 塩谷彰浩, 池田麻子, 富藤雅之, 他：リン酸カルシウム骨ペースト (BIOPEX) を用いた声帯内注入術。喉頭 16 (2)：127-130, 2004.

* * *

ISSN 1346-2067
文献略称 MB ENT

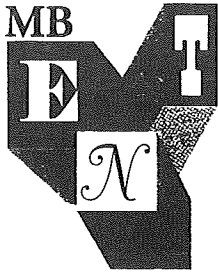
Monthly Book
ENTONI
エントーニ

No.107 別刷

すぐに役立つ耳鼻咽喉科臨床検査

2009年10月15日発行

株式会社 全日本病院出版会



◆特集・すぐに役立つ耳鼻咽喉科臨床検査 嗄声の検査

田山二郎*

嗄声の検査には、音声そのものを評価する以外に、発声器官である喉頭の検査、声帯の振動状態を調べる検査など様々な方法が行われており、これらの結果を総合して評価する必要がある。日常臨床では音声の評価としては聴覚心理的検査である GRBAS 尺度が、発声機能の評価には最長発声持続時間が用いられている。また嗄声をきたす原因を調べるために、喉頭の器質的病変を検査する様々な内視鏡検査が行われるが、喉頭を詳細に観察するには、喉頭側視鏡や電子内視鏡などが優れている。専門的に行う嗄声の評価としては、音域の評価や、声帯振動を観察するための喉頭ストロボスコーピー、発声機能検査装置を用いた喉頭機能の測定、さらに音響分析などが必要となる。基礎的な研究においてはさらに様々な検査法が施行されており、「嗄声の評価」することは非常に難しいことであるといっても過言ではない。それぞれの施設でできる検査法を組み合わせることで嗄声を評価することが望まれる。

嗄声 (hoarseness), GRBAS 尺度 (GRBAS scale), 喉頭ストロボスコーピー (laryngostroboscopy), 最長発声持続時間 (maximum phonation time ; MPT), 発声時呼気流量率 (mean air flow rate ; MFR)

はじめに

声の要素には、高さ、大きさ、長さ、音色があるといわれている。これらに異常をきたしたものが音声障害であり、嗄声 (hoarseness) はこのうち主として音色に関した音声の異常として定義される。嗄声、すなわち音声の異常をとらえるには、実際の音声の評価するだけでなく、発声器官である喉頭を評価する検査、音声の生成状態としての声帯振動を評価する検査など数多くの検査が行われている。ここでは実際の外来で行われる検査法に関して、簡易なものから記載する。

一般的な検査

特別な音声検査機器を使わずに嗄声は検査可能である。一般診療において行うべき検査を下記に解説する。

1. 音質の検査 (聴覚心理的評価)

音声の主観的評価法の1つであり、外来でも簡単に実施できる。日本音声言語医学会により提唱されているものが GRBAS 尺度であり、音声の異常を総合的な嗄声度 (grade : G) で、その異常の内容を粗糙性 (rough : R), 氣息性 (breathy : B), 無力性 (asthenic : A), 努力性 (strained : S) で表し、それぞれの項目を 0 (正常), 1 (軽度), 2 (中等度), 3 (高度) の 4 段階で評価する。以下に評価項目の詳細を説明する。

1) 粗糙性 (rough : R) : 濁った声、がらがらした声に相当する。ポリープ様声帯など。

2) 氣息性 (breathy : B) : 息漏れのある、かすれた声に相当する。反回神経麻痺などの声門閉鎖不全。

3) 無力性 (asthenic : A) : 弱々しい声をいう。音声衰弱症。

* Tayama Niro, 〒162-8655 東京都新宿区戸山 1-21-1 国立国際医療センター耳鼻咽喉科・気管食道科, 科長

4) 努力性(strained : S) : 力の入った, 力んだ声をいう. 痙攣性発声障害.

被験者には母音を自然な高さで大きさで発声させる. これを上記の要素で評価し, G2R2B1A0S1などのように表記する. 主観的な評価法であるために, 評価者により若干評価が異なることはあるが, 同一評価者が経過を比較していく上ではあまり問題を生じない. ただ, 評価の統一を図るためには, 標準的嚔声のサンプルなどにより訓練することが望ましい. 日本音声言語医学会より評価方法のDVD「動画で見る音声障害」が出版されている.

2. 最長発声持続時間(maximum phonation time ; MPT)

最大吸気させた後, 一定の高さ, 強さで母音を発声させたとき, どれだけ長く持続発声できるかを測定する検査である. 被験者に最大吸気させ, 通常の発声(楽な高さ, および強さ)で母音/a/を持続発声させる. 3回施行し, その最大値を検査値として採用する. 正常値にはばらつきがあるが, 10秒以下を異常とする. 非常に簡便に喉頭の発声効率を推定できるが, 患者の努力を要する検査であり, 被験者がどれだけ頑張るか, また, 被験者の呼吸調節や喉頭調節能力などに左右される. 努力不足の場合には本来の能力より小さな値となる. MPTが短縮する病態には肺活量の低下, 呼吸喉頭運動の異常, 声門閉鎖不全などがある.

3. 喉頭の観察

音声障害を引き起こす器質的疾患の有無を確認する手段として, 様々な内視鏡検査が行われる. それぞれ長短があるため, 状況により使い分けるべきである. なお, モニター可能なシステムの場合にはビデオ記録をしておくことが推奨される.

1) 間接喉頭鏡検査

古くから行われている簡便な喉頭の観察方法である. 咽頭反射の強い被験者には不向きであるが, 患者の体位や, 喉頭鏡の角度を変えることで, 喉頭および下咽頭をかなりの部分まで手軽に観察

できる利点がある. また, 立体視できるため左右の声帯のレベル差なども把握できる. 咽頭反射の強い例では施行が難しい, 画像の記録ができない, 患者に供覧できないなどの欠点があり, 現在では使用頻度は低下してきているが, なお有用な検査である.

2) 喉頭ファイバースコープ

経鼻的に挿入するため, 咽頭反射の強い例でも咽喉頭の観察が可能となる. また, 単純発声だけではなく, 会話や歌唱時における喉頭の観察も可能である. 接眼部をCCD(Charged Coupled Device)カメラに接続することで画像のモニターや記録が可能となる. ただ, 画像の解像度は十分であるとは言い難く, ファイバースコープのファイバー繊維とCCDカメラの画素の状況でモアレ(干渉縞)と呼ばれる現象も出現する. この場合, カメラのピントを若干ずらすことである程度解消できる. 喉頭ストロボスコープの光源への接続が可能であるが, システムによっては光量が不足する場合も多い. 最近では後述する電子内視鏡に移行しつつある.

3) 電子喉頭内視鏡

内視鏡先端部にCCDイメージセンサーを装備した内視鏡である. 近年この機器の進歩はめざましいものがあり, ハイビジョンに対応できるほどに画像解像度は向上してきている. モノクロCCDを用いて赤(red), 緑(green), 青(blue)の3色光による信号を重ね合わせた面順次撮像方式と, 赤(red), 緑(green), 青(blue)フィルタをCCD表面に並べて処理するカラーCCDの同時撮像方式とがあるが, 後述するストロボスコープに対応可能なものは同時式撮像方法である.

4) 硬性喉頭内視鏡検査(図1)

光学レンズ系の装置であるため, 非常にきれいな画像が観察できる. 経口腔的に挿入するため内視鏡は太くすることが可能であり, 明るくはっきりした像が得られる. 欠点としては, 咽頭反射の強い例では観察が難しいこと, また喉頭蓋が後方に倒れ込んでいる症例やΩ形の喉頭蓋では声門

の観察が難しいことが挙げられる。また喉頭ファイバースコープと比較すると限られた発声状態での観察となる。接眼部に CCD カメラを装着しモニターで供覧することが推奨される。

5) 直達喉頭鏡検査

直達喉頭鏡を挿入し顕微鏡下に観察する。双眼顕微鏡により立体的な観察と、喉頭の各部の触診が可能になる。また病変組織の生検を行える。視野が限られることが欠点であるが、硬性内視鏡などを組み合わせることで多角的な視野を得ることが可能である。

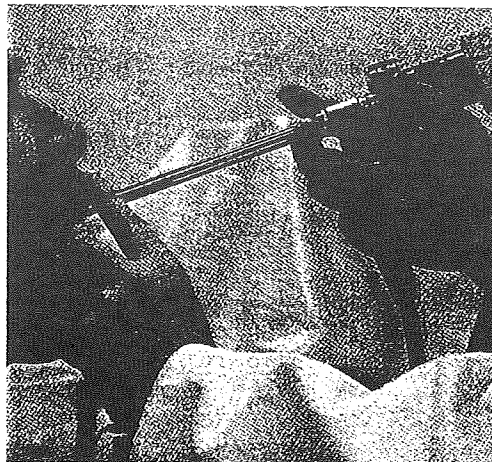


図 1. 硬性喉頭内視鏡検査

光学系の検査機器であるため、きれいな画像が得られる。一方で反射の強い患者には不向きである

専門的な検査

1. 声の高さ(pitch)の検査

声の高さに関しては、ピッチメーターを用いるよりも、ピアノ、電子オルガン、キーボードなどにより聴覚的に調べることが従来より行われている(図 2)。音域の検査は日常臨床では省略されがちだが、嗄声の出現がある一定の音域を中心に出現することもある。特に歌声に異常を検査する上では重要な検査になる。

1) 通常話声位 (speaking fundamental frequency)

日常会話における声の高さ。会話や文章を読ませたときの患者の声を聞いて、最も頻度の多い高さをキーボードの音で確認しつつ決定する。通常、話声位は声区の中央より低い位置にある。日常会話の平均的な高さは、成人男性で 120 Hz、成人女性で 240 Hz 程度である。

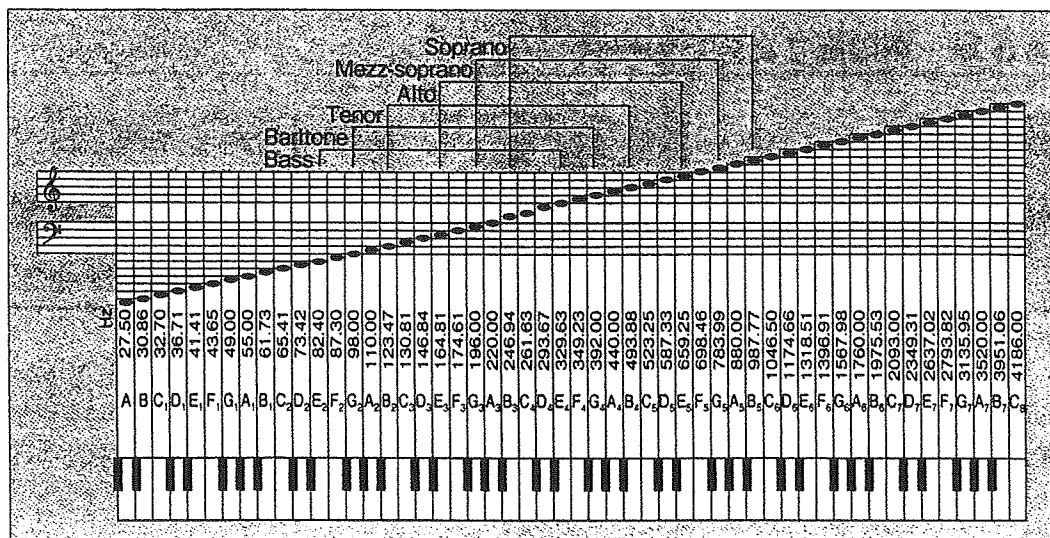


図 2. 声の高さの検査

キーボードなどを用いて音域の検査を行う(声の検査法より引用)

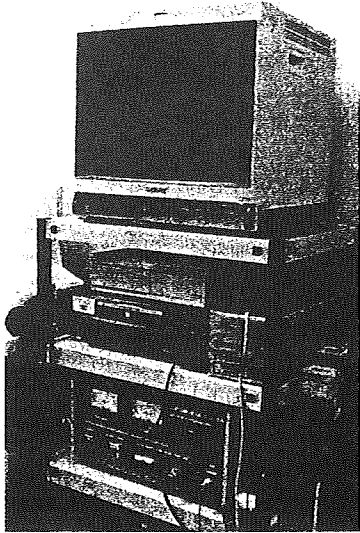


図 3.
喉頭ストロボスコーピーシステム
下段がストロボスコープ本体で、その上に記録および供覧システムを搭載している

2) 生理的声域(range of voice)

出すことのできる最も低い声から、最も高い声までの範囲、キーボードの音でどこまで出せるか誘導して調べるか、患者に声を出してもらいキーボードの音で確認する。上昇音階で声区の上限を調べるが、「おもて声(胸声、地声)」から「うら声(頭声)」の変換点を記録する。次に下降音階で声区の下限を調べる。楽器に合わせて音程のとりにくい被験者の場合には、声を合わせて誘導するか、被験者の出す声を楽器でチェックするようにす

る。成人男性で60~500 Hz(3 オクターブ)、成人女性で240~800 Hz(2.5 オクターブ)程度である。

3) 声区(register)

声区は同一の喉頭調節で発声された、同一の音質を持つ音域をいう。おもて声(地声)の胸声区の上限、すなわちうら声である頭声区との変換点および頭声区の上限、胸声区の下限について検査する。

2. 声の強さ(intensity)の検査

声の強さは高さに関連しながら変動し、これらは発声時の呼気流率とも関連が深い。従って単独で測定するより、発声機能検査装置を用いて声の高さ、呼気流率および声門下圧などと同時に測定するのが一般的であろう。特にボイスプロファイルは声の強さ、高さ、呼気流率の三者の関係を二元的に表示し、発声機能を多角的に検討することで、病的音声を鋭敏に検出するものである。

3. 喉頭ストロボスコーピー(laryngo-stroboscopy)(図3)

声帯の基本振動数に同期して断続的に発光する光で喉頭を観察すると、声帯の振動は静止してと

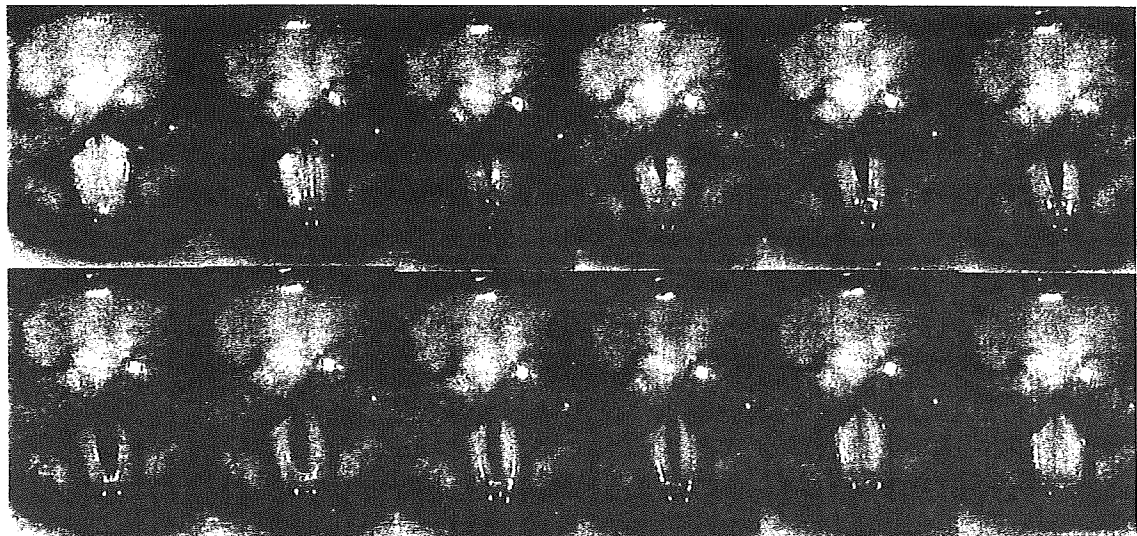


図 4. 喉頭ストロボスコーピーによる画像

左上から右下に内視鏡画面をコマ送りしている。連続で見るとスローモーション像として観察することができる



図 5. 喉頭ストロボスコープのコンタクトマイクروفオン

喉頭ストロボスコープではコンタクトマイクروفオンを前頸部に当てるなどして基本周波数を測定する。高度の嗄声のため基本周波数が検出できない場合は、本検査が施行不可能である

表 1. 喉頭ストロボスコープの評価項目

(ストロボスコープ所見)	
1. 基本振動数	_____ Hz
2. 対称性	(1) 対称, (2) 非対称(振幅, 位相)
3. 規則性	(1) 規則的, (2) ときに規則的ときに不規則, (3) 不規則
4. 声門閉鎖	(1) 完全, (2) ときに完全ときに不完全, (3) 不完全
5. 振幅	右>左, 右=左, 右<左
[右]	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) 零
病変部	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) 零
[左]	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) 零
病変部	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) 零
6. 粘膜波動	右>左, 右=左, 右<左
[右]	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) ない
病変部	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) ない
[左]	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) ない
病変部	(1) 大, (2) 正常, (3) 小, (4) ない
7. 非振動部位	
[右]	(1) ない, (2) 一部(), (3) 全体
	(2), (3) の場合 (a) ときどき, (b) 常に
[左]	(1) ない, (2) 一部(), (3) 全体
	(2), (3) の場合 (a) ときどき, (b) 常に
8. その他の特殊所見	

らえられる。この断続光の同期をわずかずらすことで声帯振動をスローモーション像として観察できる(図4)。臨床の現場で高速の声帯振動を観察できる唯一の方法といってもよい。価値ある検査方法であるが、まだ一般に普及されているとは言い難い。

検査は、声帯の基本周波数を抽出するためにコンタクトマイクروفオンを前頸部に装着し(図5)、ストロボスコープからの光源に喉頭ファイバースコープもしくは硬性喉頭内視鏡(図1)を接続し、喉頭を観察する。電子内視鏡を用いるときは同時撮像方式で、ストロボ光源に対応可能なものを用いる。画像はモニターすると同時にビデオに記録するのが望ましい。

喉頭病変と声帯振動の状況を合わせて解釈することにより、病態を推定する。評価項目を表1に示す。解析方法の1つとしてストロボキモグラフィ(ストロボグラフィ)がある。これはビデオ画像をデジタル画像処理し、声帯長軸に直行する線の画像を1コマごとに抽出して、縦方向に連結したもので、解析線上の声帯の振動状態が1枚の画像として表示・解析できる。

なお、本検査は音声の基本周波数が一定であることが前提であり、基本周波数が定常でない場合

にはスローモーション像にはみえなくなる。

4. 空気力学的検査

発声時の声門閉鎖の状態を知る指標であり、発声時呼気流率、声門下圧、声門上圧などが含まれる。これらをもとに喉頭効率や声門抵抗が算出できる。特別な測定機器が必要となるため、現状では一般的な検査とは言い難い。

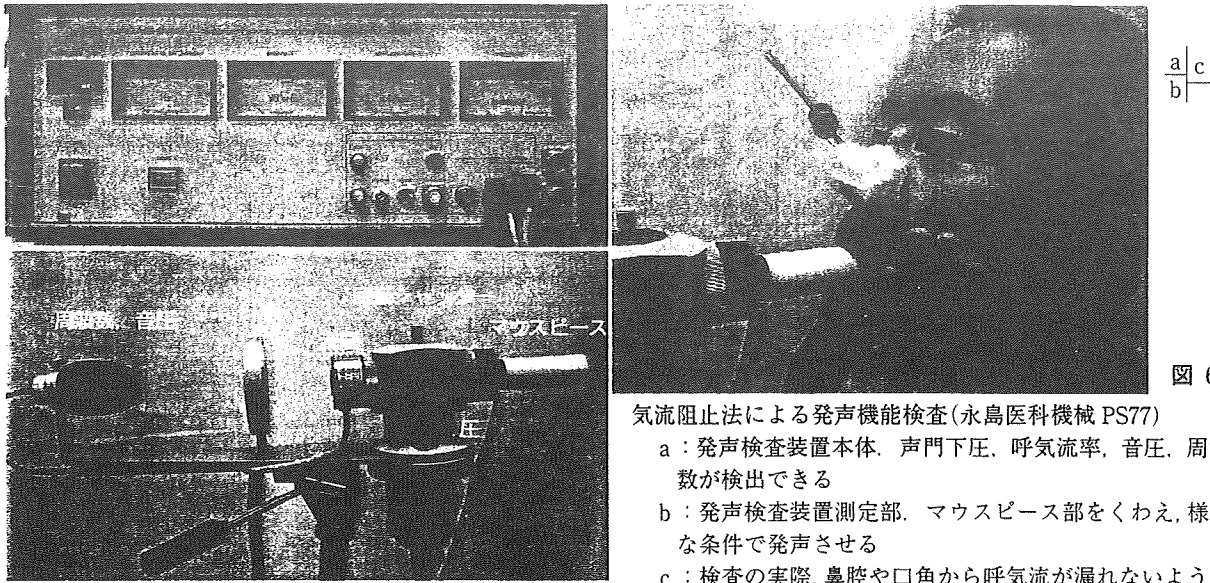
1) 発声時平均呼気流率(mean air flow rate : MFR)

発声に使われる単位時間当たりの呼気量という。実測値は専用の発声機能検査装置(図6)によって測定される。気流阻止法を用いた検査では、発声時の呼気流率、声門下圧、声の高さ、声の強さ、および最長発声持続時間(MPT)が測定できる(図7)。呼気流率に関しては楽な発声において200 ml/s以上でなんらかの声門閉鎖不全があると判定する。また80 ml/s以下の時には声門での過緊張状態か、呼気能力の低下を考える。

肺活量(vital capacity : VC)があらかじめわかっていたら、MPTよりMFRは間接的に算出可能であり、肺活量を最長発声持続時間で割った値をPQ(phonation quotient)として求められる。

$$PQ = VC/MPT$$

MPTを測定した際の呼気量と肺活量が等しけ



a | c
b |

図 6.

気流阻止法による発声機能検査(永島医科機械 PS77)

- a : 発声検査装置本体. 声門下圧, 呼気流量, 音圧, 周波数が検出できる
- b : 発声検査装置測定部. マウスピース部をくわえ, 様々な条件で発声させる
- c : 検査の実際. 鼻腔や口角から呼気流が漏れないように注意する

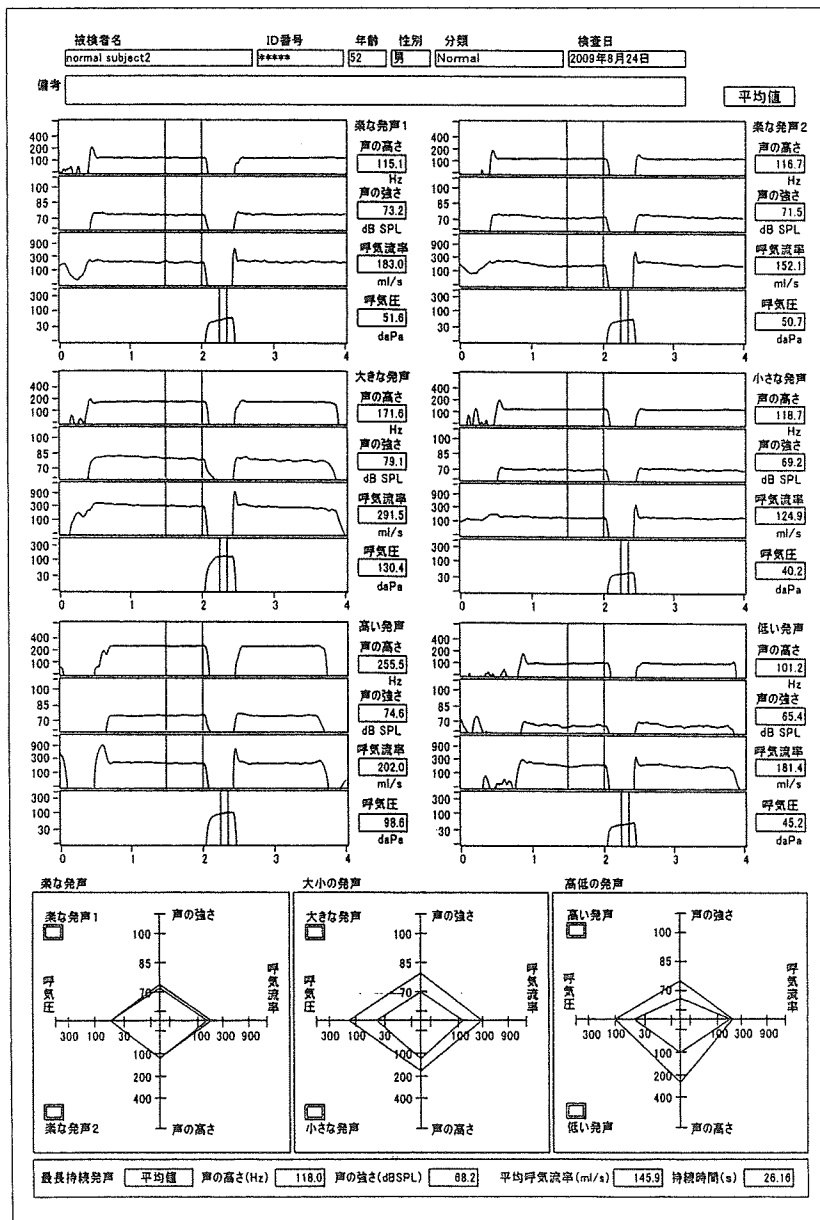


図 7.
気流阻止法の結果
様々な条件下の声門下圧, 呼気流量, 音圧, 周波数が経時的に記録される(声門下圧はシャッターを閉じた瞬間のみの測定となる)

れば、PQとMFRとは等しくなるはずであるが、算出されるPQは実測値より大きくなることが多い。通常発声時の呼気量は肺活量よりは少ないため、VCで予想されるMPTより実際のMPTは小さくなる。従って、計算されるPQは実測したMFRより大きくなることになる。

2) 声門下圧

直接的に声門下圧を測定することは困難であるため、臨床的には気流阻止法による測定がよく用いられている。安定した発声中に瞬間的に呼気流を短時間閉鎖することで、口腔内圧と肺内圧を平衡させ、呼気圧を声門下圧の近似値として得る方法である。

5. 音響分析

音響的特性を分析的に検討して、音声の評価をする。客観的なデータとして数値で得られるため、スクリーニング、音声障害の程度やその経過の評価などに有用であるが、臨床現場での必須の検査といえるまでには至っていない。

1) meanF0(平均基本周波数)

音声は複合音であり、スペクトル上最も低い周波数が基本周波数(F0)である。実際には持続母音よりその平均周波数(Hz)が求められる。

2) 基本周期のゆらぎ(Jitter)と振幅のゆらぎ(Shimmer)

声帯振動により生成された音声は機械音のように定常的ではなく、周期と振幅は変動性(ゆらぎ)を持つ。これらが大きくなると嗄声との印象がでる。

周期のゆらぎには周期変動指数(period perturbation quotient; PRQ)やジッタ係数(jitter factor; JF)などが用いられ、振幅のゆらぎでは振幅変動指数(amplitude perturbation quotient; APQ)やシマ係数(shimmer factor; SF)などが計算される。これが大きくなると聴覚的な印象では粗糙性嗄声となる。

3) 喉頭雑音成分(laryngeal noise component)

雑音成分を分離し、その大きさを計量化する指

標がいくつか提案されている。調波成分と雑音成分のエネルギー比(HNR: harmonics-to-noise ratio)は、比の対数をとって10倍しdBで表す。音声エネルギーで全体に占める雑音成分のエネルギーを表した規格化雑音エネルギー(normalized noise energy; NNE)は%で表わされる。

4) サウンドスペクトログラム(sound spectrogram)

音声に含まれた各周波数成分の強弱の変化を経時的に表示したパターンと、ある時点での時刻における周波数の強度を表示するセクションとがある。多くの音声情報を視覚的に観察することに適しているため、定性的な検査として有用とされる。

研究的検査方法

音声の基礎研究においては様々な検査が行われている。

1. 電気グロトグラフィー(electro-glottography; EGG)

左右の甲状軟骨板外側の皮膚面に電極をおいて高周波電流を流し、声門の閉鎖による電気的インピーダンスの変化を検出することで、声門が閉鎖しているときの左右の声帯の接触面積の変化をとらえることができるといわれている。

甲状軟骨の声帯レベルの皮膚面に左右1対の電極を接触させ、接触面積の変化を波形として得る。発声時内視鏡検査で声門が確認しにくい症例で、声帯振動の有無や程度を推定することは可能であるが、器質的病変が特定できる検査ではない。非侵襲的検査で声帯振動や声門閉鎖の情報が得られるため、音声訓練におけるバイオフィードバックへの利用が臨床的には考えられる。

2. 光電グロトグラフィー(photo-electrical glottography; PGG)

声門の上方あるいは下方に照明をいれ、その反対側で光電変換素子により光量を観察することで、声門面積の変化が計測できる。声門の開大期、閉小期、閉鎖期などを区別することができ、OQ(open quotient: 開放時間率)やSQ(speed quo-

tient：開閉速度率)などの指標値を知ることができる。

通常は内視鏡で観察しつつ、その光源を用いて声門下の前頸部皮膚面に光電変換素子のプローブを装着させて光量を計測することが多い。本検査より得られるものは声門面積の相対的な変化であって、面積の絶対値は得られない。また照明の入り具合によって得られる数値は変動し易い。研究的にも他の検査法と併用して使われることが多く、臨床的応用としてはほとんど利用されない。

3. 高速度デジタル撮影

高速度デジタルカメラを喉頭内視鏡に接続させて声帯を撮影し、記憶したイメージをスローモーションで再生する。喉頭ストロボスコープがいくつかの声帯振動画面の平均的画像であるのに対し、各々の振動画面がとらえられる。

喉頭側視鏡もしくはファイバースコープの接眼部に高速度デジタルカメラを接続し撮影する。画像はデジタルイメージとしてメモリ内に記憶され、これらをコンピュータにより再生する。デジタルイメージであるため、様々な画像ソフトで解

析することが容易になる。

元来、高速度デジタルカメラは工業用に開発されたもので、内視鏡撮影のために感度が設定されているわけではない。このため高速度撮影において十分量の光量を得るには、高出力光源と硬性喉頭鏡の使用が必要であり、喉頭ファイバースコープを使用する際には、かなり明るいものが要求される。米国製の高速度デジタルカメラシステムも使用可能であるが、いずれのものも未だ高価であり、コスト対効果を考えると、臨床的利用としては喉頭ストロボスコープに軍配が上がる。

文 献

- 1) 小林武夫(編)：図解耳鼻咽喉科検査法。金原出版，1983。
- 2) 日本音声言語医学会(編)：声の検査法—臨床編第2版。医歯薬出版，1994。
- 3) 日本音声言語医学会(編)：声の検査法—基礎編第2版。医歯薬出版，1994。
- 4) 小宮山莊太郎(編)：発声障害外来—嗄声の診断と治療—。メジカルビュー社，2000。
- 5) 日本音声言語医学会(編)：新編声の検査法。医歯薬出版，2009。

原 著

加齢に伴う音声の変化 ——音響学的手法を用いた解析——

西尾 正輝¹⁾ 田中 康博²⁾ 新美 成二³⁾

要 約：健常成人発話者 262 例（青年群 200 例，老年群 62 例）を対象として，青年期以降の加齢に伴う音声の変化について音響学的に解析し，主に以下の結果を得た．男性では，基本周波数に関する計測では T_0 が短くなり F_0 が上昇し，周期のゆらぎに関する計測では Jitt, RAP, PPQ で上昇し，振幅のゆらぎに関する計測では，Shim と APQ を含めて全体的に上昇し，雑音に関する計測では SPI で上昇し，震えに関する計測では ATRI で上昇する傾向を呈した．女性では，基本周波数に関する計測では T_0 が延長し F_0 が低下し，周期と振幅のゆらぎに関する計測ではほぼ変動が乏しく，雑音に関する計測では NHR で上昇し VTI で低下し，震えに関する計測では ATRI で上昇する傾向を呈した．今回得られた知見ならびに正常範囲に関するデータは，加齢による生理的变化の範囲内の音声と病的音声との識別上臨床的に意義のあるものと思われる．

索引用語：加齢，音声，Multi-Dimensional Voice Program，音響分析

Analysis of Age-Related Changes in the Acoustic Characteristics of the Voice

Masaki Nishio¹⁾, Yasuhiro Tanaka²⁾ and Seiji Niimi³⁾

Abstract: The subjects were 262 healthy volunteers: 200 young and 62 elderly. Age-related changes in voice profile after adolescence were acoustically analyzed using the Multi-Dimensional Voice Program (MDVP) produced by KayPENTAX. The results were as follows:

1. Age-related changes in the voice profiles of the male subjects were as follows: fundamental frequency information measurements showed that T_0 shortened and F_0 increased; frequency perturbation measurements demonstrated that Jitt, RAP and PPQ increased; amplitude perturbation measurements showed that all parameters, including Shim and APQ, increased; noise-related measurements indicated that SPI increased; and tremor-related measurements demonstrated that ATRI increased.

2. Age-related changes in the voice profiles of the female participants were as follows: fundamental frequency information measurements demonstrated that T_0 elongated and F_0

新潟医療福祉大学言語聴覚学科¹⁾，同 大学院²⁾：〒950-3198 新潟県新潟市北区島見町 1398

国際医療福祉大学言語聴覚学科³⁾：〒324-8501 栃木県大田原市北金丸 2600-1

¹⁾ Department of Speech, Language and Hearing Sciences, ²⁾ Graduate School of Health and Welfare, Niigata University of Health and Welfare: 1398, Shimami-cho, Niigata 950-3198, Japan

³⁾ Department of Speech and Hearing Sciences, International University of Health and Welfare: 2600-1, Kitakanemaru, Ohtawara, Tochigi 324-8501, Japan

2008 年 2 月 15 日受稿 2008 年 9 月 1 日受理

decreased; frequency and amplitude perturbation measurements were mostly unchanged; noise-related measurements indicated that NHR increased and VTI decreased; and tremor-related measurements showed that ATRI increased.

The above findings indicated that the normal range for each acoustic parameter needs to be set for each gender and age group. The data obtained from the present study and the data related to normal ranges are clinically significant for differentiating between normal age-related physiological changes in the voice and pathological voice.

Key words: aging, voice, Multi-Dimensional Voice Program, acoustic analysis

はじめに

病的音声を音響学的手法を用いて非侵襲的に評価する試みは1960年代から行われるようになり¹⁾、医学的診断ならびに治療に貢献する可能性について検討が進められてきた。コンピュータ技術ならびに音声信号処理技術の急速な発展に伴い、その解析技術は飛躍的に向上し、反回神経麻痺、声帯溝症、声帯ポリープ、喉頭癌などの喉頭疾患における音声の特徴を把握するにあたり、音響学的テクニックを用いた音声の解析が有用であることが示唆されている²⁻⁴⁾。

ところが、現状では音響学的手法が積極的に音声障害の臨床現場で用いられることはなおも少ない。その主な理由として、1) 簡便に解析可能な装置の開発段階にはいたっておらずこのため、2) 解析に多大な時間を要することなどが指摘されてきた⁵⁾。KayPentax社製 Multi-Dimensional Voice Program (以下、MDVP) とは、こうした音声の音響学的解析技術の臨床的応用を目的として開発されたソフトウェアであり、表1に示した33種の音声パラメーターを簡便で客観的かつ定量的に測定可能である。有声の持続母音をサンプルとして解析し、結果を即座に図ならびに数値にて表示することが可能である。本システムの臨床的有用性に関する報告例は、近年相次いでいる⁶⁻⁹⁾。また、本プログラムの信頼性については、Kentら⁶⁾、西尾ら¹⁰⁾、Cardingら¹¹⁾によって裏づけられている。

他方で、成人期における加齢に伴う音声の変化について多数のパラメーターを用いて音響学的に測定した報告例は乏しい。聴覚的印象として老人の音声の変化が指摘されてきたが¹²⁻¹⁴⁾、臨床現場において老人の音声が生理的な変化によるものか病的なものかを識別するには、健常成人を対象とした加齢に伴う音声の変化に関する多面的データの必要性が強調されてきた^{8,13,15-17)}。

そこで本研究では、日本語を母国語とし喉頭疾患を

表1 MDVPのパラメーター一覧

音響パラメーター	略称	単位
1. 基本周波数に関する計測		
Average pitch period	T ₀	msec
Average fundamental frequency	F ₀	Hz
Highest fundamental frequency	F _{hi}	Hz
Lowest fundamental frequency	F _{lo}	Hz
Standard deviation of F ₀	STD	Hz
Phonatory F ₀ -range in semitones	PFR	個
Length of analyzed sample	Tsam	sec
Number of pitch periods	PER	個
Total number of segments	SEG	個
2. 周期のゆらぎに関する計測		
Absolute jitter	Jita	μsec
Jitter percent	Jitt	%
Relative average perturbation	RAP	%
Pitch period perturbation quotient	PPQ	%
Smoothed pitch period perturbation quotient	sPPQ	%
Fundamental frequency variation	vFo	%
3. 振幅のゆらぎに関する計測		
Shimmer in dB	ShdB	dB
Shimmer percent	Shim	%
Amplitude perturbation quotient	APQ	%
Smoothed amplitude perturbation quotient	sAPQ	%
Peak amplitude variation	vAm	%
4. ボイスブレイク (voice-breaks) に関する計測		
Degree of voice breaks	DVB	%
Number of voice breaks	NVB	個
5. 分周波 (sub-harmonic) に関する計測		
Degree of sub-harmonics	DSH	%
Number of sub-harmonic segments	NSH	個
6. 音声不整 (voice-irregularity) に関する計測		
Degree of voiceless	DUV	%
Number of unvoiced segments	NUV	個
7. 雑音に関する計測		
Noise to harmonic ratio	NHR	なし
Voice turbulence index	VTI	なし
Soft phonation index	SPI	なし
8. 震えに関する計測		
F ₀ -tremor intensity index	FTRI	%
Amplitude tremor intensity index	ATRI	%
F ₀ -tremor frequency	Fftr	Hz
Amplitude-tremor frequency	Fatr	Hz

認めない健常青年 200 例ならびに健常老人 62 例を対象として、MDVP プログラムを用いて加齢に伴う変化を音響学的に測定することを目的とする。

方 法

対象は、アンケート調査（付表 1）にておおむね健康で喉頭疾患の既往がなく、かつ聴覚的に音声に反回神経麻痺などの喉頭疾患に起因すると推察される類の病的な特徴を認めないことが確認できた健常青年 200 例（男性 100 例、女性 100 例、以下、青年群）および健常老人 62 例（男性 33 例、女性 29 例、以下、老年群）である。青年群における男性の平均年齢は 21.5 歳（SD=1.82）、年齢範囲は 19～29 歳である。女性の平均年齢は 21.3 歳（SD=1.90）、年齢範囲は 19～31 歳である。統計学的に男女両群の年齢に有意差は認めなかった。老年群における男性の平均年齢は 68.5 歳（SD=4.9）、年齢範囲は 61～78 歳である。女性の平均年齢は 66.1 歳（SD=4.4）、年齢範囲は 60～76 歳である。統計学的に男女両群の年齢に有意差は認めなかった。

これらの対象に対して、筆者の一人である耳鼻咽喉科医が側視型硬性喉頭鏡を用いて喉頭を観察し、明らかな器質的病変や声帯運動障害を認めないことを確認した。

これらの対象に、防音室にて母音[a]を習慣的な声の高さと大きさで約 5 秒間持続発声させ DAT (SONY, TCD-D10) に収録した。収録時のマイク (Shure, SM48) と口唇間の距離は 15 cm と一定にした。母音[a]の持続発声を用いたのは、多数の先行報告例^{6,7)}に従ったものであり、最も容易に発声機能を測定できる条件であることによる。

音声サンプルは Computer Speech Lab (Kay, CSL4400) ならびに MDVP (Model 3900) に入力し、サンプリング周波数 44.1 kHz、16 ビット量子化にて解析した。解析に際しては持続発声中央の定常区間の約 3 秒間とし、発声の起始ならびに停止の過渡区間は解析対象から除いた。解析対象の時間長を約 3 秒としたのは、1) 本プログラムに含まれている各パラメーターを解析するにあたり信頼できる測定値を得るのに十分な持続時間であること、2) 本結果を臨床的に応用するにあたり音声障害患者が発声持続可能な範囲内であると考えられることによる^{6-8,10)}、測定は連続して 2 回実施し、両者の平均値を求めた。

結 果

表 2, 3 に、男性群および女性群における各パラメ

ターの平均ならびに標準偏差をそれぞれ示した。表中には、青年群と老年群を比較検討した統計処理結果を添えた。ボイスブレイク、分周波数、音声不整に関するすべてのパラメーターは、予測されたとおり、健常者では値が 0 となったため、表中から省いた。また、基本周波数に関する Tsam (length of analyzed sample)、PER (number of pitch periods)、SEG (total number of segments) は分析対象とする時間長に依存するものであることから、表中から省いた。

男性群では、基本周波数に関する計測では、解析を行った 6 つのパラメーターすべてで有意差を認めた (スチューデントの t 検定を使用、以下、同)。周期のゆらぎに関する計測では、Jitt (jitter percent)、RAP (relative average perturbation)、PPQ (pitch period perturbation quotient) で有意に高値を示した。振幅のゆらぎに関する計測では、5 つのパラメーターすべてで有意に高値を示した。雑音に関する計測では、SPI (soft phonation index) でのみ有意に高値を示した。震えに関する計測では、ATRI (amplitude tremor intensity index) でのみ有意に高値を示した。

女性群では、基本周波数に関する計測では、解析を行った 6 つのパラメーターすべてで有意差を認めた。周期のゆらぎに関する計測では、vF₀ (fundamental frequency variation) でのみ有意に高値を示した。振幅のゆらぎに関する計測では、sAPQ (smoothed amplitude perturbation quotient) と vAm (peak-amplitude variation) で有意に高値を示した。雑音に関する計測では、NHR (noise to harmonic ratio) と VTI (voice turbulence index) で有意差を認めた。震えに関する計測では、ATRI でのみ有意に高値を示した。

表 4 に、今回の結果から得られたデータより、健常老人における正常 (基準) 範囲として平均 ± 1.96 SD を示した。

考 察

従来から加齢に伴い喉頭に構造的変化が生じることが知られており、男性では声帯の弓状化、萎縮、声帯溝形成などが報告されている¹⁸⁻²¹⁾。女性ではこうした傾向は著明ではなく、浮腫が生じる傾向にあると報告されている²²⁾。成人期において加齢により音声に変化が生じることが周知のことであるが、こうした喉頭の構造的変化に加えて、神経・筋系の老化に伴う呼吸調節と喉頭調節の機能的低下、内分泌系の老化などに起因して音声の変化が生じるものと推察される。一般

表2 男性群の解析結果

パラメーター (単位)	老年群 (N=33)			青年群 (N=100)		
	例数	平均	標準偏差	例数	平均	標準偏差
基本周波数に関する計測						
T ₀ (msec)	33	6.945***	1.142	100	7.739	1.123
F ₀ (Hz)	33	147.822***	25.420	100	132.049	19.735
F _{hi} (Hz)	33	157.443*	27.372	100	135.614	21.100
F _{lo} (Hz)	33	139.787**	25.325	100	128.158	19.509
STD (Hz)	33	2.215***	0.999	100	1.304	0.372
PFR (個)	33	3.136***	1.354	100	2.105	0.504
周期のゆらぎに関する計測						
J _{ita} (μsec)	33	51.414 NS	28.854	100	41.203	20.572
J _{itt} (%)	33	0.753**	0.438	100	0.528	0.249
RAP (%)	33	0.438**	0.281	100	0.302	0.156
PPQ (%)	33	0.440**	0.263	100	0.306	0.142
sPPQ (%)	33	0.812 NS	0.215	100	0.609	0.175
vF ₀ (%)	33	1.564 NS	1.005	100	0.989	0.273
振幅のゆらぎに関する計測						
ShdB (dB)	33	0.352***	0.143	100	0.245	0.086
Shim (%)	33	3.995***	1.629	100	2.768	0.970
APQ (%)	33	3.227***	1.100	100	2.191	0.718
sAPQ (%)	33	5.229***	1.821	100	4.025	1.524
vAm (%)	33	17.288***	7.505	100	9.672	3.264
雑音に関する計測						
NHR (なし)	33	0.135 NS	0.013	100	0.139	0.013
VTI (なし)	33	0.042 NS	0.013	100	0.047	0.011
SPI (なし)	33	14.097*	5.969	100	10.761	5.260
震えに関する計測						
FTRI (%)	32	0.426 NS	0.235	97	0.333	0.169
ATRI (%)	29	6.529***	2.714	80	2.990	2.063
Fftr (Hz)	32	3.783 NS	0.988	93	3.865	1.034
Fatr (Hz)	28	4.114 NS	1.587	79	3.648	1.293

*: P < 0.05, **: P < 0.01, ***: P < 0.001, NS: not significant (青年群との比較)

に、老人の音声の特徴として粗糙性嘔声、氣息性嘔声、無力性嘔声が指摘されてきた^{12-14,16,19)}。性別については、老人男性では氣息性嘔声を認めると示唆するもの^{22,24)}、老人女性では粗糙性嘔声を認めると示唆するもの¹⁹⁾が散見される。

他方で、病的音声の主な音響学的特徴として、雑音成分の増強、周期のゆらぎの増大、振幅のゆらぎの増大などが指摘されてきた^{1-3,25-27)}。しかし、加齢に伴う成人期の音声の変化について同時に多数のパラメーターを用いて精密に比較検討した先行報告例は乏しい。加齢に伴う成人期の音声の変化を明らかにすることは、病的音声との識別にも有用な情報となると思われる。そこで、今回健常青年200例と健常老人62例を比較検討した。

その結果、基本周波数に関する計測パラメーターでは、男女両群で解析を行った6つのパラメーターすべてで有意差を認めた。男性群ではT₀ (average

pitch period) が短くなりF₀ (average fundamental frequency) が上昇するのに対して、女性群ではT₀が延長しF₀が低下したのは一連の先行報告で示されたとおりの結果である。

周期と振幅のゆらぎに関する計測パラメーターにおいて男性群では多数のパラメーターで有意に高値を示した。個人差については、標準偏差から見ると、周期および振幅のゆらぎに関するすべてのパラメーターで老年群で増大する傾向が明らかであった。本結果は、加齢に伴い健常老人男性はピッチの変動率が増大とする先行報告^{16,28-32)}、振幅の変動性が増大とする先行報告^{16,31,32)}、個人差が増大とする先行研究^{16,32)}を支持するものである。

男性では加齢に伴い声帯が弓状化することが知られており、菊地³³⁾は弓状化の程度が著しいほどPPQとAPQ (amplitude perturbation quotient)が増大する傾向を報告している。したがって、こうした声帯の構

表3 女性群の解析結果

パラメーター (単位)	老年群 (N=29)			青年群 (N=100)		
	例数	平均	標準偏差	例数	平均	標準偏差
基本周波数に関する計測						
To (msec)	29	4.579***	0.644	100	4.016	0.397
F ₀ (Hz)	29	222.717***	31.793	100	251.470	24.378
F _{hi} (Hz)	29	233.462***	35.578	100	259.405	24.820
F _{lo} (Hz)	29	208.985***	34.633	100	243.491	24.616
STD (Hz)	29	2.540***	1.045	100	2.329	0.927
PFR (個)	29	2.638***	1.356	100	2.105	0.592
周期のゆらぎに関する計測						
Jita (μ sec)	29	26.588 NS	18.392	100	32.193	22.796
Jitt (%)	29	0.588 NS	0.439	100	0.798	0.552
RAP (%)	29	0.358 NS	0.270	100	0.480	0.334
PPQ (%)	29	0.342 NS	0.255	100	0.469	0.317
sPPQ (%)	29	0.646 NS	0.360	100	0.586	0.291
vF ₀ (%)	29	1.122*	0.377	100	0.933	0.375
振幅のゆらぎに関する計測						
ShdB (dB)	29	0.249 NS	0.142	100	0.263	0.093
Shim (%)	29	2.812 NS	1.543	100	3.016	1.058
APQ (%)	29	2.147 NS	1.183	100	2.073	0.682
sAPQ (%)	29	3.939***	1.617	100	3.006	1.102
vAm (%)	29	14.885***	5.183	100	9.448	3.569
雑音に関する計測						
NHR (なし)	29	0.127**	0.014	100	0.120	0.013
VTI (なし)	29	0.039**	0.011	100	0.046	0.012
SPI (なし)	29	8.088 NS	3.484	100	9.033	4.642
震えに関する計測						
FTRI (%)	29	0.354 NS	0.187	96	0.242	0.105
ATRI (%)	24	5.572***	3.090	70	3.167	2.333
Fftr (Hz)	29	4.512 NS	1.721	91	4.435	1.319
Fatr (Hz)	24	3.466 NS	1.208	68	3.700	1.479

*: P < 0.05, **: P < 0.01, ***: P < 0.001, NS: not significant (青年群との比較)

造的变化がゆらぎに関する計測パラメーターの増大に関与している可能性があり、今後の検討を要する。

これに対して今回の結果では、女性において周期ならびに振幅のゆらぎに関する計測パラメーターでは加齢に伴う変動が乏しいことが示された。先行研究では、健常老人女性では加齢に伴いピッチの変動率について低下したとする報告³⁴⁾、変化を認めなかったとする報告³⁵⁻³⁷⁾、増大したとする報告³⁸⁾があり見解の一致が得られていない。振幅の変動率についても、変化を認めなかったとする報告^{37,39)}と増大したとする報告³⁶⁾があり見解の一致が得られていない。個人差については、今回、標準偏差から見ると、周期のゆらぎに関するパラメーターでは老年群で増大する傾向は見られなかったが、振幅のゆらぎに関するパラメーターでは老年群で増大する傾向が明らかであった。

ただし声のピッチの安定性を平均ピッチ周期の標準偏差、すなわち STD (standard deviation of F₀) か

ら解釈する傾向もあるが、Awan³⁷⁾、Linville³⁹⁾、Xue⁴⁰⁾らは、STDで高値を呈するからといって jitterでも高値を呈するとは限らないことを示唆している。また Xue⁴⁰⁾は男性老年群は女性老年群と比較して jitterは有意に高かったが、基本周期の変動率は逆に男性老年群で有意に小さかったと報告している。今回の結果でも、統計学的に有意差は認めなかったものの、jitterでは男性老年群のほうが高かったが、STDでは逆に男性老年群のほうが小さく (jitterで p=0.145, STDで p=0.216)、Xue⁴⁰⁾の報告と類似する傾向を認めた。

すなわち、声のピッチの変動率についてはこれまでに多数の測定パラメーターが提唱されており、この点で先行研究間で混乱が生じている。加えて、Linville¹⁶⁾が指摘しているように女性の先行研究ではゆらぎの測定にかかわる適切な要因 (発声時の音圧や平均 F₀、解析システムなど) が十分に制御されてい

表4 今回の結果から健常老人の正常範囲として平均±1.96 標準偏差の範囲を示す

パラメーター (単位)	男性群	女性群
基本周波数に関する計測		
To (msec)	4.707~ 9.183	3.317~ 5.841
F ₀ (Hz)	97.999~173.242	160.403~285.031
F _{hi} (Hz)	103.794~211.092	163.729~303.195
F _{lo} (Hz)	90.150~189.424	141.104~276.866
STD (Hz)	0.257~ 4.173	0.492~ 4.588
PFR (個)	0.482~ 5.790	0 ~ 5.298
周期のゆらぎに関する計測		
Jita (μsec)	0 ~107.968	0 ~ 62.636
Jitt (%)	0 ~ 1.611	0 ~ 1.448
RAP (%)	0 ~ 0.990	0 ~ 0.887
PPQ (%)	0 ~ 0.955	0 ~ 0.842
sPPQ (%)	0.391~ 1.233	0 ~ 1.352
vF ₀ (%)	0 ~ 3.534	0.383~ 1.861
振幅のゆらぎに関する計測		
ShdB (dB)	0.072~ 0.632	0 ~ 0.527
Shim (%)	0.802~ 7.188	0 ~ 5.836
APQ (%)	1.071~ 5.383	0 ~ 4.466
sAPQ (%)	1.660~ 8.798	0.769~ 7.109
vAm (%)	2.578~ 31.998	4.726~ 25.044
雑音に関する計測		
NHR (なし)	0.110~ 0.160	0.100~ 0.154
VTI (なし)	0.017~ 0.067	0.017~ 0.061
SPI (なし)	2.398~ 25.796	1.259~ 14.917
震えに関する計測		
FTRI (%)	0 ~ 0.887	0 ~ 0.721
ATRI (%)	1.210~ 11.848	0 ~ 11.628
Fftr (Hz)	1.847~ 5.719	1.139~ 7.885
Fatr (Hz)	1.003~ 7.225	1.098~ 5.834

下限 (平均-1.96 SD) が負の値を示すものは0として示す。

ない点もこうした混乱を招いているものと思われる。

声帯ポリープ患者、反回神経麻痺患者、声門癌患者などにおける病的音声のゆらぎの特徴として jitter と shimmer が特に知られており、その他 Koike⁴¹⁾ により考案された PPQ と APQ も重視されてきた^{26,42-44)}。喉頭疾患に伴う病的音声ではこうした周期と振幅のゆらぎの両者が付随して異常値を示すことも少なくないと報告されており^{2,43)}、van Asら⁴⁵⁾ は jitter と shimmer は互いに強く関連していると報告している。健常者でも加齢に伴い男性はピッチと振幅の両者の変動率が概して増大するのに対して女性では変化が乏しいという今回の知見ならびに正常範囲に関するデータは、加齢による生理的変化と病的音声との識別上臨床的にも意義のあるものと思われる。また、青年群では Jitt, RAP, PPQ, Shim (shimmer percent) と APQ といった一般に重視されているパラメーターのすべてで女性群のほうが高いかほぼ均等であるのに対して、老年群ではこれらすべてで男性群のほうが高いという今

回の結果も意義のあるものである。Nicastriら⁴⁶⁾ は平均 31.6 歳 (19~59 歳) を対象として検討したところ、振幅のゆらぎに関する各パラメーターでは性差を認めなかったことから正常範囲を性別に設定する必要がないと結論づけているが、こうした見解は加齢に伴う変化を見落としており、正常範囲は性別かつ年齢層別に検討される必要があるといえるであろう。

雑音に関する計測パラメーターにおいて今回の結果では、男性群では SPI で高値を示したが、このパラメーターは声門閉鎖不全を示唆するとされる⁴⁷⁾。喉頭雑音は従来から声門閉鎖不全とそれに起因する氣息性嘔声に關与しているものと推察されており^{43,48)}、SPI はその類の成分として理解できると思われる。

これに対して女性群では、喉頭雑音を反映するパラメーターのなかでも NHR で高値を示し VTI で低値を呈し SPI では青年群と有意差がなかった。健常老人において SPI は男性では女性より高値を示すという今回の結果は 84 名の健常老人を対象として MDVP

を用いて検討した Xue ら⁴⁰⁾ の報告と一致する。一般に老人女性は青年女性よりも声門閉鎖が確実になされる傾向にあるとされており、その理由として、加齢に伴う筋組織の構造的変化により青年女性にしばしば見られる後部声門の閉鎖不全傾向が消失することが指摘されている^{16,49)}。今回の SPI の結果もこの点から解釈することができるであろう。

喉頭疾患ではしばしば喉頭雑音が発生することが報告されており²⁾、先に論じたゆらぎにかかわるパラメーターと同様に、今回得られた正常範囲に関するデータは、病的音声との識別上有用と思われる。

震えに関する計測パラメーターでは、男女両群で ATRI でのみ高値を示した。本結果は、喉頭調節機能よりも呼吸調節機能の低下により呼吸圧の変動性が增大することに起因して振幅の変動性が增大しているものと推察される。

従来、加齢に伴う音声の音響学的変化について検討する際に、しばしば基本周波数、周期のゆらぎ、振幅のゆらぎ、雑音といった特定の側面のみを取り上げて論じられる傾向があった。しかし加齢に伴う音声の変化について論じる際には、特定の属性について部分的に取り上げて論じるのではなく、包括的に取り上げて論じることで精緻な検討を行うことができるであろう。この点で、MDVP は臨床的に有用であると思われる。

音響学的結果と聴覚的ならびに生理学的評価との対応についてはなおも不明な点が多く、その他職業などの環境要因、喫煙や飲酒などの生活習慣も含めて今後検討を深めたい。

謝辞：本研究にご協力賜った王麗萍先生に深謝する。

文 献

- Lieberman P: Some acoustic measures of the fundamental periodicity of normal and pathologic larynges. *J Acoust Soc Am*, 35: 344-353, 1963.
- 今泉 敏, 比企静雄, 平野 実, 他: サウンド・スペクトログラフによる病的音声の分析. *日本音響学会誌*, 36: 9-16, 1980.
- Kasuya H, Ogawa S, Mashima K, et al: Normalized noise energy as an acoustic measure to evaluate pathologic voice. *J Acoust Soc Am*, 80: 1329-1334, 1986.
- 森 大毅, 小田和浩明, 小野辰矩, 他: 喉頭がんスクリーニングのためのインターネットを利用した音声の音響評価システム. *日本音響学会誌*, 62: 193-198, 2006.
- 粕谷英樹: 音響分析による音声の解析. *音声言語医学*, 29: 194-199, 1988.
- Kent RD, Vorperian HK and Duffy JR: Reliability of the multi-dimensional voice program for the analysis of voice samples of subjects with dysarthria. *Am J Speech Lang Pathol*, 8: 129-136, 1999.
- Kent RD, Kent JF, Duffy, JR, et al: Ataxic dysarthria. *J Speech Lang Hear Res*, 43: 1275-1289, 2000.
- Kent RD, Vorperian HK, Kent JF, et al: Voice dysfunction in dysarthria: application of the Multi-Dimensional Voice Program. *J Commun Disord*, 36: 281-306, 2003.
- Hartl DM, Hans S, Vaissière J, et al: Objective voice quality analysis before and after onset of unilateral vocal fold paralysis. *J Voice*, 15: 351-361, 2001.
- 西尾正輝, 新美成二: Multi-Dimensional Voice Program を用いた音声の解析. *総合リハ*, 30: 927-933, 2002.
- Carding PN, Steen IN, Webb A, et al: The reliability and sensitivity to change of acoustic measures of voice quality. *Clin Otolaryngol*, 29: 538-544, 2004.
- Ryan WJ and Burk K: Perceptual and acoustic correlates of aging in the speech of males. *J Commun Disord*, 7: 181-192, 1974.
- Mueller PB: The aging voice. *Semin Speech Lang*, 18: 159-169, 1997.
- Gorham-Rowan MM and Laures-Gore J: Acoustic-perceptual correlates of voice quality in elderly men and women. *J Commun Disord*, 39: 171-184, 2006.
- 廣瀬 肇: 声の老化. *JOHNS*, 5: 71-76, 1989.
- Linville SE: The sound of senescence. *J Voice*, 10: 190-200, 1996.
- 兵藤政光: 加齢と嗄声・失声. *JOHNS*, 22: 543-546, 2006.
- Mueller PB, Sweeney RJ and Barbeau LJ: Acoustic and morphologic study of the senescent voice. *Ear Nose Throat J*, 63: 71-75, 1985.
- Honjo I and Isshiki N: Laryngoscopic and voice characteristics of aged persons. *Arch Otolaryngol*, 106: 149-150, 1980.
- 佐藤公則, 坂口伸治, 平野 実, 他: 高齢者の弓状声帯の組織学的研究. *喉頭*, 8: 11-14, 1996.
- 千々和圭一: 弓状声帯縁の成因に関する研究—臨床例と高齢者についての研究—. *耳鼻*, 41: 34-41, 1995.
- Hirano M, Kurita S and Nakashima T: Growth, development, and aging of human vocal folds. *Vocal Folds Physiology: Contemporary Research and Clinical Issues* (edited by Bless DM and Abbs JH), College Hill Press, 1983.
- 広戸幾一郎: 嗄声—その音声生理学的考察—. *音声言語医学*, 8: 9-15, 1967.
- 一色信彦: 聴覚・音声・言語障害の取り扱い PART 2. 音声障害. 金原出版, 2001.
- Hecker MH and Kreul EJ: Descriptions of the speech of patients with cancer of the vocal folds. I. Measures of fundamental frequency. *J Acoust Soc Am*, 49: 1275-1282, 1971.
- 遠藤康男, 粕谷英樹: 嗄声のゆらぎパラメーターについての考察. *音声言語医学*, 34: 1-6, 1993.