後輪状披裂筋の呼吸作用

—その迷走神経性調節—

福田 宏 之

The Respiratory Activity of the Posterior Cricoarytenoid Muscle Influenced by Vagal Afferents

Hiroyuki Fukuda, M.D.

Department of Otorhinolaryngology School of Medicine Keio University

agal afferents on laryngeal respiratory function were investigated with special regard to the effect of stretch and pressure afferents on phasic abductor activity.

Forced inflation of the lung reflexly abolished the activity of the posterior cricoarytenoid (PCA) muscle during inspiration. Forced deflation of the lung resulted in increased PCA activity.

After bilateral distal vagotomy, however, neither inflation nor deflation seemed to affect the PCA activity. In addition, continuous low frequencies of vagal stimulation caused reduction of the PCA activity. On the other hand, continuous high frequencies of vagal stimulation caused increased PCA activity.

The results of the experiments reported upon were discussed in regard to respiratory control mechanism.

結 言

喉頭の機能は、発生学的にみた場合には、下気道の保護という目的で“Sphincter”としての作用がそもそものはじまりである。しかしながら、高等動物においては、また呼吸に関しても、特定の作用をおこなっているということが一般にみとめられはじめた。

Green and Neil¹⁾の実験的な研究において、声門開大筋は吸気時に活動を示すことがあきらかにされているし、また Faaborg-Andersen²⁾は人においても同じような成績を示した。

また Negus³⁾によれば、声門の開大は、横隔膜の収縮にさきだつて生じるとされている。

また Nakamura⁴⁾等によれば、気管切開後においても声帯運動が存在し、声門開大は、他のいかなる呼吸筋よりも早く生じるのである。

以上のような実験的研究や観察は、全て、後輪状披裂筋による声門の開大、いいかえれば、吸気時の喉頭の運動は、呼吸という生理作用に積極的に参加していることを証明していると云える。すなわち単なる空気の通過管でもないし、また他動的に動かされているだけでもないのである。

また一方では、反回神経における吸気時の発射が上喉頭神経内枝の刺激で抑制されること⁵⁾、あるいは、麻酔の程度や、酸素や二酸化炭素の状態により右輪状披裂筋の活動が影響をうけること⁶⁾などからして、喉頭の呼吸作用も他の呼吸筋と同じように、延髄にある、呼吸中枢により支配されているのだらうと思われる。

慶応義塾大学
医学部
耳鼻咽喉科学教室

一般的に、呼吸筋は延髄以外からくるところの様々な情報によって制御されているといつてよい。その最大のものは、迷走神経經由でくるところの、肺からの情報である。このことを最初に述べたのは Hering⁷⁾ and Breuer⁸⁾ であつて、肺の inflation は吸気運動を抑制するといひ、Hering and Breuer's reflex といわれるものである。彼等はすでに、肺に生じた変化が、迷走神経で中枢におくられ、そして吸気が抑制されるのだという考えをあきらかにした。その後 Head⁹⁾ や Widdicombe¹⁰⁾ らによつて、迷走神経がはたしている役割も明確となり、また肺にも、伸展受容器と圧受容器の2つがあることなどがあきらかにされてきた。

呼吸筋としては、横隔膜がえらばれて、Phrenic nerve と共に神経筋生理学的によく研究されてきたと云える。しかしさきに述べた如く、もしも後輪状披裂筋が呼吸筋として独自に中枢より支配されているとすれば、また迷走神経中にふくまれる肺からの afferent によつて合目的に支配され調節をうけているものであると考えられる。

従つてこの研究の目的は、後輪状披裂筋の呼吸筋としての作用をより明確にするために、胸郭に生じた変化によりどのような影響をうけるか、また迷走神経の関与の仕方をも検討したものである。

実験方法

実験に供された猫は約30匹であり、はじめは腹腔内にネブタール 30mg/kg を注射することにより麻酔がおこなわれ、以下一定の麻酔深度を得るために、静脈切開をおこないカテーテルを用い、10倍にうすめたネブタールを少量ずつ使用した。

頸部に正中切開をおこない、胸骨舌骨筋、胸骨甲状筋は切除し、喉頭や気管は完全に露出させた。しかるのち、気管と喉頭を離断し、気管の断端にビールチューブを入れ、それに三方コックを用いて、肺に空気を入れたり、空気をぬいたりするのに利用した。

左右の反回神経、上喉頭神経、迷走神経を露出させた。また特に右側において、迷走神経を

図1 右側反回神経と迷走神経の関係

気管リングの第17番目位で反回神経が分離しており、その分離点以下で迷走神経を切断することにより、Efferent (反回神経) を損傷することなしに、Afferent の切断が可能となる。この Afferent に対して、選択的に電気的刺激を加えることができる。

(H. Fukuda, et al, Acta, Otolaryng. 75; 112-118, 1973)

頸部下部から鎖骨下動脈附近まで露出させ、反回神経の分離点をもとめた。これは通常気管の第17軟骨輪のあたりで得られた。この時、気胸を生じさせないように、最大の注意を払つて手術をおこなつた。これらの神経は、あたためたミネラルオイル中におかれ、長時間の研究に耐えられるようにした。(図1)

後輪状披裂筋の筋電図、また気管内圧は、Tektronix 564B のオシロスコープで観察された。気管内圧を得るために Statham P23BC のトランスデューサーが用いられた。これらはまた Taktronix 561A によつてモニターされ、Grass のカメラで記録された。

肺の inflation は約 30cc の空気を三方コックから圧入しておこない、逆に deflation は、注射器で、呼気時に空気を吸引しておこなをれた。Over-inflation は約 100cc の空気を注入しておこなわれた。

実験成績

(i) 肺の Inflation と Deflation による変化

図2に示すように、迷走神経が健在である時(B)は、肺に Inflation をおこなふことにより、後輪状披裂筋の筋活動が抑制されることがわかる。ところが、(C)のように迷走神経を切断したあとでは、この変化は著明ではない。また同じ

図2 肺の Inflation が後輪状披裂筋の活動に与える影響

a…後輪状披裂筋の EMG

b…外肋間筋の EMG

A：正常呼吸状態における両筋の活動

B：肺が矢印のところで Inflation をうけたことを示す。この時迷走神経は切断されていない。後輪状披裂筋がかなり抑制されている。

C：B と同じような実験であるが、迷走神経は切断した場合である。抑制の程度は B 比に比べて著明ではない。

図3 肺の Deflation が後輪状披裂筋の活動に与える影響

a…後輪状披裂筋の EMG

b…外肋間筋の EMG

A：正常呼吸状態における両筋の活動

B：肺が矢印のところで Deflation をうけたことを示す。この時迷走神経は切断されていない。後輪状披裂筋が著明に興奮するようになる。

C：B と同じような実験であるが、迷走神経は切断した場合である。興奮の程度は B に比べて著明ではない。

ように Deflation をおこした時も、(B)においては著明な筋活動が得られても、(C)においてはそれ程著明ではない。(図3)

これらの変化は、Inflation や Deflation をおこしてからすぐ得られるので、反射性の反応である。

(iii) 気管孔の閉鎖、開放による変化

以上に似た変化は気管孔の閉鎖や開放によっても得られる。すなわち気管孔を閉鎖すると反

図4 気管孔の閉鎖と開放(迷走神経保存)

気管孔を閉鎖しても、肺の Deflation におけると同じように後輪状披裂筋の強い活動が得られる。(A) また気管孔を開放して軽い Inflation を生ぜしめると、筋活動は抑制をうける。(B) aが後輪状披裂筋の EMG、bは気管内圧の変化を圧トランスデューサーでえがかしたもの。

図5 気管孔の閉鎖と開放(迷走神経切断)

図4におけると同じ実験であるが、迷走神経は切断されている。Aは正常に呼吸している場合。Bにおいて気管孔を閉鎖するもその筋活動に変化なく、Cにおいて気管孔を開放し Inflation をおこしても変化がみられない。

射的に強い後輪状披裂筋の活動が得られる。(図4のA) 逆に気管孔の開放では、通常の筋活動になり、これに Inflation をおこすと図3のBの如く、後輪状披裂筋は抑制をうけるのである。次に迷走神経を切断したあとでは、図5の如く、気管孔の閉鎖、また開放にひきつづく Inflation をおこなつても、後輪状披裂筋には変化がみられない。

(iii) 迷走神経刺激による後輪状披裂筋活動の変化

この実験は、両側の迷走神経を切断して、しかも右側の反回神経を保存しておこなつたものである。迷走神経を通る胸郭からの全ての afferent をカットしたことになるが、その上で色々な頻度の刺激を迷走神経の中枢端に加えたものである。まず 0.3V 1/sec の刺激では、後輪状披裂筋の筋活動は抑制をうけ、この頻度を大にしていくと、その抑制の程度はますます著

図6 迷走神経の中枢端に電氣的刺激を加えた場合にみられる後輪状披裂筋の変化
A：迷走神経を両側切断したあとの後輪状披裂筋の吸気性活動
B：右側迷走神経に 0.3V, 1/sec の電氣刺激を加えると、筋の活動は抑制されてくる。
C：なおその刺激の傾度をあげると、ますます抑制の程度が著明となる。
D：しかし 0.3V, 10/sec 以上の頻度になると、かえって筋の活動は非常に活発となる。

明になる。しかるに 0.3V 10/sec 以上の刺激では逆に筋活動はより著明になる。(図6)

考 察

迷走神経にはさまざまな知覚をふくまれていて、極めて複雑なものである。従つてこの中枢端を刺激しておこなわれる研究は非常に困難な点が多い。従つて単一神経にして実験をおこなうべきであるが、この方法によつて、Knowlton and Larrabee¹¹⁾ は、肺には2つの受容器があるとした。すなわち、Inflation が刺激するところの、従つて吸気を抑制するのに関係のある“slowly adapting”と、deflation が刺激するところの、従つて吸気を活発化させる“rapidly adapting”である。これらの関係にはまだ不明の点もすくなくないが、たとえば一回の吸気量の2倍の空気による Inflation では“rapidly adapting”を刺激してかえつて吸気を活発化させるともいわれている¹⁰⁾¹¹⁾。従つて猫の場合、1回の吸気量は 20~40ml であるといわれているので¹⁰⁾、この実験では Inflation には 30ml の空気を用いている。また別の面から、大量の空気による Inflation によつておこる吸気の活発化は、Head の paradoxical reflex⁹⁾ といわれているものである。この実験において、低い頻度の迷走神経刺激でおこる後輪状披裂筋の抑

制は、いわゆる Inflation によつて生じる変化と対応するものであり、高頻度の刺激によつて生じるものは、この Head の paradoxical reflex に対応するものと考えられる。それが実際に、slowly adapting 由来か、rapidly adapting 由来かはこれからの研究にまつより仕方がないし、また内臓の痛覚に係するものではないかとも考えられる。しかし内臓の痛覚でないことは、頻度によつて反応が異なることや、一般に痛覚に關与する線維は極めて細い方に属し、一般的な電氣刺激では、圧や伸展からの線維を刺激していると考えた方が適當と思われることなどから、一応妥當な線と思われる。また上喉頭神経内枝の刺激とこの迷走神経刺激によつておこる反回神経の反応についても両者の差がみとめられており¹²⁾、迷走神経刺激が、上喉頭神経刺激時にみられるような、喉頭の反射性閉鎖とは無関係であるといわれている。これからも、迷走神経の刺激が電氣的にしる、機械的にしる、呼吸に密接にむすびついたものであると考えるのは適當と思われる。すでに Fukuda¹³⁾ 等は、迷走神経の単一線維から肺の inflation 時に、吸気に一致した電位が活発に得られることを証明し、同時にこの時、後輪状披裂筋も著明に興奮すると述べている。

以上によつて後輪状披裂筋は他の吸気筋と同じように、呼吸中枢から支配されているものであつて、しかも胸郭内に生じる様々な変化により調節されていることはあきらかであるといえる。

また輪状甲状筋は、場合によつては、吸気筋としての性格を強く持つが、この筋も、後輪状披裂筋の調節のされ方とはすこし異なるが、やはり迷走神経の状態いかんで、かなりの変化をみせることも Fukuda¹⁴⁾ 等によりあきらかにされている。従つてこれらの実験は喉頭の呼吸機能が独自に呼吸中枢により支配を受けていること、また胸郭からの Feed-back による調節の存在をあきらかにしているわけであるが、喉頭の反射、または発聲に關する研究、とりわけて反回神経麻痺、上喉頭神経麻痺等に関する研究をおこなう時、胸郭からの Feed-back mechanism は常に忘れてはならないことであると思

われる。

結 語

迷走神経の Afferent と Efferent (反回神経) を分離し、迷走神経の切断または、電気刺激により、あるいは肺の Inflation, Deflation により生じる後輪状披裂筋の活動の変化を研究し、以下の結果を得た。

① 30ml の空気による肺の Inflation では、後輪状披裂筋の筋活動は抑制される。

② 肺の Deflation ではこの筋の活動は非常に活発となる。

③ 気管孔の閉鎖でも反射的に、この筋の活動は活発となる。

④ 迷走神経を切断したあとでは、以上の変化は著明でなくなる。

⑤ 0.3V 10/sec 以下の迷走神経刺激では肺の Inflation と同じような結果を得る。

⑥ 0.3V 10/sec 以上の刺激では、100ml 以上の大量の Inflation と同じように、後輪状披裂筋の活動は活発となり、丁度 Head の paradoxical reflex に似た結果を得る。

本論文の基礎研究は、慶応義塾大学、耳鼻咽喉科教授鈴木安恒先生の御推選で、私が米国エール大学に留学中におこなわれたものである。エール大学耳鼻咽喉科、T. A. Kirchner 教授に謝意を表する次第である。

References

- 1) Green, J.H., and Neil, E.: The respiratory Function of the Laryngeal Muscles. *J. Physiol.* 129 ; 134-141, 1955.
- 2) Faaborg-Andersen, Electromyographic Investigation of Intrinsic Laryngeal Muscles in Humans. *Acta. Physiol. Scand.* 41: Suppl. 140, 1957.
- 3) Negus, V.E.: The Comparative Anatomy of the Larynx. Heieman London, 1949.
- 4) Nakamura, F., Uyeda, Y., and Sonoda, Y.: Electromyographic Study on the Respiratory Movements of the Intrinsic Laryngeal Muscles. *Laryngoscope* 68 ; 109-119, 1958.
- 5) Martensson, A.: Reflex Responses and Recurrent Discharges Evoked by Stimulation of Laryngeal Nerves. *Acta. Physiol. Scand.* 57 ; 248-269 1963.
- 6) Suzuki, M., and Kirchner, J.A.: The Posterior Cricarytenoid as an Inspiratory Muscle. *Ann. Otol.* 78 ; 849-864, 1969.
- 7) Hering, E.: Die Selbststeuerung der Atmung durch den Nervus Vagus. *Sitzber. Akad. Wiss. Wien.* 57 ; 672-677, 1868.
- 8) Breuer, J.: Die Selbststeuerung der Atmung durch den Nervus Vagus. *Sitzber. Akad. Wiss. Wien.* 58 ; 909-937, 1868.
- 9) Head, H.: On the Regulation of Respiration. Part 1, Experimental. *J. Physiol.* 10; 1-70, 1889. Part 2, Theoretical. *J. Physiol.* 10; 279-290, 1889.
- 10) Widdicombe, J.G.: Respiratory Reflexes Excited by Inflation of the Lung. *J. Physiol.* 123 ; 105-115, 1954.
- 11) Knowlton, G.C., and Larrabee, M.G.: A Unitary Analysis of Pulmonary Volume Receptors. *Am. J. Physiol.* 147 ; 100-114, 1946.
- 12) Fukuda, H., Akitaya, T., and Kirchner, J. A.: Evoked Response in the Posterior Cricarytenoid to Stimulation of the Ipsilateral Vagus. In Print.
- 13) Fukuda, H., Sasaki, C.T., and Kirchner, J.A. Vagal Afferent Influences on the Phasic Activity of the Posterior Cricarytenoid Muscle. *Acta. Otolaryng.* 75 ; 112-118, 1973.
- 14) Fukuda, H., and Kirchner, J.A.: Changes in the Respiratory Activity of the Cricothyroid Muscle with Intrathoracic Interruption of the Vagus Nerve. *Ann. Otol.* 81 ; 532-537, 1972.