INNERVATION OF THE SMOOTH MUSCLE IN THE CERVICAL TRACHEA.
—ON THE DESCENDING MOTOR FIBERS TO THE CERVICAL TRACHEAL
MUSCLE IN THE INNER BRANCH OF THE SUPERIOR LARYNGEAL NERVE.

AKIYOSHI KONNO, M.D.

Department of Otorhinolaryngology, Akita University, School of Medicine, Akita.

(Director Kiyoshi Togawa, M.D.)

The efferent pathway of reflexive change of tracheal muscular tonus seen on stimulation of the nasal and laryngeal mucosa was investigated in the cervical trachea of the dog.

A sort of mechanical plethysmography described by Kahn (1907) and Nadel et al. (1962) was used in order to record the response of the tracheal muscle.

Thirteen dogs were examined under chloralose and urethane anesthesia with muscle relaxant and artificial respiration.

The cervical trachea was detached from the larynx and the lower trachea preserving the vessels and the nerves including the inner branch of the superior laryngeal nerve (S.L.N.), the inferior laryngeal nerve (I.L.N.) and the anastomosing branch of Gallen.

This tracheal segment was made airtight. The change of tracheal volume by contraction or dilatation of the tracheal muscle was recorded on the Visicorder through the pressure transducer (Statham PM 15) and the amplifier.

The degree of dilatation and contraction of the trachea by sectioning and electrically stimulating the branches of S.L.N. and I.L.N. were measured and compared.

The effect of sectioning individual efferent nerves on reflexive contraction of the tracheal muscle seen by electrically stimulating the cut proximal end of the inner branch of the S.L.N. was measured.

The present experiment revealed the following findings.

1. The efferent pathway to the cervical tracheal muscle runs through the anastomosing branch of Gallen.

This consists of descending nerve fibers passing through the posterior branch of the inner branch of the S.L.N. and the ascending nerve fibers passing through the posterior branch of the I.L.N. The descending nerve fibers innervate the upper $1/2-1/3$ of the cervical tracheal muscle. On the other hand the ascending nerve fibers innervate its inferior $1/2-1/3$.

2. The most remarkable contraction of the cervical trachea in most dogs was observed with stimulation of the right posterior branch of the I.L.N. In 23% of the the dogs, however, the stimulation of the inner branch of the right S.L.N. caused the most remarkable contraction of the trachea. This was consistent with dilatation of the trachea and decrease of reflexive contraction of the I.L.N. noted by sectioning the efferent nerve. The anterior branch of I.L.N. does not contain motor fibers to the cervical tracheal muscle.

3. The difference of innervation in the cervical trachea between the right and left efferent nerves was apparent, with marked predominance of the right efferent nerves.

頸部気管平滑筋の神経支配

——特に上喉頭神経内枝を経由する平滑筋支配神経について——

秋田大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：戸川清教授）

今野 昭 義

I はじめに

頸部気管平滑筋に対する遠心性神経は迷走神経の分枝にあることは知られているが、上喉頭神経内枝、ガレン吻合枝を経由して頸部気管平滑筋に分布する遠心路についての記載は少ない。

先に犬を用いて鼻腔、喉頭を刺激した時の頸部気管平滑筋の反射性の筋緊張の変化について報告⁹⁾したが、両側上喉頭神経内枝の切断は頸部気管平滑筋の反射性の筋緊張の変化を減少させることから、頸部気管平滑筋に対する運動神経支配、特に上喉頭神経内枝を経由する遠心路について検討を行ない、2～3の知見を得たので報告する。

II 実験方法

気管平滑筋の反応を測定する方法は一種の mechanical plethysmography であり Kahn (1907)¹⁾, Nadel & Widdicome (1962)²⁾ 等の方法に準じた。13匹の可及的大きい成犬 (25～28kg) を用い、chloralose, urethane 麻酔を行い、背位に固定した。(3gm の chloralose と 30gm の urethane を 5% 葡萄糖液 300cc に溶解し、5cc/kg を静注し、必要に応じて 2～4 時間毎に 20～30cc を追加した。)

又 gallamine triethiodide (flaxadil 1.1mg/kg) を静注して筋弛緩を起こさせ、気管断端より挿管して Harvard respirator で人工呼吸を行つた。麻酔は角膜反射が保たれる深度に保つように心がけた。

気管平滑筋の緊張の変化を測定するために、頸部気管を上喉頭神経内枝、下喉頭神経前枝、ガレン吻合枝（上喉頭神経内枝後枝及び下喉頭神経後）を含めて気管に出入りする可能性のある神経、血管を損傷しないように留意して、可及的周囲の頸部の筋肉より剥離した、迷走神経の咽頭食道枝、上喉頭神経外枝を切断し、又副神経、舌下神経を切断し、頸部の筋肉を可及的 denervate した。

次に頸部気管を神経、血管に注意しながら、輪状気管靱帯、第25気管軟骨の下部で切断し、喉頭、及び胸部気

管より遊離した。切断、遊離されたこの頸部気管を気密腔とするために、それぞれの気管内径にあつた硬いプラスチックの栓を気管上下断端に挿入して、気管の上より絹糸にてきつく固定した。プラスチック栓は種々の太さのデスポ注射器の外筒を用意し、その先端部を 1.7cm の長さで切断することにより細工した。気管上端に挿入した栓には、注射針挿入部の位置をかえて作った connector が設けてあり、ビニールチューブにて頸部気管内腔を圧トランスジューサー (Statham PM 15, range ± 0.04 psid) に連結した。又気管腔に過大な圧が加わるのを防ぐために頸部気管腔と圧トランスジューサーの間に 3 方活栓と 4000cc のガラス瓶をおいた。実験シェーマを図 1 に示す。気管平滑筋の収縮又は弛緩による頸部気管腔——ガラス瓶内の圧力変化は圧トランスジューサー、(Statham PM15), amplifier (Honeywell Accudata 113) を介して Visicorder (Honeywell 1508) 上に股動脈血圧、刺激シグナルと共に記録した。

この方法を用いた一連の実験に際しては、知覚刺激によつて起こされる食道運動、嚥下運動、頸部諸筋の運動による artifact に留意した。筋弛緩剤を用いない場合には迷走神経咽頭食道枝の電気刺激に応じて刺激の on, off に一致して食道筋の収縮、弛緩によるすばやい、一過性のスパイク状の波形が記録された。

上喉頭神経内枝の切断中枢端の電気刺激、又は喉頭の触刺激によりみられる嚥下運動の際は一回、一回の嚥下運動に一致して、すばやいスパイク状の一過性の圧変化が記録された。迷走神経咽頭食道枝の切断は嚥下による変化をかなりの程度に小さくはしたが、上行性神経線維による食道筋支配もあるために完全に消失させることはできなかった。しかし以上の artifact は気管平滑筋の緊張変化による圧変化と容易に鑑別することができた。

頸部諸筋の動きによる artifact は筋弛緩剤を用いることにより、平滑筋 tonus をかえることなく、容易に除くことができた。しかし筋弛緩剤を過剰に用いるとおそら

図1 実験シエーマ

- S.L.N. 上喉頭神経内枝
 V.N. 迷走神経
 R.L.N. 下喉頭神経前枝(反回神経)
 t.b. 下喉頭神経後枝

くその神経節遮断効果により気管平滑筋の著明な拡張を起すこともあつた。

気管の収縮又は拡張の程度は刺激前の気管容積の容積百分比として表現した。気管容積変化は実験の終りに種々の既知量の空気を頸部気管腔—4000cc 瓶内に注入し、注入量と圧変化との関係を示す線をひくことにより計算した。この圧気量関係は実験でえられた圧変化内では直線関係にあつた。気管内腔の容積は実験の終りに気管内

に温水を注入して測定した。実験に用いた13匹の頸部気管の容積は15~42cc (平均 30.8cc) であつた。多くの場合気管の遠心性神経を切断することにより気管は著明に拡張したために、気管容積値は最大容積値と最小容積値の平均値として近似計算を行つた。

最小容積値は気管平滑筋(膜様部)が最大収縮した状態を想定して、頸部気管を左右の方向から2枚の平板でしめた状態で容積計算を行つた。股動脈血圧は圧トラン

スジュースー(Statham P23Db)と amplifier (Honeywell Accudata 105, 113)を用いて測定した。

実験は次の順序で行った。

左右の上喉頭神経内枝、下喉頭神経前枝、後枝を露出する。まず左上喉頭神経内枝を切断し、切断による気管容積の変化を測定する。次に左上喉頭神経内枝切断中枢端の電気刺激(1.5V, 20cycle/sec. 1msec. 10秒)を行ない、知覚刺激による反射性の気管平滑筋の収縮の程度を測定する。

次に左右の下喉頭神経前枝、後枝、右上喉頭神経内枝を順次、実験動物によっては神経切断の順序をかえて切断する。

個々の神経の切断の前後には左上喉頭神経内枝切断中枢端の電気刺激を行い、遠心路の切断による気管平滑筋の弛緩の程度と、反射性気管平滑筋収縮の程度の減少を記録し比較する。次に切断された左右の上喉頭神経内枝、下喉頭神経前枝、後枝の切断末梢端を体温に温めたパラフィンプールの中で1本ずつ、又は2～4本一緒に刺激して気管収縮の程度を比較する。刺激条件は、20 cycle/sec., パルス幅 1msec で刺激の強さと持続時間は最大収縮が得られるように種々変えて比較した。

4匹の犬では星状神経節を露出し、神経節より下喉頭神経にむかう神経枝を神経節近く切断、その切断末梢端を電気刺激し、気管拡張の程度を測定した。

Ⅲ 成 績

図2に気管平滑筋に対する遠心性神経を切断し、末梢端を電気刺激した際にみられる気管容積の変化(平滑筋収縮)を示す。13匹の犬において右上喉頭神経内枝を最大限に刺激すると、今回用いた方法では反応が明らかとなるまでに0.5～2.5sec(平均 1.3 ± 0.7)を要し、最大に達するまでに12～60sec(平均 27.0 ± 10.7)を要した。最大収縮を示した直後に刺激を中止すると5～22sec(平均 9.4 ± 4.5)後には反応の大きさは $1/2$ 主に減少し、13～54sec(平均 29.1 ± 10.3)後には反応は消失した。

上喉頭神経内枝、下喉頭神経後枝の刺激は刺激条件を種々にかえても決して気管拡張を起すことはなかった。

刺激条件を種々変えた際の反応の大きさを図3に示す。気管収縮の大きさは刺激の強さの増加と共にまし、20～30cycle/sec., 9～12Vで最大の収縮が認められた。

1.5V, 1cycle/sec., パルス幅 1msec, 持続30秒間の刺激は通常測定しえる気管収縮を起した。気管平滑筋遠心性神経を最大限に刺激すると先に示した実験条件では反応は刺激が持続するにもかかわらず、peakに達した後

図 2

右上喉頭神経内枝切断末梢端を電気刺激(3V, 20cycle/sec. 1msec.)した時にみられた典型的な頸部気管容積変化曲線。

黒太線は刺激の持続を示す。

上方へのふれは気管収縮を示す

に徐々に減少する傾向を示した。弱刺激の際には反応は刺激が持続する限り、明らかな疲労を示すことなく持続した。1匹の犬にて上喉頭神経内枝切断末梢端を、1.5V, 20cycle/sec. 1msec で25分間持続刺激すると刺激終了時には最大反応値の22.8%の減少を認めている。(図4)

左右の下喉頭神経後枝、上喉頭神経内枝の切断末梢端を刺激し、それぞれの反応の大きさを比較すると、右下喉頭神経後枝刺激の際に13匹中9匹で最大の反応を示し、その大きさは平均 $16.8 \pm 4.7\%$ (容積比)であつた。3匹では右上喉頭神経内枝刺激が最大の反応、平均 $12.9 \pm 10.8\%$ (容積比)を示した。

左下喉頭神経後枝刺激による反応が最も小さかつた。(表1)

図5は13匹の犬で左右上下4本の個々の遠心性神経刺激による容積変化の合計を100とした時の個々の神経刺激による容積変化の大きさを示したものである。

上喉頭神経内枝と下喉頭神経後枝を同時に刺激すると多くの犬では個々の神経刺激時にみられる容積減少の算術加算値に近似した容積減少を示したが、しばしば個々の反応の単純な加算値よりは14～22%少ない反応がみられた。

最大刺激時の気管の収縮はしばしば肉眼的にも認めることができ、上喉頭神経内枝刺激は頸部気管の上部 $1/3 \sim 1/2$ の収縮を起し、下喉頭神経後枝刺激は下部 $1/2 \sim 2/3$ の収縮を起こした。

下喉頭神経前枝刺激は気管収縮を起こすことは全くなかつた。

気管平滑筋に対する4本の遠心性神経を切断すると気管は著明に拡張し、多くの犬では個々の神経切断に応じて階段状の気管拡張を示した。これは気管平滑筋は通常

図 3

10匹の犬を用いて、右上喉頭神経内枝切断末梢端を種々の刺激条件で電気刺激した時の気管容積減少の程度を示す。左は 1.5V, 1msec. で frequency を種々変えた時の容積変化, 右は 20 cycle/sec. 1msec. で voltage を種々変えた時の容積変化。刺激持続時間は30秒であり, 最大の反応は 20~30cycle/sec., 9~12V で認められた。

表 1 頸部気管平滑筋に対する遠心性神経切断末梢端の電気刺激による気管容積の減少値 (容積比)

Dog No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Mean & S.D.
Right S.L.N.	6.0	14.7	13.1	22.6	0	4.9	9.0	3.5	13.6	8.1	17.3	4.8	16.0	12.9 ± 10.8
Left S.L.N.	6.4	8.4	20.6	16.4	5.6	3.4	3.3	7.5	3.6	6.4	3.5	9.1	29.3	9.6 ± 5.4
Right tracheal branch	18.8	15.5	22.9	10.0	19.6	17.2	7.3	20.5	12.0	13.2	19.5	14.0	29.3	16.8 ± 4.7
Left tracheal branch	9.2	0	14.1	0	10.0	6.0	3.1	12.5	7.2	18.7	6.5	4.2	16.7	8.3 ± 5.6

遠心性神経を介する tonic impulse によりある程度の収縮状態に保たれていることを示す。最も著明な拡張は右

図 4

右上喉頭神経内枝切断末梢端を持続的に刺激した時の気管容積の変化。刺激条件は 1.5V, 20 cycle/sec, 1msec., 刺激持続時間は25分である。latent period 及び maximal response time はそれぞれ 2.5 及び 68sec であつた。最大反応値(気管収縮)及び持続刺激終了時の反応値はそれぞれ容積比で 10.6%, 8.6% であつた。

下喉頭神経後枝切断の際にみられ、その大きさは 5.1~30.5%, 平均 17.6 ± 10.3 (容積比)であり、最も小さい変化は左下喉頭神経後枝切断の際にみられ、これは切断神経末梢端刺激による気管収縮の結果と一致した。

気管平滑筋への遠心路が健存の状態では喉頭の知覚刺

図 5

左右の上喉頭神経 (S.L.N.), 下喉頭神経後枝 (Tracheal Branch) それぞれに含まれる遠心性神経の電気刺激による気管収縮の大きさの合計を 100 とした時の個々の遠心性神経刺激による気管収縮の大きさを示す。黒点はそれぞれ 1 匹の犬 (計13匹) を示す。

図 6

頸部気管平滑に対する遠心路切断の前後で右上喉頭神経内枝切断中枢端の電気刺激を行い、遠心路切断の影響をみたものである。右上喉頭神経内枝切断中枢端の電気刺激 (1.5V, 20cycle/sec, 1msec, 10秒) による反射性の気管収縮の大きさ (容積比) は遠心路を 1 本ずつ切断してゆくことにより順次階段状に減少する。

S.L.N. 上喉頭神経内枝, Tracheal Branch 下喉頭神経後枝, R 右側, L 左側を示す

図 7

気管平滑筋遠心路切断による気管容積の変化(拡張)と左上喉頭神経内枝切断中枢端の電気刺激による反射性気管平滑筋収縮の大きさへの影響。

股動脈血圧を同時記録、黒横太線は左上喉頭神経内枝切断中枢端の刺激時期と持続時間を示す。A、Bの部の矢印はそれぞれ右上喉頭神経内枝切断、右下喉頭神経後枝切断の時期を示す。

激は気管平滑筋の反応性の収縮を起す。上下左右の遠心性神経を一本ずつ切断していくと、この反射性の気管収縮は階段状に減少した。(図6)

図7は左上喉頭神経内枝切断中枢端を1.5V, 20cycle/sec., パルス幅1msecで電気刺激した時の股動脈血圧と反射性の気管収縮(上方への山型のふれ)を示す。黒横太線は刺激の時期と持続時間(10秒)上段Aの矢印は右上喉頭神経内枝切断、下段Bの矢印は右下喉頭神経後枝切断の時期を示す。右上喉頭神経内枝切断(A)により気管は拡張し(基線の下方向へのずれにより示される。), それ以後は左上喉頭神経内枝切断中枢端刺激による反射性気管平滑筋収縮は減少している。

右下喉頭神経後枝切断(B)後には左上喉頭神経内枝切断中枢端刺激は気管収縮を起さず、個々の嚥下運動に一致した下方へのスパイク状の波形が記録されるのみである。

右上喉頭神経内枝切断時(A)にみられる不規則な上方へのふれは神経切断のための操作による求心性、遠心性神経線維の機械的な刺激によるものである。

星状神経節より下喉頭神経にむかう神経枝の切断末梢端を6~12Vの最大刺激に到るまでの種々の条件で刺激したが4匹中、2匹で0.4~12%(容積比)の軽度の気管拡張を認めたにすぎなかった。しかし下喉頭神経を星状神経節の高さに到るまで、神経、血管を損傷することなく十分に露出することは困難であり、剝離操作による

神経損傷のために気管平滑筋の弛緩がすでにある程度起こってしまっており、弛緩刺激による弛緩が起こり難かつたという可能性はある。

IV 考 察

今回の実験は頸部気管平滑筋に対する遠心性神経支配はガレン吻合枝を介するものであり、下喉頭神経後枝を経由して上行する上行性線維と、上喉頭神経内枝の後枝を経由して下行する下行性線維よりなることを確認した。下喉頭神経前枝(反回神経)には気管平滑筋に対する遠心性神経は含まれない。また神経支配の左右差が明らかであり、頸部気管全体としてみると、右側上行性神経による支配が最も著明で、左側上行性神経線維によるものが最も弱かつた。上喉頭神経内枝を経由して下行する神経線維は主として頸部気管の上 $1/2 \sim 2/3$ を支配し、下喉頭神経後枝を上行する線維は主として下 $1/2 \sim 2/3$ を支配すると考えられた。又これらの神経の切断は気管平滑筋の弛緩を起し、同時に気道刺激による反射性の頸部気管平滑筋緊張の変化の減少が認められた。

従来、組織学的には上喉頭神経内枝にはガレン吻合枝を通って下行し、頸部気管に分布する副交感神経線維の存在についていくつかの報告がある。即ちKokin(1896)³⁾は喉頭と上部気管への分泌神経は上喉頭神経内枝、ガレン吻合枝を通って下行すると述べた。又Lemere(1932)⁴⁾は犬のガレン吻合枝は上喉頭神経内枝を経由して下行する神経線維のみよりなり、吻合枝の中の分泌神経は頸部気管の上 $1/3$ を支配すると述べた。

頸部気管平滑筋神経支配については生理学的実験よりKahn(1907)¹⁾は犬において、下喉頭神経の電気刺激は気管の著明な収縮を起したが、上喉頭神経刺激は気管収縮を起さないと述べた。一方Golla等(1913)⁴⁾は猫を用いて上喉頭神経刺激を行ない、気管収縮を記録したと学会報告を行なっている。私の知りえる限り、これが上喉頭神経を経由する頸部気管平滑筋に対する遠心路についての唯一の報告である。

ガレン吻合枝は犬においては右側では下喉頭神経前枝とは独立して、星状神経節の下部で迷走神経より直接分れる。左側では星状神経節の上で1本又は数本の分枝により下喉頭神経前枝より分れて下喉頭神経後枝として気管食道溝を上行する。

上喉頭神経内枝は喉頭内で前、中、後の神経枝に分れ、後枝の終末部が下行し、ガレン吻合枝に移行する。吻合枝はその経過中多数の分枝を食道及び気管に出している。ガレン吻合枝の存在については今回の実験に供し

たすべての犬に認められた。これは多くの先人の認めるところであるが、人間においては Lemere (1932)⁵⁾ は13例中10例に、Norland (1930)⁶⁾ は19例中3例に、広戸等(1968)⁷⁾ は10例中全例に認めたと述べており、報告者により違いがある。

阿部(1968)⁸⁾ は神経組織学的に扇形標本を用いた変性実験により、犬の上喉頭神経、下喉頭神経の神経線維構成を詳細に調べ、頸部気管の上部及び中部の $\frac{2}{3}$ を支配する神経線維の98.9%から97.1%は上喉頭神経内枝を経て下行する神経線維よりなると述べた。又吻合枝を部位により上頸部、中頸部、下頸部の3つに分け、それぞれの神経線維が上行性であるか、下行性であるかを検討したが、下行線維は96.9%~87.8%~10.3と下になる程減少し、上行線維は1.8%~9.3%~87.2%と下になる程増加すると述べている。又吻合枝の線維構成を左右別に調べ、神経線維は左側では上から中部になると線維は半減するが、下部になると再び増加することを認め、線維の増減関係の左右差を指摘している。

吻合枝を形成する神経線維は知覚神経、分泌神経も含み、平滑筋支配神経はその一部を構成するにすぎないが、阿部の組織学的知見は今回の生理学的実験の所見と一致する点が多く認められた。

V ま と め

鼻粘膜、喉頭粘膜の知覚刺激による気管平滑筋の反射性緊張変化についての研究の一環として、犬を用いてこの反射の遠心路について検討した。頸部気管を血管、神経を保存したまま上下両端で切断し気密腔とし、気管平滑筋の筋張緊の変化による気管容積の変化を高感度圧トランスジューサーを用いて測定した。遠心性神経の切断による平滑筋弛緩、電気刺激による収縮を記録し、又上喉頭神経内枝切断中枢端刺激により起される反射性の気管平滑筋収縮に対する遠心路切断の影響をみた。以上の実験より次の知見をえた。

- 1) 頸部気管平滑筋に対する遠心路はガレン吻合枝を介するものであり、下喉頭神経後枝を経由して上行する

上行性神経線維と上喉頭神経内枝の後枝を経由して下行する下行線維よりなる。

- 2) 下喉頭神経前枝(反回神経)には気管平滑筋支配神経は含まれない。上行性神経線維は主として頸部気管平滑筋の下 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{2}{3}$ を、下行神経線維は上 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ を支配する。
- 3) 神経支配の左右差が著明であり、右側優位である。

文 献

- 1) Kahn, R.H.: Zur physiologie der trachea. Arch. Anat. and Physiol. 398-426, 1907.
- 2) Nadel, J.A. and Widdicombe, J.G.: Effect of changes in blood gas tensions and carotid sinus pressure on tracheal volume and total lung resistance to airflow. J. Physiol. (London) 163; 13, 1962.
- 3) Kokin, P.: Über die sekretorischen Nerven der Kehlkopf- und Luftrohren-Schleimdrüsen. Pflügers Arch., 63, 622, 1896.
- 4) Golla, F.L. and Symes, W.L.: The innervation of the tracheal muscle. (Preliminary communication). J. Physiol. (London), 46; 38, 1913.
- 5) Lemer, F.: Innervation of the larynx. II. Ramus anastomoticus and ganglion cells of the superior laryngeal nerve. Anat. Rec., 54, 389 1932.
- 6) Norland, M.: The larynx as related to surgery of thyroid. Surg. Gyn. and Obst., 51, 499, 1930.
- 7) 広戸幾一郎, 豊住頼一, 矢武良規: 喉頭神経の比較解剖学的考察. 日耳鼻, 71; 212, 1968.
- 8) 阿部達志: 犬の上喉頭神経及び反回神経について. 福島医誌, 10; 123, 1960.
- 10) 今野昭義他: 鼻腔, 喉頭の知覚刺激と気管, 気管支平滑筋との反射について. 日耳鼻, 75, 1128, 1972.

本論文の要旨は第70回日耳鼻岩手地方会にて口演した。

(原稿受付 昭和50, 12, 27日)