G. 引用文献

- 1) 仁保正次: 耳喉, 21 卷 493 頁. 2) 仁保正次: 耳喉, 21 卷 9 頁. 3) 浅井良三: 耳鼻臨床, 46 卷 9 号 659 頁. 4) 浅井良三: 耳鼻臨床, 43 卷 4 号 131 頁. 5) 高原高三: 耳鼻臨床, 41 卷 1~2 号 1 頁. 6) 高原高三: 日耳鼻, 53 卷 12 号 413 頁. 7) 西端驥一: 耳鼻臨床, 41 卷 1~2 号 24 頁. 8) 西端驥一: 耳喉, 21 卷 12 号 545 頁. 9) 高原高三: 耳喉, 21 卷 12 号 538 頁. 10) *Beyer, H.*: Die Operationen am Ohr 1932 年. 11) *Toback*: Pathologische Klinik der Pyramidenzellen 1937 年. 12) *Handbuck*: der normalen und pathologischen Physiologie 1936 年. 13) 加藤元一: 生理学上巻.

- 14) 西端驥一: 耳鼻咽喉科学各論. 15) 遠藤至六郎: 口腔外科診断学.

拙筆するに当り、御懇切なる御指導を賜わりたる大藤敏三教授、終始御助言を戴きたる東歯大生理学山田守教授、医長岡部剛二博士、仁保正次博士、仁保三四次博士に深甚なる謝意を表する。

本論文の要旨は日本耳鼻咽喉科学会第54回総会及び第55回総会に於て報告、映画供覧せるものである。

(原稿到着＝昭和 30.1.6 日—急載)

Y. YAMAWAKI. M.D.: ELECTROMYOGRAPHIC STUDIES ON THE MECHANISM OF PHONATION AND ARTICULATION Report I.

発声並びに構音機構に関する筋電図学的研究

京都府立医科大学耳鼻咽喉科教室 (主任 中村文雄教授)

医学士 山 脇 吉 次
ヤマキ ヨシツグ

第I編 発声機構に関する実験的研究

発声時の内喉頭筋々電図

目 次

緒 言

I) 文献的考察

II) 実験方法

III) 実験成績

- (1) 正常発声時の外側輪状披裂筋々電図
(2) 正常発声時の輪状甲状筋々電図

- (3) 正常発声時の後輪状披裂筋々電図

- (4) 正常発声時の披裂筋々電図

- (5) 正常発声時の声帯筋々電図

IV) 総括並びに考按

V) 結 論

緒 言

喉頭は呼吸・発聲・嚥下並びに聲門閉鎖による生体防禦的作用等、種々の生理機能を有しているが、最も重要な作用は原音發聲器としての機能である。

即ち、發聲に際し喉頭は舉上して聲門を閉ざし、呼氣の流出と共に音色が構成される。かくして喉頭

より發せられた音聲は發聲附屬管の働きにより音色が構成される。即ち胸部・腹部・口腔・咽腔・鼻腔、その他、顔面・頭蓋骨に至る迄が之に関與するとされている。その中で最も主要な機能を営むのは口蓋帆の運動であり即ち軟口蓋の作用である。

一方、發聲に際しての喉頭舉上は外喉頭筋の作用

であり、聲門内腔の閉鎖、變形は内喉頭筋の作用によると考えられる。

そこで私は、内喉頭筋・外喉頭筋並びに軟口蓋構成各筋より、發聲時の筋電圖を誘導し、E.M.G.の面より發聲並びに構音機構に對して考察を加えようとして本實驗を企圖したのである。

I) 文献的考察

發聲の機構、即ち發聲時の聲帯の振動機構と聲音との關係に就ては、古來幾多の研究實驗業績がある。そしてそれ等の研究方法は、生体を喉頭鏡又はストロボスコープで觀察したり、或は之に映畫、最近に於ては超高速度寫眞を併用したりする方法と、人工模型或は摘出喉頭模型による實驗とに大別出来る。

1837年 Johannes Müller¹⁾の振動膜による簡単な模型實驗を始め、1855年喉頭鏡發明者 M. Garcia²⁾はこれによつて發聲時の聲帯像をつぶさに觀察した。然るにストロボスコープの發明は、此の方面の研究に一新紀元を劃し、多數の研究者が簇出し、更に寫眞撮影技術の進歩と共にその觀察も深められ飛躍的進歩を見るに至つた。

C. Müller³⁾ (1876) は之を應用して、自由に振動する膜と人間發聲器官との關係を論じ、續いて Oertel⁴⁾ (1895) が生体喉頭を觀察してから Koschlakoff⁵⁾ (1886), Rethi⁶⁾ (1897), Musehold⁷⁾ (1898), Nagel⁸⁾ (1906), Tondorf⁹⁾ (1925) 等の詳細な觀察により種々の發聲の際の聲帯振動狀態に就て、多くの知見がもたらされた。

又、Ewald¹⁰⁾ は Zungenpfeife としての聲帯振動に疑問をもち、その運動はむしろ楔狀物が相互に衝撃的運動をなすものとし、Polsterpfeife を作つたが、後に聲帯は強く水平運動をなすと同時に少しく上下運動をすることを認めている。この聲帯の運動方向については、その後種々の異論が續出し Skramlik¹¹⁾ (1925) を始めとして Husson¹²⁾, Tarnaud¹³⁾ (1932) 等、發聲の際の呼氣壓を含めた筋收縮の狀態、聲門閉鎖の相互作用等によつて、聲門閉鎖の機構と同期的に振動する理由を巧みに説明している。

以上、諸家の研究により喉頭の形態學的機構、喉頭内外筋の態度、聲帯振動狀態、振動様式等一定の

結論を得てきたのであるが、何分にも以上の方法では常に上方からのみの觀察に止まり、從來の方法では容易に解決判明し得なかつた點も少くなかつた。そこで W. Trendelenburg¹⁴⁾ は摘出喉頭の聲門閉鎖を Schallenschriftmethode. 上下の方向の運動を、Kondensatormethode. その時の音をオシログラムに同時に記録し之等相互の關係を比較考察する事によつて聲帯振動は部分的振動を持たぬが、空氣振動は有する事、基本周期は聲帯振動と空氣振動の夫れと一致する事、聲門が閉鎖後尙引續き兩聲帯は互に中央線で壓迫し合つて、然る後再び開大運動に移る等の推論を得ている。續いて Wullstein¹⁵⁾ は光電管をもつて聲門或は聲帯を透過し來る光線を補捉し閉鎖期間中の聲帯の態度に就き實驗し、複合運動説を認めると共に、振動中の聲帯の厚さの變化から内部的に質量移動が存するのを發見した。

一方我國では伊積¹⁶⁾ が人の發聲裝置について詳述し、1937年野口¹⁷⁾ により人間のストロボ喉頭映畫による實驗的研究が行われ、1944年切替¹⁸⁾ は新しいストロボ映畫撮影法によつて、人間の發聲時聲帯の種々なる位相の振動狀態を逐次記録し、聲帯の振動並びに聲門閉鎖の時間的關係について研究した。

一方これ等聲門の運動、引いては聲帯運動に關しては夫々の内喉頭筋への支配神経を切斷することによつて起る聲門像の變化より、神経支配の問題から發聲機構に對する考察を加え様とする數々の實驗研究が行われてきた。即ち Bishoff¹⁹⁾ は其の解剖學的實驗より迷走神経は純粹の感覺神経であるが、運動神経の副神経を伴うから運動神経としての性質を有するのであるといつている。その後 Bernard²⁰⁾, Burkart²¹⁾ も同様の意見を述べている。

Exner²²⁾ は喉頭筋を主宰する神経には迷走神経の咽頭枝より分れて來る一枝があり、中喉頭神経と稱し之が喉頭筋に入つて運動にあずかる事、ならびに上喉頭神経と共に單に環狀甲狀筋のみならず他の喉頭筋にも其の神経線維が入つて主宰することを解剖病理組織の上から論及した。しかし Simanowski²³⁾, Ondi²⁴⁾, Möller²⁵⁾, Breisacher²⁶⁾ 等は夫々の實驗研究の結果、咽頭枝の運動線維が直接喉頭に來て運動主宰に與ることはないと反對してい

る。そのみならず、上喉頭神経の運動神経支配に關しても種々の意見があつて枚擧することが出来ない。

我が國に於ても上村²⁶⁾は喉頭の運動、特に聲帯運動像に關する實驗的研究で上喉頭神経と喉頭運動との關係、下喉頭神経と聲帯運動に關して研究し、又長石²⁷⁾はこれと同様な研究のかたわら主として後筋の運動神経支配に關し、更に横張²⁸⁾は後筋を除く内喉頭筋各個に入る支配神経をその末端部で切断して發聲時の喉頭所見より、神経支配の問題と共に發聲機構に對しても各種の推論が下されて來た。

最近に至り、真空管技術の進歩と共に各種の電氣實驗が醫學研究に應用されるようになり、筋電圖學的研究も時實²⁹⁾等の推奨によつて2,3年來、急速の進歩發展をとげる様になつた。従つて筋電圖を使つて發聲を中心とする喉頭の機能を解明せんとする企てが、教室の中村³⁰⁾等の動物實驗を主とする研究と、颯田等³¹⁾の人体を主とする研究とが、時を同じくして發表せられ、新しく筋電圖の面からの喉頭機能が論議される様になつてきた。

II) 實驗方法

発声時の内喉頭各筋より筋電圖(E.M.G.)を誘導するにあつて、人体に於てはすべての筋肉よりの誘導は不能であり、従つて発声機構の全貌をうかがう事は出来ず、又音声の高低や頭声・胸声等あつて個人差甚しく従つてE.M.G.にあらわれる変化も種種雑多で一定しない。そこで私は発声状態の変化が割合に少いと考えられる犬を實驗動物として使用した。由来喉頭の実験に關しては犬・猫・兎・馬・牛等が多く使用せられ特に前三者、即ち犬・猫・兎を使用する場合が最も多く就中、声門運動の觀察には犬が便利である。即ち、喉頭鏡を用いずして直接に喉頭を觀察し得るのみならず Stupka³²⁾等によれば人類の喉頭に近似し、その喉頭に容易に比較せられ得るためである。

実験に際しては、犬に輕度の全身麻酔をほどこして脊位に固定し筋肉・神経を損傷しない様充分に注意して喉頭を露出し、夫々の筋肉を確認後該筋に同心型針電極(齒科用1/4針を使用)を刺入し、麻酔の充分醒めるのを待つて動物に発声せしめ、その際

のE.M.G.を増幅器を通じ、横河式電磁オッシロA型振動子に接続して描画した。

検査した内喉頭筋としては、

- (1) 外側輪狀披裂筋 M. cricoarytaenoideus lateralis (側筋 M. lateralis)
- (2) 輪狀甲狀筋 M. cricothyreoideus (前筋 M. auticus)
- (3) 後輪狀披裂筋 M. cricoarytaenoideus dorsalis (後筋 M. posticus)
- (4) 披裂筋 M. arytaenoideus (横筋 M. transversus)
- (5) 声帯筋 M. vocalis

を選んだ。

尚この中、声帯筋への電極の刺入は、喉頭下に氣

第1表 自作 E.M.G. 誘導用増幅器

(A) 電圧増幅 (B) 電力増幅

(A)

時定数 0.5秒

(B)

管切開を施行して声帯を確認した後、気管切開口より行つた。この気管切開口は電極刺入後は自然に閉鎖し、発声障害は起らなかった。

E.M.G. 描画に必要な増幅器は第1表の如きものを自体して使用した。

又実験はすべて交流妨害を避けるため遮蔽室内で行つた。

III) 実験成績

以上の実験方法によつて描畫せられた内喉頭筋 E.M.G. を所謂人間の骨格筋 E.M.G. と同様に考えて、スパイク放電を分析・處理してゆくには放電間隔・放電の強さ等に違いがあつて妥當ではない。そこで正常安静呼吸・發聲・嚥下時の内喉頭筋 E.M.G. をとり、夫々を比較検討して正常發聲時の E.M.G. に検討を加えた。

(1) 正常發聲時の外側輪狀披裂筋 E.M.G.

正常發聲時の側筋の E.M.G. は第2表の如く發聲に一致した律動的放電を認め、最高振幅は 5.5mV に及び、その Interval Diagram は第3表の如くである。側筋に於ては安静呼吸時にも呼氣に一致した律動的なスパイク放電がみられるが、發聲時には放電数は遙かに多くなる。然しながら放電の發現様式には變化なく、筋肉自体は發聲時に於ても呼吸時と大差のない働き方をしていることが理解出来るのであり、このことは呼吸時と發聲時の同一電壓に於ける放電間隔のヒストグラムをとつて比較すると、その形の變化に乏しいことによつても明らかである(第4表)。

(2) 正常發聲時の輪狀甲狀筋 E.M.G.

正常發聲時の前筋の E.M.G. は第5表の如くであ

第 2 表

第 3 表

正常発声時側筋の Interval Diagram

第 4 表

第 5 表

り、その収縮力は内喉頭筋中最も大きく最高振幅は 6mV 以上に及びその Interval Diagram は第6表のようになる。これを一方、呼吸時及び發聲時の同一電壓の放電間隔のヒストグラムをとり比較すると、側筋の場合と同様、發聲時の前筋の収縮形式は呼吸時に比して大差は認められない。

第6表

第8表

第9表

第10表

第7表

(3) 正常發聲時の後輪狀披裂筋 E.M.G.
正常發聲時の後筋の E.M.G. は第7表の如くであり、發聲と發聲の間、即ち吸氣に一致して律動的なスパイク放電があらわれる。最高振幅は約 2.5mV で、その Interval Diagram は第8表の如くである。更に前2者と同様に呼吸時と發聲時の放電間隔のヒストグラムを比較すると側筋・前筋の場合とその形を著しく異にし第9表の如く、發聲時にはピークは著しく左方に寄り、呼吸時に比して遙かに大きな筋緊張を営んでいることが推測される。又、發聲時の放電数が呼吸時に比べて少いことは、發聲中は吸氣時間が呼氣時間に比べて短いためであるが、筋收縮の強さは遙かに大きい。

(4) 正常發聲時の披裂筋 E.M.G.

正常發聲時の横筋の E.M.G. は第10表の如くであり、その最高振幅は約 4mV である。且つ Inte-

val Diagram は第11表の如くなる。

一方、正常呼吸時と發聲時の同一放電の放電間隔のヒストグラムを比較すると前述の後筋と同じく發聲時にはピークが著しく左方に寄り、且つこの場合には放電の数も遙かに多くなる。このことより横筋は發聲時には呼吸時に比して遙かに大きい筋收縮を営んでいることが分る。

第 11 表

第 12 表

第 13 表

(5) 正常發聲時の聲帶筋 E.M.G.

聲帯筋では、安静呼吸時には見られなかつた律動的なスパイク放電が、發聲時に至つて初めて見られる様になる(第12表)。

その最高振幅は約 3mV で Interval Diagram は第13表の如くである。

以上の實驗成績によつて明らかな様に、聲帯筋を含む内喉頭筋すべてに、發聲時には律動的なスパイク放電があらわれる。而して唯一の聲門開大筋である後筋は、發聲と發

聲との間、即ち、1つの發聲より次の發聲に移る吸氣に一致してスパイク放電がみられ、安静呼吸時と同様に聲門開大筋並びに閉鎖筋は一定の拮抗作用をもつて規則正しく弛緩と收縮を繰返している事から分るのである。

一方各筋肉の收縮の様式を知るため、更に縦軸に放電間隔を、横軸に時間をとつて發聲時の放電間隔の平均値と時間の關係をグラフにあらわした(第14表、第15表)。

第 14 表

声帯筋の放電間隔と時間との關係

第 15 表

内喉頭各筋の放電間隔と時間との關係

第14表に見られる様に聲帯筋では急激な収縮をもつて始まる定型的な所謂 *Dembleé* 型を示している。これは聲門開大筋である後筋を除き、他の内喉頭筋には見ない聲帯筋特有の放電形式であり、發聲に關與する他の喉頭筋である側筋・前筋・横筋では徐々に収縮が強くなり次で次第に弱くなつて休止するU字型曲線をえがいている。

これ等のことから、發聲に際しての各内喉頭筋の働きを推察するに、發聲に際しては先ず聲帯筋を除いた他の聲門閉鎖筋が徐々に収縮して先ず聲門を閉ざし、次で聲帯筋の急激な収縮が起ると共に呼氣の排出と相俟つて發聲が起るものと考えられる。

唯、聲帯筋以外に後筋にも聲帯筋と同様の *Dembleé* 型放電型式が現われるが、この筋肉は唯一の聲門開大吸氣筋であり、又短時間内に収縮の必要があるためと考えられる。

IV) 總括並びに考察

今、各内喉頭筋群の生理作用を考えるに、前筋は環狀軟骨弓の外側より起り、その筋肉線維は上方扇形に放散して甲状軟骨板の下縁、内面及び外面に附着し、作用は環狀軟骨弓を上方に牽引し、環狀軟骨板上縁を上後方に移動せしめ、甲状軟骨下縁に環狀軟骨弓を近ずかしめ、聲帯を緊張せしめるものである。

内筋は甲状軟骨角の後面より起り、後方に略々水平に走つて披裂軟骨の聲帯突起、長圓窩及び側縁に附着し、披裂軟骨を前下方に牽引し、後環狀披裂筋に抗し環狀披裂關節に於て蝶番運動を惹起すると同時に聲帯突起の接近、沈下並びに兩側披裂軟骨の前縁を相接近せしめ、側筋及び横筋の協力下に正しく膜様部聲門を閉鎖せしめる作用があるとされている。

側筋は環狀軟骨弓上縁及び外面、彈性圓錐より發し、披裂軟骨筋肉突起に附着し、筋肉突起を前下方に牽引し、聲帯突起を正中線に近ずかしめ聲帯を稍や弛緩せしめるといわれる。

横筋は一側披裂軟骨の筋肉突起より他側筋肉突起へ、又一側々縁 (*Margo lateralis*) より他側の側縁に及ぶものであつて機能的には該筋突起を側筋に拮

抗的に環狀披裂關節面上にて上方に牽引して環狀披裂軟骨より披裂軟骨の廻轉を惹起し、聲帯突起を外轉せしめ聲門を開大せしめ、且つ全披裂軟骨特にその先端を相互に接近せしめるものである。

後筋は、輪狀軟骨板の後面の窩から起り、斜に外側方に進み、披裂軟骨の筋突起に附着し、披裂軟骨の筋突起をば後方に引いて披裂軟骨を外方に廻して聲門を開大せしめるものである。

さて、發聲時の E.M.G. にあらわれたスパイク放電の振幅並びに放電間隔から筋収縮の面のみより見ると、發聲時には前筋の収縮力は内喉頭筋中最大である。

このことは發聲に必要な聲帯を前述の如く直接緊張させるという前筋の生理機能より考えて容易に是認されることではあるが、原音の構成上、重要な機能を有していることが立證されるのである。一方、時實・藤田・堀口等は成人の男・女子の筋筋に針電極を挿入し、發聲時に可成り強度の放電を認めるが、男子と女子とで相異があり、これは性ホルモンの消長と關係があるのではないかと思うと述べ、放電様式については私の成績と略々同様の結果を發表している。

前筋に次いで側筋、次に横筋の順であり發聲に直接重要な作用を営む聲帯筋の収縮力は筋収縮の強さのみより見れば、全内喉頭閉鎖筋中一番小さい。勿論、發聲時の聲帯の振動状態については、C. Muller を始めとして、Ewald, Nagel, Tondorf 等の報告を始め、Trendelenburg の摘出嚢喉頭所見や切替等のストロボ映電撮影法、更に喉頭像の超高速写真による觀察等のあることは前述したが、それ等の聲門運動の基となる筋肉自体の緊張様式から見れば、先に述べた發聲時の E.M.G. にあらわれた各内喉頭筋群の収縮様式より考えて聲帯筋を除く、前筋・側筋・横筋の緊張は徐々に聲門を閉鎖して聲帯筋の緊張をまつ發聲の準備状態と考えられ、これ等の筋肉の収縮によつて閉ざされた聲門は引續く聲帯筋の急激な収縮と呼氣排出によつて、原音が作られる。即ち、喉頭に於ける原音發生の機序は聲帯筋を除いた他の聲門閉鎖筋が徐々に収縮して先ず聲門を閉ざし、次で聲帯筋の急激な収縮が起ると共に呼氣の排出と相俟つて原音が構成されるのである。

而してかくて構成された原音は聲帯膜の振動如何、各閉鎖筋の収縮状態の程度或は變化によつて各種の音色が構成され、更に發聲附屬管の作用によつて音色に種々のニュアンスが生ずる様になると考えられる。

V) 結 論

實驗動物に成熟した犬を用い、喉頭の原音發生機序について E.M.G. の面より考察を加えた。

1) 聲帯筋の筋緊張は特有であり、定型的な *Dembleé* 曲線を示す。

2) 前筋の筋緊張は内喉頭筋中、最大である。

3) 各内喉頭筋の収縮力は前筋>側筋>横筋>聲帯筋>後筋の順である。

4) 後筋に於ても聲帯筋と同様の *Dembleé* 型曲線を示すが、これは内喉頭筋中唯一の聲門開大筋であり、發聲と發聲の間の短時間内に急激な収縮の必要があるためと考えられる。

(文献は第Ⅱ編の後に一括する。)

(原稿到着＝昭和 30. 1. 5 日一急載)

Y. YAMAWAKI, M.D.: ELECTROMYOGRAPHIC STUDIES ON THE MECHANISM OF PHONATION AND ARTICULATION Report II.

發聲並びに構音機構に関する筋電圖學的研究

京都府立医科大学耳鼻咽喉科教室 (主任 中村文雄教授)

医学士 山 脇 吉 次
ヤマ ヲキ ヨシ ツグ

第Ⅱ編 發聲補助機構に関する實驗的研究

發聲時の外喉頭筋々電圖

目 次

I) 緒 言

II) 實驗方法

III) 實驗成績

(1) 正常発声時の胸骨舌骨筋々電図

(2) 正常発声時の肩胛舌骨筋々電図

(3) 正常発声時の甲状舌骨筋々電図

(4) 正常発声時の胸骨甲状筋々電図

(5) 正常発声時の顎二腹筋々電図

IV) 総括並びに考按

V) 結 論

I) 緒 言

發聲・嚥下に際して喉頭は舉上して夫々の働きを助ける。發聲時の内喉頭各筋の作用は、第Ⅰ編で述べた如くであるが、その際、直接發聲に與る喉頭の運動と密接な関係をもつ外喉頭筋はどの様な態度をとつて喉頭の發聲機能を援助するか、E.M.G. の面より検討し發聲機構にも考察を加え様と本實驗を企圖した。

検査した外喉頭筋としては、

1) 胸骨舌骨筋 M. sternohyoideus

2) 肩胛舌骨筋 M. omohyoideus

3) 甲状舌骨筋 M. thyreohyoideus

4) 胸骨甲状筋 M. sternothyreoides

5) 顎二腹筋 M. biventer mandibulae

の5つを選んだ。

II) 實驗方法

先に行つた内喉頭筋の場合と同様に犬に軽度の全身麻酔をほどこし、脊位に固定して喉頭部を中心に