MORPHOLOGICAL STUDY OF MUSCLE SPINDLES IN ARYTENOID MUSCLE
OF HUMAN LARYNX

YOUICHI KATTOU, M. D. and HIROSHI OKAMURA, M. D.

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

The existence of the muscle spindles in the arytenoid muscle of the human larynx was confirmed. The morphological features were described in detail using light- and electron-microscopes. The specimens were obtained from three larynges. The seven muscle spindles were found in all of the three specimens. The diameter at the equator was 85 to 115 μ m., and the number of the intrafusal muscle fibers was two to five. The two types of the intrafusal muscle fibers were differentiated, the nuclear bag type and nuclear chain type. As the specific type of the muscle spindle, the monofibrillar type and compound type were also found. The dimension of the muscle spindle in the arytenoid muscle was relatively small in comparison with that in other skeletal muscle.

A86—0661—60010

ヒト内喉頭筋特に披裂筋における
筋紡錘の形態学的研究

愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：柳原尚明教授）

甲 藤 洋 一，丘 村 熙

は じ め に

喉頭の三大機能，すなわち呼吸・発声・嚥下は，主に内喉頭筋の絶妙な調節運動によって営まれている．一般に，このような調節運動は深部知覚よりの feedback 回路なくしては遂行しえない．しかしながら，内喉頭筋においては深部知覚において重要な役割を演ずる筋紡錘 (Muscle spindle 以下 MS) については，Goerttler (1950)¹⁾ 以来二三その存在が報告されてはいるものの^{2)~5)}，依然としてその存在について議論があり，その分布様式や形態について全く意見の一致を見ないのが現状である．

このような観点から，著者らは，ヒト内喉頭筋の知覚支配についての再検討を試み一連の系統的組織学的検索を行っているが，本論文では披裂筋（以下横筋）の中に確認された MS の形態について，二三の知見を報告する．

研 究 方 法

喉頭全摘出直後の喉頭より採取した横筋の3検体につき，一部は10%ホルマリンで固定後パラフィン包埋，一部は3%グルタルアルデヒドで固定後水溶性樹脂 JB-4 に包埋，一部は3%グルタルアルデヒドで固定後オスミウムで後固定しエポキシ樹脂に包埋した．パラフィン包埋材料については筋全体の横断連続切片を作成し H-E 染色を，JB-4，エポキシ樹脂包埋材料では部分的に連続切片を作成し，各々 Lee 染色，トルイジンブルー染色をほどこした．なおエポキシ樹脂包埋材料については，顕微鏡で MS を確認した後，超薄切片を作成し，電顕による観察を行った．

研 究 結 果

図2は横筋中で観察された典型的な MS を示している．MS は厚さ約 2 μ m の明確な紡錘鞘と，錘内筋線維

(intrafusal muscle fiber, 以下 IF) より構成されており、錘内筋線維は明らかに周囲の錘外筋線維より細い。エポキシ樹脂切片、トルイジンブルー染色によって MS を支配する有髄神経線維をも明瞭に認めることが出来た。パラフィン材料での横筋全体の連続切片および、JB-4 による筋腹の連続切片を観察した結果、6 個の MS の存在を確認することが出来た。それらのすべては図 1 に示すように筋腹に局在しており、筋腹の両側には認められなかった。エポキシ樹脂包埋材料よりえられた多数の超薄切片を観察した結果、1 個の MS を確認したがその局在は明らかに出来なかった。表 1 は観察した 7 個の MS の計測結果を示している。MS の赤道部での最大径は 85-115 μm の範囲にあり、紡錘軸につつまれる IF の数は 2-5 本であり、その直径は赤道部付近で 10-17 μm であった。一例ではあるが、IF が 1 本のいわゆる monofibrillar spindle を観察した。(図 3) 更に、2 つの MS が並列するいわゆる compound type の MS (図 4) も 1 個認めた。

エポキシ樹脂切片、トルイジンブルー染色材料で、IF が濃染する細い線維と、淡染する大きい線維に区別出来た。同一材料の隣接する超薄切片を電顕的観察すると、前者は緻密に配列した筋原線維から成り、後者はリボン状の明瞭に区分される筋原線維から成ることが確認できた(図 5)。

図 4 の光顕像および図 5 の電顕像で示すように、ヒト横筋内の MS は他動物の骨格筋で従来報告されているもの⁷⁾¹⁶⁾と比較して、紡錘腔内に多量の結合組織を含むことが観察された。

図 1 検体 1, 2 の筋紡錘 6 個の分布。筋腹に局在している。

考 按

MS の伸展受容器としての生理学的解析や、微細構造については、Barker らの総説¹⁶⁾に見られるように非常に多くの研究が報告されて来ている。しかし、ヒト内喉頭筋の MS については、材料の入手が容易でないことや、その研究に多大の時間と労力をともなう連続切片の作成と観察とが要求されるという技術的な困難とが相俟って、MS の存在自体や、分布様式について未だ明確な結論が得られていない。

特に横筋内の MS については Keene⁴⁾, Baken⁶⁾ が報告しているにすぎず、Keene は、2 例につき観察しているが数の記載はなく、Baken は 1 例 1 例について観察しているにすぎない。また、Tiegs⁹⁾, Storey²¹⁾, Eldred

表 1 観察した横筋の筋紡錘の計測結果

筋紡錘番号	最大径 (μm)	錘内筋線維数(nbf, ncf)	
1.	50*	3 (0, 3)	検体 1 (パラフィン包埋)
2.	45*	1 (1, 0) monofibrillar spindle	
3.	90	3 (0, 3)	
4.	75*	2 (2, 0)	
5.	115	5 (1, 4) compound type spindle	検体 2 (JB-4 包埋)
6.	90	5 (2, 3)	
7.	85	5 (2, 3)	— 検体 3 (Epon 包埋)

* 最大径は観察できた範囲での計測である

nbf: 核嚢線維 nuclear bag fiber

ncf: 核鎖線維 nuclear chain fiber

²²⁾ らは、横筋を含む全ヒト内喉頭筋での MS の存在を否定している。

著者らの研究によれば、3例のヒト横筋のすべてに総数7個の MS の存在を確認し、その局在が確認されたものではすべて筋腹部に存在した。この結果は他の内喉頭筋にも、かなりの MS が存在しうることを示唆するものといえよう。

ヒト内喉頭筋に MS の存在を確認した報告でも、その形態学的特徴について詳細な記載は行われていない。本研究で得られた知見をもとにヒト横筋の MS の特徴を括めてみると以下ようになる。

1) 筋紡錘の形態について

著者らの観察したヒト横筋の MS の計測値は最大径は 85-115 μ m, IF 数は 2-5 本であった。なお、MS の全長は測定していない。他のヒト骨格筋の MS の大きさは全長 3-12mm, IF 数 8-12本, 最大径 250 μ m⁽¹²⁾⁽¹³⁾であり、これらの値と比較すると、内喉頭筋の MS は少数の IF を持ち小型である。このことの意義については今後の研究をまたねばならない。

横筋の MS は、monofibrillar spindle (図 3) と compound type spindle (図 4) と呼ばれる特殊な型の MS がある。Monofibrillar spindle とは IF が 1 本のものでトカゲ等の爬虫類にみられる。Grim⁹⁾によれば、後筋の MS の20%はこの type であったという。一方 Cooper らはヒト外眼筋⁽¹⁴⁾、体幹四肢の筋の踵への移行部⁽¹⁵⁾などに同様の type の MS を認めたと報告している。Compound type とは、Barker⁽¹⁶⁾らが MS の配列状態により区別した 3 型の 1 つである。その 3 型とは、MS が単一の single type、縦に数個がつらなる tandem type、および数個が並列にならぶ compound type であり、この最後の type が本研究で観察された compound type に対応するものである。Kennedy⁽¹³⁾によれば、この compound type は虫様筋・深頸部の筋に多数見いだされるという。通常は、個々独自の紡錘鞘をもつ場合が多いが、時に観察例のように共通の紡錘鞘につつまれる⁽¹⁴⁾。

これら特殊な型の MS についての機能的な意義はいまだ解明されていない。

2) 錘内筋線維について

IF は一般に錘外筋線維の伸展を忠実に反映し、刺激を知覚終末に伝える機械的伝達装置として伸展受容機構

に中心的役割を果たすものと考えられている⁷⁾。IF の径には大小のあることが古くより知られているが、Boyd¹⁷⁾、Cooper & Daniel はこれを形態的に 2 群に分類している。すなわち、太径で長い IF は赤道部で核が集積し袋状をなすことより核囊線維 (nuclear bag fiber 以下 nbf) と呼ばれ、小径で短いものは核が 1 列の鎖状をなすことより核鎖線維 (nuclear chain fiber 以下 ncf) と呼んだ。Hunt⁽¹⁸⁾は nbf, ncf 両者の収縮性や、錘外筋線維の伸展または紡錘運動系の刺激に対する反応の様式に差異があることを示唆している。以上のことより MS の特徴を記載するには、IF 数、nbf, ncf の数の検討が必要である。Grim のヒト後筋での報告によれば nbf の径は 13-17 μ m, ncf の径は 7-12 μ m であったという⁹⁾。それぞれの本数についての記載はない。

著者らの観察した例では前述の如き MS の特徴的な核の集合状態を認めることはできなかったが、IF の径と、IF が鞘外にまで及んでいるか否かの確認によって、nbf, ncf の区別をした。すなわち、Grim の分類に従って、径 15 μ m 以上を nbf, 12 μ m 以下を ncf とした。径が 12-15 μ m のものでは連続切片の観察により、IF が鞘外にまで及んでいるものを nbf、及んでいないものを ncf とした。その結果、ヒト横筋では、nbf は 0-2 本、ncf は 0-4 本であった (表 1)。ヒトの他の骨格筋での MS の nbf は 1-5 本、ncf は 2-11 本が通常であり⁹⁾、ヒト横筋についても、ncf が nbf より多いことが推定された。

エポキシ樹脂切片とトリイジンブルー染色で、IF が濃染で小径のもの、淡染で太径のものに区別出来た。同一材料の電顕像と比較すると、前者は筋原線維の配列が緻密であり、後者は粗に配列していることが観察された。各々が、nbf, ncf のどちらにあてはまるかは、推測の域を出ない段階である。

3) 紡錘腔内の結合組織について

横筋の MS の赤道部においては、軸鞘と IF との間に多くの結合組織成分が認められる。しかし、その組成と性質については分かっていない。一般には、IF の過度の伸展に対する保護作用、復元に際しての弾性に関与するものであろうと推測されており、また受容器電位発生に際して要求される Ca^{2+} などのイオン環境の恒常性の保持に対する役割も推測されている⁷⁾。今後検討すべき興味ある課題の一つである。

本研究の範囲では内喉頭筋の MS の機能的特殊性を説明するにはいたらなかった。したがって、今後もしきつづき、各内喉頭筋における MS の分布状態の再検討、IF の詳細な観察が行われなければならない。これに電顕の観察を導入することにより、光顕の観察で得られなかった新たな知見が得られることが期待される。

結 語

ヒト内喉頭筋中、横筋に筋紡錘の存在を確認したので報告した。その形態学的特徴をまとめると次の如くなる。

- 1) 赤道部での最大径 85-115 μ m, 錘内筋線維数 2-5 本であり、小規模な筋紡錘であった。
- 2) 筋紡錘の特殊型として, monofibrillar spindle, compound type spindle が観察された。
- 3) 紡錘腔内に多くの結合組織が観察された。
- 4) トルイジンブルー染色 (エポキシ樹脂包埋切片) にて、錘内筋線維が濃染するものと、淡染のものに区別できた。これを電顕で観察すると、前者は筋原線維が密に配列しており、後者は粗に配列していた。
- 5) 横筋での筋紡錘の多くは、筋腹に局在した。

参 考 文 献

- 1) Goerttler K: Die Anordnung, Histologie und Histogenese der quergestreiften Muskulature in menschlichen Stimmband. *Z Anat Entw Gesh* 115: 352-401, 1950.
- 2) Paulsen K: Untersuchungen über das Vorkommen und die Zahl von Muskelspindeln im M. vocalis des Menschen. *Z Zellforsch* 47: 363-366, 1958.
- 3) Paulsen K: Über Vorkommen und Zahl von Muskelspindeln in inner Kehlkopfmuskeln des Menschen (M. cricoarytaenoideus dorsalis, M. cricothyroideus). *Z Zellforsch* 48: 349-355, 1958.
- 4) Lucas K M F: Muscle spindles in human laryngeal muscles. *J Anat (Lond.)* 95: 25-29, 1961.
- 5) Grim M: Muscle spindles in the posterior cricoarytenoid muscle of the human larynx. *Folia Morph* 15: 124-131, 1967.
- 6) Baken R J: Neuromuscular spindle in intrinsic muscle of human larynx. *J Speech Hear Res* 14: 513-518, 1971.
- 7) 上原康生 出崎順三: 筋紡錘の形態 — 比較形態学的立場から — *神経進歩* 25: 403-413, 1981.
- 8) 斎藤光典 朝長正徳: 筋紡錘の形態と病理 *神経進歩* 25: 427-443, 1981.
- 9) Tiegs O W: Innervation of voluntary muscle. *Physiol Rev* 33: 60-157, 1953.
- 10) Sherrington C S: On the anatomical constitution of nerves to skeletal muscles; with remarks on recurrent fibers in the ventral spinal nerve-root. *J Physiol (Lond.)* 17: 211-258, 1894.
- 11) Barker D: The innervation of the muscle spindle. *Quart J Micro Sci* 89: 143-186, 1948.
- 12) Cooper S and Daniel P M: Human muscle spindle. *J Physiol* 133: 1-3, 1956.
- 13) Kennedy W R: Innervation of normal human muscle spindle. *Neurology (Minneap.)* 20: 463-475, 1970.
- 14) Cooper S and Daniel P M: Muscle spindle in human extrinsic eye muscles. *Brain* 72: 1-24, 1949.
- 15) Cooper S and Daniel P M: Muscle spindle in man; their morphology in the lumbricals and the deep muscles of the neck. *Brain* 86: 563-586, 1963.
- 16) Barker D: Morphology of muscle receptors. In: *Handbook of Sensory physiology. III. Pt. 2, Muscle Receptors* (edited by Hunt C C), p. 1-190, Berlin: Springer-Verlag, 1974.
- 17) Boyd I A: The diameter and distribution of the nuclear bag and nuclear chain muscle fibers in the muscle spindles of the cat. *J Physiol (Lond.)* 153: 23-24, 1960.
- 18) Hunt C C: The physiology of muscle receptors. In: *Handbook of Sensory Physiology. III. Pt. 2, Muscle Receptors* (edited by Hunt C C) p. 191-234, Berlin: Springer-Verlag, 1974.
- 19) Spiro A J and Beilin R L: Human muscle spindle histochemistry. *Arch Neurol* 20: 271-275, 1969.
- 10) 斎藤光典: 正常ヒト筋紡錘の組織化学的研究 (1) — 錘内筋線維の組織化学的分類 — *脳と神経* 28: 1251-1257, 1976.

図2 検体3よりえられた筋紡錘（トルイジンブルー染色）。明瞭な紡錘鞘と5本の錘内筋線維がみられる。×400

図3 検体1よりえられた monofibrillar spindle (H-E 染色)。紡錘鞘内に唯一本の錘内筋線維がみられる。
×400

図4 検体2よりえられた compound type の筋紡錘 (Lee 染色)。共通する1つの紡錘鞘内に2個の筋紡錘があり、右側の筋紡錘は赤道部で、紡錘腔に大量の結合組織がある。×200

図5 検体3よりえられた筋紡錘の電顕像 (—10 μ m)。小径で筋原線維が緻密な錘内筋線維と、太径で筋原線維が粗な錘内筋線維が見られる。紡錘鞘の層構造も明瞭である。

- 21) Storey A: Extra-trigeminal sensory systems related to Oral Sensation and Perception. In: Symposium on Oral Sensation and Perception. III. (edited by Bosma I F), Springfield, 1967.
- 22) Eldred E and Buchwald J: Central nerves system: Motor mechanisms. Annu Rev Physiol 29: 573, 1967.

医学部第2解剖学教室上原康生教授に深甚なる謝意を捧げます。なお、本論文の要旨は、第34回日本気管食道科学会総会、第8回日耳鼻中国四国地方部会連合会の各席上において口演した。

(原稿受付 昭和58. 1. 20日)

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 甲藤洋一

稿を終えるに臨み、御指導、御校閲を賜った愛媛大学