披裂筋の運動神経支配様式について — その比較解剖学的観察 —

相原隆一, 河村裕二, 丘村 熙

Innervation of the Arytenoid Muscle. A Comparative Anatomical Study.

Ryuichi Aibara, Yuji Kawamura and Hiroshi Okamura

Among the intrinsic laryngeal muscles, the arytenoid muscle (AR) displays greatest morphological variations among species. There are two major types: unpaired and paired type. The former has been considered to be more highly evolved than the latter. Dual innervation by the bilateral recurrent laryngeal nerves has been demonstrated in unpaired AR of some species. This study consisted of two portions. The first portion macroscopically confirmed that AR was of a typical unpaired type in man, monkey and guinea pig (*Cavia porcellus*), of an atypical paired type in dog, and of a typical paired type in cat and rat (*Rattus norvegicus*). In the second portion, the localization of motor endplates in AR was investigated with the use of acetylcholinesterase staining in three guinea pigs, three rats and four dogs. In the guinea pigs, a broad band of motor endplates was observed in the middle portion of the unpaired AR. In rats, a band of motor endplates was noted in each of the paired AR. The canine AR consisted of two muscles: transverse arytenoid and ventricular muscles. The former is paired whereas the latter is partly paired and partly unpaired. Motor endplates of the ventricular muscle were localized in the bilateral muscle bellies and the middle of the unpaired portion. The findings indicate that AR of unpaired type receives dual innervation.

Key words: 披裂筋, 反回神経, 両側支配, 一側支配, アセチルコリンエステラーゼ染色

はじめに

ヒト内喉頭筋のうち声門開大筋は後輪状披裂筋(以下、後筋)のみであるのに対し、声門閉鎖筋は甲状披裂筋(内筋)・外側輪状披裂筋(側筋)・披裂筋*の三つがある。

声門閉鎖筋の運動神経支配に関しては内筋・側筋は左右一対の paired type で、それぞれ一側のみの反回神経支配であるのに対し、披裂筋は左右に分かれず両側の披裂軟骨の背側面に跨がって走行する unpaired type で、両側の反回神経支配を受けるとされている。また筋の機能分化に関しては、電気刺激実験による声帯内転作用は内筋・側筋に比べ披裂筋では弱いという報告¹⁾がある一方、発話時の筋電図学的研究によればむしろ披裂筋が声門閉鎖の主役をなすという報告²⁾もある。

このように神経支配様式や機能分化の点からみると披裂筋は内筋・側筋とは趣を異にしているようである。

比較解剖学的にみると両側の披裂軟骨の背側面に走行する筋の総称である披裂筋は内喉頭筋の中で形態的種別差および個体差の最も顕著な筋である。現在、喉頭科学の実験動物として一般に用いられているイヌ・ネコの披裂筋はヒトと異なり unpaired type の形態をとらず、神経支配様式

も異なっていると考えられる。しかし、すでに報告したように³⁾イヌ披裂筋の一部である室筋においては両側の反回神経支配である可能性もあり、定説があるとは言い難い。動物実験によって反回神経麻痺の病態を研究する際には、この披裂筋の運動神経支配様式の動物差を解明しておくことは重要であると考ええる。

本研究ではヒトおよび各種実験動物の披裂筋の形態を再確認したうえで unpaired type としてモルモットを、paired type としてラットを選び、アセチルコリンエステラーゼ染色を行い神経筋接合部の分布状態を比較した。またイヌの室筋に対しても同様の方法で観察し、検討を行ったので報告する。

観 察 方 法

1. 披裂筋の形態比較

ヒト5体, サル10頭, イヌ20頭, ネコ4頭, モルモット10匹, ラット10匹の新鮮喉頭において披裂筋の肉眼形態を観察し、それぞれの動物で最も平均的と考えられた例を写真撮影記録した。

2. アセチルコリンエステラーゼ染色

正常モルモットおよびラット各3匹(体重400~600g)

* ヒトでは“横筋”と略称されるが、ネコ・ラットの如く左右一対の構造を示す場合の呼称としては不適當であると考ええる。従って本論文では形態の表現として“横筋構築”という言葉は用いても、筋の名称としては“横筋”という表現はせず、“披裂筋”に統一した。

愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室

Department of Otolaryngology, Ehime University, School of Medicine, Ehime

に対し披裂筋・後筋が披裂軟骨および輪状軟骨に付着したままの状態で喉頭背側面を摘出し、筋表面の結合織を除去した。また正常成犬4頭（体重7～10kg）に対し披裂筋を摘出し、筋表面の結合織を丹念に除去した。これらの材料をいずれも4%パラホルムアルデヒドで1時間以上固定後、燐酸緩衝液で洗浄し、下記液内で37℃、15～30分間反応させ神経筋接合部の局在を観察した⁴⁾。

反応液：acetylthiocholine iodide 12.5mg, distilled water 2.5ml, 0.82% sodium acetate 15.8ml, 0.6% acetic acid 0.5ml, 2.94% sodium citrate 1.5ml, 0.75% copper sulfate 2.5ml, 0.165% potassium ferricyanide 2.5ml

観 察 結 果

1. 披裂筋の形態

ヒト *Homo sapiens*：横部と斜部に区別されるが、いずれも左右に分かれることなく披裂軟骨背側面に跨がって走行する unpaired type である（図1．A）。斜部の筋束は菲薄

図1．披裂筋の形態（1）

A：ヒト，B：サル，C：イヌ，D：ネコ
ヒト・サルは unpaired type，イヌ・ネコは paired type である。

であり、横部の筋束が大部分を占める。

サル *Macaca fuscata*：ヒトの横部と同様の横走する連続した筋束のみが認められる。ヒトと同様 unpaired type である（図1．B）。

イヌ *Canis familiaris*：横披裂筋と室筋の2種類の筋からなり、正中部分には種子軟骨という披裂間軟骨が存在する。横披裂筋は種子軟骨の外側に停止するが、室筋には種子軟骨の背側面に停止する筋束と一部正中を越えて横走する小筋束がある（図1．C）。摘出したイヌ披裂筋の1例を図2に示す。

ネコ *Felis catus*：4頭中3頭のニホンネコにおいては図1．Dの如く正中で完全に区別される paired type の走行を示したが、1頭のみ観察したペルシャネコ（オッドアイ）ではサルに類似した横筋構築を示した（図3）。

モルモット *Cavia porcellus*（Hartley系）：サルに類似した横筋構築を示す unpaired type である（図4．A）。

ラット *Rattus norvegicus*（SD系）：ネコに類似した paired type である（図4．B）。

全体として unpaired type を示すヒト・サル・モルモット

図3．横筋構築を示すペルシャネコ（オッドアイ）の披裂筋（AR）

図2．摘出したイヌ披裂筋の1例

A：背側面．室筋（VT）は正中中部で連続しているように見える。

B：腹側面．横披裂筋（TA）は種子軟骨（C）の外側端に停止している。

図4. 披裂筋の形態 (2)

A: モルモット, B: ラット

モルモットは unpaired type, ラットは paired type
である. AR: 披裂筋.

図5. モルモット喉頭背側面のアセチルコリンエステラーゼ染色

図6. ラット喉頭背側面のアセチルコリンエステラーゼ染色

図7. イヌ室筋のアセチルコリンエステラーゼ染色
披裂筋全体を染色後、室筋の一部をとりだした。A
B Cの3ヵ所に神経筋接合部が集中して分布する。
A' B' C'は各部の拡大像。(スケール：500 μ m)

トでは筋の規模が大きく、完全な paired type を示すネコ・ラットでは小さい傾向があり、イヌは両者の中間であるという印象を受ける。

2. アセチルコリンエステラーゼ染色

モルモット：染色された神経筋接合部は後筋では筋腹のやや起始部寄り（正中寄り）に比較的規則正しく分布し、上方にたどると両側から合するように披裂筋の筋腹中央部に集中して分布する。披裂筋から後筋にかけての配列は逆“Y”字型である（図5）。

ラット：後筋ではモルモットと類似の分布を示すが、披裂筋ではそれぞれ左右に分かれて外上方から内下方に走行する筋束の筋腹中央部に分布する。“ハ”の字型の配列である（図6）。

イヌ室筋：披裂筋全体を染色した後、両側室筋の斜走部分とそれに続く正中の横走部分の筋束の一部を取り出したものを図7に示す。両側の斜走部分の筋腹及び横走部分の計3ヵ所に集中して神経筋接合部の分布を認めた。なお、斜走部分と横走部分の筋線維が連続しているか否かに関しては明確にし得なかった。

考 察

1. 披裂筋の位置づけ

Negus⁵⁾によると、披裂筋は披裂軟骨の背側面を走行し、多くの哺乳動物に認められる披裂軟骨の小角突起の下にあり、収縮するとこの突起を挙上し声門を閉鎖すると同時に漏斗状に食道入口部を開放する筋で、特に嚥下時の声門閉

鎖において重要な働きを担っている。ヒトでは披裂喉頭蓋ヒダへ続く筋線維が重要であり、イヌでは披裂筋から上方へは甲状披裂筋へ、下方へは食道縦走筋へ続く筋線維が認められ、これらには食道入口部の開放に補助的作用があるという。進⁶⁾によると、嚥下時の喉頭閉鎖は反回神経の切断で高度に障害されるものの短時間の閉鎖は可能で、下咽頭収縮筋の切断操作を加えると声門は全く閉鎖しなくなるという。つまり嚥下時の喉頭閉鎖作用は内喉頭筋が主役を演じ、下咽頭収縮筋が補助的役割を果たしている。

このように披裂筋は喉頭入口部の括約筋群のひとつであると同時に食道入口部の拡張筋群のひとつでもあり、嚥下筋としての捉え方ができる。このことは同筋の下咽頭収縮筋に対する位置関係から考えても明白である。

平野ら⁷⁾は機能解剖学的観点から後部声門は呼吸道としての役割を果たすと述べ、その後縁は輪状軟骨板の上部を支持組織とする壁状構造であり、声門後壁 the posterior wall of the glottis の呼称を提唱している。さらに喉頭閉鎖中でも後部声門には円錐形の空隙が残り、声門のレベルでは完全に閉じず、声門上部で完全に閉じることを明らかにしている。この声門上部とは披裂筋のレベルではないかと想像される。

また広戸ら¹⁾によると内喉頭筋単独電気刺激による声帯内転の程度は、内筋・側筋・披裂筋の順に強いという。小池ら⁸⁾によれば、イヌ摘出喉頭における電気刺激実験で、披裂筋刺激では声帯形態の変化が非常に軽微であったという。従って声帯運動に対する披裂筋の作用はわずかであると考えられる。一方、Hirose & Gay²⁾は発話時における内喉頭筋の筋電図学的研究において、披裂筋は子音を含む調音時の声門閉鎖に対応した活動を示し、内筋・側筋と異なり発話時の声門閉鎖の主役をなすと述べている。

以上のように、披裂筋は嚥下・呼吸・発声という喉頭の3大機能の全てにわたり重要な働きを担い、しかも他の声門閉鎖筋である内筋・側筋とは趣を異にしていると言える。

2. 披裂筋の形態よりみた進化度

喉頭の比較解剖学に関する研究には Negus⁵⁾、豊住⁹⁻¹⁰⁾をはじめとする先人の業績があり、進化過程における形態と機能獲得の変遷についての詳細が記述されている。豊住⁹⁾は嗅覚と喉頭蓋の形態との関係から喉頭蓋が大きく可動性の小さい嗅覚鋭敏な macrosmatic animal（イヌ・ネコ・ライオン・トラ・オオカミなど）と、喉頭蓋が小さく可動性の大きい嗅覚不全の microsmatic animal（ヒト・サル・アシカなど）のグループに分け、嗅覚機能から嚥下機能への対応により前者から後者へ進化したと考えている。また誤嚥の防止のために macrosmatic animal では lateral food channel が形成され、microsmatic animal では喉頭入口部の筋性組織化が行われた。一方イヌでは特異的に舌骨喉頭蓋筋 m. hyoepiglotticus が存在しており、この筋の作用を考慮するとイヌは macrosmatic から microsmatic への漸進的形態変化の過程にあるという。別の観点から豊住¹⁰⁾

は、披裂喉頭蓋ヒダ、声帯筋の形態、喉頭室の有無、軟骨の形態、音声などを総合してヒト・サル・イヌが最も進化的、ウシ・ヤギ・メンヨウ・ネコでは進化の過程にあり、ブタ・ウサギは後者よりは一旦進化した、時代を追うにつれて退化していると述べている。

高瀬¹¹⁾は10頭のネコで披裂筋の形態を観察したところヒトと全く同じ構築を示したと述べており、披裂筋の分化程度はヒト・サル・ネコ・ウシ・ウマ・メンヨウ・ヤギ・イヌ・ウサギ・ブタの順であるとしている。しかし著者らの観察では4頭中3頭のニホンネコで完全にpaired typeの構築を示した。ベルシャネコの1頭ではサルと同様の横部のみからなる横筋構築を観察したが、ネコ披裂筋の基本形態としてはpaired typeと考える。Unpaired typeを進化型と考えれば、著者らの観察した動物の披裂筋の形態よりみた進化度は、ヒト・サル・モルモットの進化群、イヌの中間群、ネコ・ラットの進化途上群の順となる。これは先に述べた豊住⁹⁾の結論に近いと考えられる。図8は高等哺乳類の系統樹であるが、同じ齧歯目でありながらテンジクネズミ亜目のモルモットでは進化型のunpaired typeを示すのに対し、ネズミ亜目のラットでは進化途上型のpaired typeを示したことが注目される。

3. 披裂筋の両側支配について

披裂筋の運動神経支配に関しては1950年代頃まで長きにわたり多くの議論がなされてきた¹²⁻¹⁴⁾。この間両側上喉頭神経内枝によっても運動支配を受けるという説¹⁵⁾が出され賛否両論を呼んだが、上喉頭神経内枝は純知覚性であると認識されるに至った¹⁶⁾。すでに1868年 Türk¹⁷⁾により一側反回神経麻痺患者の披裂筋に萎縮を認めなかったという報告があるが、Kirchner¹⁸⁾は、glomus jugulare tumorによる一側迷走神経麻痺の発症後8年で死亡した症例の喉頭大切片を提示して、下咽頭収縮筋は萎縮し、内筋・側筋及び前筋は結合織へ完全に置換され、後筋は筋突起への付着部付近にわずかの残存筋線維が認められるものの殆んど消失したが、披裂筋には全く萎縮を認めなかったと報告し、披裂筋の反回神経による両側支配を明らかにしている。広戸¹²⁾はヒト披裂筋は系統発生的には元来左右対をなすべきものが合一したため、一箇の筋肉であるに拘らず両側反回神経から運動支配を受けていると考えるべきと述べ、矢武¹⁹⁾によればヒトでは左右の下喉頭神経の披裂筋枝は披裂筋の中央部で吻合しているので披裂筋は両側支配(二重支配)を受けるという。

Malmgrenらはヒト内喉頭筋について凍結切片上でアセチルコリンエステラーゼ染色法を用いて神経筋接合部の分布を観察している。それによると側筋²⁰⁾の筋腹にはほぼ直線状の配列がみられたが、内筋²¹⁾・前筋²²⁾・後筋²³⁾では散在し規則的配列はみられなかった。一方、披裂筋²⁴⁾においては最も特徴的な配列を示した。すなわち前額断切片で上方では筋腹中央部に集中して分布し、これに続く下方では枝分かれするように分布し、全体として逆“Y”字型の配列が認められたと述べ、この型は両側の反回神経支配に

高等哺乳類の主要目 (Romer, A.S. & Parsons, T.S. 1983. 一部改変)

図 8

関係するという。なお下方の配列に関しては骨格筋の運動神経終末は一般に筋腹にみられるという原則からも下方の筋線維は中上方のものより短かく、斜走していることによるものであるという。著者らがunpaired typeの代表として観察したモルモットでは披裂筋はすべて筋腹中央部に集中して染色されたが、Malmgrenらの見解からするとモルモット披裂筋は全体がヒト披裂筋の上方の如く一様に披裂軟骨背面を横走しているということになる。

筋線維レベルで考えると、一本の筋線維上にそれぞれ左右の反回神経由来の運動神経終末が存在すると考えるのは不自然であり、一本の筋線維は左右どちらか一侧の反回神経のみから支配されているが一側の脱神経が生じた場合には対側の運動神経から sprouting²⁵⁾ が起こり再支配されると考えるのが妥当である。つまり披裂筋における両側支配とは筋線維レベルからではなく筋全体からみた表現であるという結論になる。

4. イヌ披裂筋について

実験動物として汎用されているイヌでは披裂筋の運動神経支配様式についてなお意見の分かれるところである³⁾。先にも述べたように進化度からみれば中間型と考えられ、形態も複雑であることにその一因があると考えられる。今回の観察では斜走する両側室筋の間に正中部を横走する小筋束が認められ、かつその横走部に集中して神経筋接合部が存在することを明らかにしたが、このことが今後神経支配様式を解明する上でひとつの鍵となるのではないかと考えている。

ま と め

ヒトおよび各種実験動物の披裂筋の形態を再確認した上でモルモット・ラット・イヌの披裂筋にアセチルコリンエステラーゼ染色を行い、以下の結論を得た。

1. 披裂筋の形態から unpaired type を進化型, paired type を進化途上型と考えるとヒト・サル・モルモットが進化型, イヌが中間型, ネコ・ラットが進化途上型である。
2. 進化型の披裂筋は筋全体として両側の反回神経から運動神経支配を受けるが, 進化途上型では一側支配である。
3. 中間型のイヌでは室筋の一部が正中部分を横走し, 両

側の斜走部分の筋腹とともにここにも神経筋接合部が存在する。

本論文の内容の一部は第15回（1989年）日耳鼻四国四県地方部会連合会および第6回（1989年）世界気管食道科学会議において発表した。

参 考 文 献

- 1) 広戸幾一郎ほか：喉頭筋の機能。耳鼻臨床 57：1～9, 1964.
- 2) Hirose H & Gay T：The activity of the intrinsic laryngeal muscles in voicing control. An electromyographic study. *Phonetica* 25：140～164, 1972.
- 3) 相原隆一ほか：披裂筋の神経支配について－イヌにおける実験的研究－。耳鼻臨床 82：1169～1176, 1989.
- 4) 埜中征哉：臨床のための筋病理入門。20, 日本医事新報社, 東京, 1987.
- 5) Negus VE：The comparative anatomy and physiology of the larynx. Hafner Publishing Company, New York, 1962.
- 6) 進 武幹：嚥下時の喉頭閉鎖。日食食会報 26：131～142, 1975.
- 7) 平野 実：後部声門の機能解剖。耳鼻臨床 79：343～350, 1986.
- 8) 小池祐一ほか：内喉頭筋の機能－声門および声帯形態の変化に関して－。日耳鼻 78：1250～1257, 1975.
- 9) 豊住頼一：哺乳動物における嗅覚, 呼吸, 嚥下に関する比較解剖学的研究。耳鼻 25：29～37, 1979.
- 10) 豊住頼一, 高瀬晴朗：喉頭進化に関する比較解剖学的考察。耳鼻 15：100～112, 1969.
- 11) 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1：18～58, 1964.
- 12) 広戸幾一郎：発声機能の面よりみた喉頭の病態生理。耳鼻臨床 59増1：229～291, 1966.
- 13) Pressman JJ & Kelemen G：Physiology of the larynx. *Physiol Rev* 35：506～554, 1955.
- 14) 廣瀬 肇：喉頭の末梢神経支配について－その文献的展望－。耳展 4：236～248, 1961.
- 15) Vogel PH：The innervation of the larynx of man and the dog. *Am J Anat* 90：427～440, 1952.
- 16) Rueger RS：The superior laryngeal nerve and the interarytenoid muscle in humans. An anatomical study. *Laryngoscope* 82：2008～2031, 1972.
- 17) Türck：Klinik der Kehlkopfkrankheiten. Wiener Academie Sitzungsab, 1868. (文献18より引用)
- 18) Kirchner JA：Atrophy of laryngeal muscles in vagal paralysis. *Laryngoscope* 76：1753～1765, 1966.
- 19) 矢武良規：哺乳動物の喉頭神経に関する比較解剖学的研究。耳鼻 11補2：49～77, 1965.
- 20) Freije J et al：Motor end-plate distribution in the human lateral cricoarytenoid muscle. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 112：176～179, 1986.
- 21) Rosen M et al：Three-dimensional computer reconstruction of the distribution of neuromuscular junctions in the thyroarytenoid muscle. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 92：424～429, 1983.
- 22) De Vito M et al：Three-dimensional distribution of neuromuscular junctions in human cricothyroid. *Arch Otolaryngol* 111：110～113, 1985.
- 23) Gambino D et al：Three-dimensional computer reconstruction of the neuromuscular junction distribution in the human posterior cricoarytenoid muscle. *Laryngoscope* 95：556～560, 1985.
- 24) Freije J et al：Motor end-plate distribution in the human interarytenoid muscle. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 113：63～68, 1987.
- 25) Brown MC et al：Motor nerve sprouting. *Ann Rev Neurosci* 4：17～42, 1981.

別刷請求先 〒791-02 愛媛県温泉郡重信町大字志津川
愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室 相原隆一