喉 頭 筋 電 図 法

中村 克彦・幸田 純治・武田 直也
増田 博範・小池 靖夫

Laryngeal Electromyography

Katsuhiko Nakamura, Junji Koda, Naoya Takeda,
Hironori Masuda and Yasuo Koike
(The University of Tokushima School of Medicine)

Electromyographic (EMG) studies of the laryngeal muscles were thought to be difficult because of the small size and deep location of these muscles. However, EMG methods to study the cricothyroid and the thyroarytenoid muscles had been established. The EMG techniques used to study these muscles were described in this paper.

EMG study of the posterior cricoarytenoid muscle (PCA) was limited, and different PCA recording techniques had been proposed. The approach to evaluate this muscle had been developed along three main lines: oral, percutaneous and nasal. Electrode placement techniques for study of the PCA were reviewed.

Key words: electromyography, cricothyroid muscle, thyroarytenoid muscle, posterior cricoarytenoid muscle

はじめに

筋電図は、筋の収縮時に発生する活動電位を誘導増幅したもので、筋およびその支配神経の活動性を知るために欠かせない検査手段の一つである。喉頭領域においても、声帯運動麻痺の診断や呼吸、発声などの喉頭機能の生理学的研究のために、内喉頭筋の筋電図は必要不可欠な検査方法である。しかしながら、内喉頭筋は、それぞれが小型で相互に近接し、なおかつ深部に存在するために、活動電位を導出することは簡単ではないと考えられがちで、いまだに広く用いられる方法とはなっていない。

内喉頭筋は、上喉頭神経に支配される輪状甲状筋(前筋)と反回神経に支配される甲状披裂筋(内筋)、外側輪状披裂筋(側筋)、披裂間筋(横筋)、後輪状披裂筋(後筋)よりなる。声帯運動障害の診断においては、上喉頭神経支配である前筋と反回神経支配である内筋の2筋の活動性を確認することで、その診断が可能である。前筋、内

筋に関しては、記録電極の経皮的なアプローチ法¹⁾²⁾が確立しており、決して困難な方法ではない。本論文の前半では、喉頭筋電図を行うための筋電計および周辺機器のセットアップと、前筋、内筋への電極設置法を解説する。

いっぽう、呼吸、発声など、喉頭の生理機能の研究においては、声門閉鎖筋とともに、唯一の声門開大筋である後筋の筋電図を検討することが不可欠である。しかしながら、後筋の筋電図法に関してはいまだに確立された方法がなく、その機能に関して、必ずしも意見の一致をみていない。したがって、後筋筋電図法は臨床応用ばかりでなく、基礎的な研究手段として今後ますます発展していく余地が残されている。本論文の後半には、現在までに試みられた後筋筋電図法を紹介し、それぞれの長所、問題点とともに筋電図法改良のための課題を解説する。

輪状甲状筋(前筋), 甲状披裂筋(内筋)筋電図法

使用機器

筋電計は通常の市販されている筋電計を用いる。筋電図検査で最も問題となるのは周囲のノイズであり、周囲の電氣的ノイズが遮断されたシールドルームで行うのが基本である。ほかにも、使用しない機器の電源はコンセントから抜いておく、蛍光灯は強い雑音を発するので消しておく、ワイヤ電極と筋電計の接続部位でノイズを拾いやすいので、ワイヤ電極のシールドがきちんとはがれているかを確認するなどの注意が必要である。

被検者の接地は、電気メスの対極板を用いるのが効果的である。被検者の背中に電極を貼り、筋電計のアース端子に接続する。ついで、被検者をベッド上に仰臥位とさせ、頸部を伸展し、甲状軟骨、輪状軟骨を触診にて確認する。前頸部を消毒した後、電極の刺入部位となる輪状甲状膜部の皮下にリドカインを用いて浸潤麻酔を行う。

電極の選択

使用する電極は、2芯同心針電極またはフックドワイヤ電極を使用目的に応じて選択する(図1)。2芯同心針電極は、先端の限局された部位から活動電位を導出することができるので、強い収縮においても針先より隔たった部位の活動電位は混入しにくく、一個の運動単位(NMU)を分離して波形を導出しやすいという長所がある。したがって、内喉頭筋のように小さく、他の筋が近接している条件においても他筋からの電位の混入がさけられる。2芯同心針電極は、NMUの検討に有効である。

フックドワイヤ電極は、絶縁した電極線の先を折り曲げ、2本の電極線を注射針(ガイド針)に通したものである。ガイド針とともに電極針を刺入し、電極線の先が筋内に達したら、注射針のみを抜き取ることにより、電極針のみが筋内に残るように工夫されている。2芯同心針電極と比較して導出範囲が広く、喉頭が動いても電極が抜けにくい、発声時、嚥下時に疼痛を伴わないなどの長所があり、発声時、嚥下時などの筋の働きを見るのに有効

である。

フックドワイヤ電極の作成

フックドワイヤ電極は市販されておらず、自作する必要がある。フックドワイヤ電極のガイドとなる注射針は、刺入時の抵抗が少ない径の細いものが良い。また、比較的深部に留置するため、3 cm 以上の長さの針が必要である。現在、単品として市販されている注射針では適当な径、長さのものが無い。著者らは、テルモ株式会社製の24ゲージのサフロウ留置針の27ゲージのガイド針を好んで用いている。電極ワイヤは、エナメルコーティングされた直径0.002インチのステンレスワイヤを用いており、長さは約60 cmとし、ワイヤの先端部のシールドをメスで丁寧に剥離し、2 mm 程度折り曲げる。もう一端は筋電計に接続するために、ライターの炎を用いてシールドをはがしておく。ガイド針に2本のワイヤを通し、ワイヤ電極の先端の折り曲げた部分がガイド針の先に引っかかるように装着させると完成である。自作した電極は、1本ずつ厚紙に巻き、ガス滅菌を行っておく。

フックドワイヤ電極を刺入する際の注意点は、うまく筋内に設置できなかった場合に、もう一度引いて方向を変えて刺入するのは、ワイヤが切断する可能性があるので危険なことである。その場合は、すべて抜去し、新しい電極を使用しなければならない。著者らは、フックドワイヤ電極を用いる前段階として、2芯同心針電極を用いて筋電位をサンプリングし、電極が筋内に設置されたときの電極針の刺入角度と深度を確認した後に、フックドワイヤ電極をあらためて設置するようにしている。

輪状甲状筋(前筋)電極設置法

前筋は喉頭の枠組みの外側に存在し、注意深い触診により、大部分の症例において触知可能である。前筋の触診方法は、まず最初に輪状軟骨を触診することからはじめる。輪状軟骨は頸部の正中で明らかな隆起として触知可能である。輪状軟骨の隆起を外側にたどることにより前筋が輪状軟骨に付着する部位が隆起として触診できるので、この隆起をランドマークとする。この隆起より内下方から、針先を隆起に向けて刺入すると、ほぼ確実に前筋に到達する。注意すべき点は電極の深度で、浅すぎると前頸筋、深すぎると側筋の電位をひろうことになる。筋電計のオシロスコープと、音によるモニターを行いながら操作を行う。電極針が筋膜を貫くときに抵抗があり、筋内に到達した瞬間に刺入電位が得られる。筋内に入った後、電極の先端を活動ユニットの近くへ設置するため

図1 喉頭筋電図に使用する電極

に、多少はモニターを頼りにその部位を探り求めなければならない。前筋内に電極が設置されていることの確認は、高音の発声時に筋電位が増加することで可能である。前頸筋群からの電位の混入は、頸部を前屈させると電位が増加するので鑑別が可能である(図2)。

甲状披裂筋(内筋)電極設置法

内筋は、喉頭枠組み内に存在するため、触診によりその位置を確かめることは不可能である。内筋に到達するには、電極針の刺入部位、刺入角度、刺入深度を十分に理解する必要がある。電極の刺入部位は、輪状甲状膜のレベルで正中より約3mm 検査側とする。針先を後方に進めると輪状甲状膜の抵抗を感じる。輪状甲状膜を越え

るとき、音モニターから刺入電位に似たノイズが混入することが多い。輪状甲状膜を越え、さらに外側後上方向に針先方向を変え進めると内筋の筋活動が得られる(図3)。発声、息ごらえ、嚥下で筋活動が増加することで針先が筋内に入ったことの確認を行う。刺入方向が外側になりすぎると側筋の電位が混入する可能性がある。内筋と側筋はともに反回神経支配なので、声帯運動障害の診断においては厳密に区別する必要はないが、側筋の場合、発声開始と終わりに筋活動の増加が認められるので、内筋との鑑別が可能である。参考のため側筋へのアプローチ方法を示す(図4)。

図2 輪状甲状筋(前筋)への電極刺入経路

図3 甲状披裂筋(内筋)への電極刺入経路

図 4 外側輪状披裂筋(側筋)への電極刺入経路

筋電図の記録

得られた筋電図信号は、100 Hz から 5000 Hz 程度の帯域幅を持つフィルターを通す。必要な箇所は記録紙に再生する。得られる信号は後の解析のために、音声信号、胸郭運動信号等とともに DAT データレコーダに記録しておくことが望ましい。

後輪状披裂筋(後筋)筋電図法

内喉頭筋のうち、唯一の声門開大筋である後輪状披裂筋(後筋)の筋電図に関してはいまだに確立された方法がない。これまでいろいろな後筋筋電図法が考案され、生理学的検討が行われてきたが、その成績に関しては必ずしも意見の一致をみない。

たとえば、母音発声時において、後筋の筋放電はないか、あったとしてもきわめて弱いという成績と³⁾⁴⁾、母音発声時にも後筋は活動しており、とくに高音発声時に輪状甲状筋とともに活動性を増し、声帯の緊張保持にかかわっているとする相反する意見がある⁵⁾⁶⁾。このような意見の対立がみられるのは、後筋の正確な筋電図の測定が困難であるためと考えられる。その理由として、後筋は解剖学的に小さく、輪状軟骨の後面にあるため、記録電極の設置が容易でないこと、隣接する横筋、側筋の筋電図が混入する可能性があることなどがあげられる。

後筋は輪状軟骨の後面よりおこり、披裂軟骨の筋突起に停止している(図5)。後筋の収縮により、披裂軟骨が外転し、声帯の開大が起こることが知られている。後筋

図 5 後輪状披裂筋(後筋)の解剖

甲状軟骨の右軟骨板の一部を除去し、右後方より後筋を観察する。後筋は甲状軟骨の後面よりおこり、披裂軟骨の筋突起に停止している。

筋電図の要点は、いかに正確に記録電極を後筋内に挿入するかである。記録電極の挿入方法として、経口的アプローチ、経皮的アプローチ、経鼻的アプローチの3つの経路がある(図6)。ほかに、動物実験では手術的に後筋を明視下におき電極を設置する方法も報告されているが、ヒトにおいては、きわめて特殊な状況下でしか行われることがなく喉頭生理の研究には非現実的であると考えられる。

1) 経口的アプローチ

初期の後筋筋電図の記録方法として、Faaborg-Ander-

図6 後輪状披裂筋への到達経路

1: 経鼻的アプローチ, 2: 経口的アプローチ, 3: 経皮的アプローチ

sen⁷⁾の報告がある。Faaborg-Andersenは経口的アプローチを用いて初めてヒト喉頭の詳細な筋電図学的検討を行い、後筋においては呼気時に筋活動が増加すると報告した。この成績は現在の知見とは逆の成績であり、後筋に関する測定手技に関しては信頼性に乏しいと考えられる。

沢島ら³⁾は弯曲した金属管の先端に皮下用注射針を固定し、その中に25 μ のエナメル線を封入した同心形電極針を作成し、間接喉頭鏡下に挿入する方法を報告した。その結果、後筋は吸気相に筋活動を増すと報告した。また、針先が正しく筋に入っているかどうかの指標としては、発声後の吸気に一致して、著しい動作電流がおこり、発声時に消失することとした。測定時の問題点としてこの時点ですでに、隣接する声門閉鎖筋(横筋、側筋)の筋電図が混入する症例のあることを指摘している。この方法は、初期に行われた後筋筋電図法として画期的な方法ではあったが、経口的に金属管が設置されているために、自然な状態での発声や、構音が大きく制限されること、被検者の疼痛など、種々の制約があった。

Shippら⁸⁾、Kotbyら⁵⁾は、NLA等の麻酔を行い、直達鏡を用いて喉頭展開を行い、披裂後部を直視下におき、

ワニ口型鉗子で把持した針電極もしくはフックドワイア電極を輪状軟骨板の後面に存在する後筋の筋腹に刺入する方法を報告した。この方法によると、後筋内への電極の刺入精度は高いと考えられるが、電極を刺入した後に、その針先の位置を変えることなく直達鏡を抜去することはきわめて困難と考えられる。そのためShippら⁸⁾は、直達鏡を挿入したままで検査を行っているが、自然な状態での呼吸、発声が著しく障害され、また、被検者の負担は相当なものと考えられる。

Hiroseら⁹⁾は間接喉頭鏡下に特殊鉗子を用いてフックドワイア電極を設置する方法を報告している。Thumfurt¹⁰⁾は硬性内視鏡下にフックドワイア電極や2芯同心針電極を設置する方法を報告している。直達鏡を用いた刺入法に比べるとその刺入精度はやや劣ると考えられるが、被検者の苦痛は、はるかに軽いものと考えられる。口腔内にコードが存在し発声の妨げになるという欠点はあるが、有効な誘導法の一つと考えられる。

Payne¹¹⁾、Brancatisanoら¹²⁾、Rea¹³⁾は、下咽頭の輪状後部粘膜上に表面電極を設置する方法を報告している。電極の形状はさまざまであるが、基本的には左右の後筋上にそれぞれ1個の表面電極が設置される。手技は比較的簡単で侵襲が少なく、技術的な問題は少ないと考えられるが、報告での測定は安静呼吸や、全身麻酔下の反回神経の術中モニターに限られており、発声時、嚥下時など喉頭と電極のずれを生じるような状況下の検査には向かないと考えられる。

2) 経皮的アプローチ

廣戸ら¹⁾は、後筋の前面は大部分が輪状軟骨板の後面に面しているが、輪状軟骨上縁を通過したあと、披裂軟骨筋突起に至るまでの部分ではその前面に軟骨はなく、側筋が走っているとした。針電極を用いてこの部位を標的として、経皮的に輪状甲状膜を正中より少し外側で貫き、側筋を貫き後筋に至る方法を報告した。Hiranoら²⁾は、同様の経路でフックドワイア電極を後筋に設置する方法を紹介した。また、輪状軟骨と甲状軟骨のスペースが狭い症例には弯曲針が有効であると報告した。これらの方法では、後筋に到達するにはかなりの熟練が必要であるだけでなく、後筋が麻痺している場合に針先の位置が筋内に存在するかどうかの同定が困難である。

Muら¹⁴⁾は、別の経皮的アプローチ法を報告した。まず、2芯同心針電極を用いて輪状甲状膜を正中で貫き声門下腔に入る。その後、左右どちらかに針先を振り、針

先を進める。輪状軟骨板に針先が当たってさらに3~4 mm 進め輪状軟骨板を貫くと急に抵抗がなくなり、その場所が後筋であるとした。合計3200回の検査(前筋、内筋の検査を含む)を行い、血腫、感染等の合併症はなかったと報告している。この方法の長所として手技が簡単、正確な挿入が可能、検査中に電極がずれないことがあげられている。検査で用いられる2芯同心針電極は記録フィールドが狭いので、周囲の筋からの電位の混入が少なくと考えられるが、血腫、感染のほか、嚥下、咳反射などで、喉頭を損傷する可能性もあり、その適応の決定は慎重であるべきであると思われる。

そのほか、経皮的アプローチ法で、外転型の痙攣性発声障害患者に対する治療として、ボツリヌス毒素を後筋内に注射するときに用いられる方法がある。右の後筋に到達するには、用手的に喉頭を左に捻転させ、甲状軟骨板の右後縁を触診で確認し、右頸部外側皮膚より甲状軟骨板後端をかすめ輪状軟骨板の後面に向かい注射針を刺入する方法である。注射針は針先以外が絶縁コーティングされた特殊なもので、筋電図でモニターしながら、深吸気時に筋活動が亢進することで針先の位置が後筋内にあることを確認したのち、ボツリヌス毒素を注入する。この方法によると、比較的簡単に後筋に到達できるが、喉頭を捻転させる必要があるため、自然な状態での、呼吸、発声の生理学的検討には向かないと考えられる。

3) 経鼻的アプローチ

宇高ら¹⁵⁾は、喉頭ファイバースコープの鉗子チャンネルを通すことが可能な特殊な針型表面電極を作成し、ファイバースコープの可視下に電極を後筋上へ圧着する方法を報告した。経鼻的に挿入するため発声や構音を妨げないこと、侵襲も少なく可視下に行うため、筋の同定が容易などの長所がある。しかし、電極の安定性が低いので、長時間同一位置に電極を固定することが困難であることや、声帯移動時には、電極の接触抵抗の変化による基線の動揺が出現することなどの問題点がある。

Kosch ら¹⁶⁾、Fujita ら¹⁷⁾、Isozaki ら¹⁸⁾はカテーテル型表面筋電図法を報告した。これらは金属の表面電極を巻いたネラトン型カテーテルを経鼻的に下咽頭に挿入し、その前面に存在する後筋の表面筋電図を測定する方法である。侵襲もほとんどなく、非常に簡便な方法である。しかし、横筋などの筋電図や音声波の混入がおこる可能性が高く、得られた成績の解釈には慎重さが要求される。

Kuna ら¹⁹⁾は、経鼻的にフックドワイヤ電極を挿入す

る方法を報告した。喉頭ファイバースコープの鉗子チャンネルを通すことが可能な食道静脈瘤の硬化療法用の長い注射針にフックドワイヤ電極を装着し、ファイバースコープを経鼻的に挿入し、鉗子チャンネルを通してフックドワイヤ電極を注射針と共に可視下に披裂後部の後筋に上方から挿入する。その後、注射針をファイバースコープと共にゆっくり引き抜くと、ワイヤ電極の先端が後筋に残ったままとなる。本法の長所として、発声、構音を妨げないこと、電極による喉頭運動の制限がほとんどないことがあげられる。筆者らはこの方法が最も理想に近いと考え、追試し、後筋内に挿入できたときには非常にきれいな筋電図が得られることを確認した。欠点として、嚥下時や、咳反射時に電極がはずれることがあった。また、横筋の電位の混入する症例もあり、いかに正確に後筋内に挿入するかといった技術的な熟練が必要であると考えられる。

後筋筋電図法の問題点

以上、現在まで行われてきた後筋筋電図法について解説した。現時点での後筋筋電図における最大の問題点は、後筋に隣接する横筋、側筋など声門閉鎖筋の筋電図の混入の可能性があることである。したがって、発声時に後筋が収縮している成績が得られた場合には、実際に後筋が収縮しているのか、声門閉鎖筋の筋電図が混入しているのかの判定が困難となる。この問題を解決するためには、いかなる精度で電極を挿入できるかの技術的な改善とともに、できるだけ記録フィールドの狭い電極を使用する必要がある。後筋の生理学的検討に用いられてきた電極は、主として表面電極、2芯同心針電極、フックドワイヤ電極の3種類である。そのうち、記録フィールドの最も狭い電極は、2芯同心針電極であり、フックドワイヤ電極、表面電極の順に続く。しかし、喉頭の自由な運動を妨げないという理由ではフックドワイヤ電極がもっともすぐれており、どの一つをとっても万能な電極は存在しない。

Sanders ら²⁰⁾は、イヌ後筋の解剖学的検討を行い、後筋は垂直部、斜部、水平部の3つの筋腹からなり、前2者は声門開大作用を持ち、後者は発声時に収縮し、声帯突起の位置の微調整に関与していると報告した。また、ヒト後筋も複数の筋腹からなり、それぞれに機能分化が存在するのではないかという仮説を立てている。この仮説の真偽を電気生理学的に証明するためには、狭い記録フィールドの電極を後筋の任意の部位に刺入することが必

要であり、今後さらなる高度な技術の開発が必要となる。

参考文献

- 1) 廣戸幾一郎, 平野 実, 豊住頼一, 他: 内喉頭筋電図の新しい誘導法—内喉頭筋に対する経皮的電極針挿入法—. 耳鼻臨床 55 : 499~504, 1962.
- 2) Hirano M and Ohala J : Use of hooked-wire electrodes for electromyography of the intrinsic laryngeal muscles. J Speech Hear Res 12 : 362~373, 1969.
- 3) 沢島政行, 佐藤正夫, 船坂宗太郎, 他: 喉頭筋の筋電図及びその臨床応用(反回神経麻痺を中心として). 日耳鼻 61 : 1357~1364, 1958.
- 4) 進 武幹: 内喉頭筋の作動様式に関する筋電図学的研究. 耳鼻臨床 55 : 472~492, 1962.
- 5) Kotby MN and Haugen LK : Critical evaluation of the action of the posterior cricoarytenoid muscle, utilizing direct EMG study. Acta Otolaryngol 70 : 260~268, 1970.
- 6) Gay T, Hirose H, Strome M, et al : Electromyography of the intrinsic laryngeal muscles during phonation. Ann Otol Rhinol Laryngol 81 : 401~409, 1972.
- 7) Faaborg-Andersen K : Electromyographic investigation of intrinsic laryngeal muscles in humans. Acta Physiol Scand 41 : 140 : 1~149, 1957.
- 8) Shipp T, Fishman BV, Morrissey P, et al : Method and control of laryngeal EMG electrode placement in man. J Acoust Soc Am 48 : 429~430, 1970.
- 9) Hirose H, Gay T and Strome M : Electrode insertion techniques for laryngeal electromyography. J Acoust Soc Am 50 : 1449~1450, 1971.
- 10) Thumfart WF : Electromyography of the larynx and related technics. Acta Otorhinolaryngol Belg 40 : 358~376, 1986.
- 11) Payne JK : A surface electrode for laryngeal electromyography. J of Neurology Neurosurgery and Psychiatry 43 : 853~854, 1980.
- 12) Brancatisano TP, Dodd DS and Engel LA : Respiratory activity of posterior cricoarytenoid muscle and vocal cords in humans. J Appl Physiol 57 : 1143~1149, 1984.
- 13) Rea JL : Postcricoid surface laryngeal electrode. Ear Nose Throat J 71 : 267~269, 1992.
- 14) Mu LC and Yang SL : A new method of needle-electrode placement in the posterior cricoarytenoid muscle for electromyography. Laryngoscope 100 : 1127~1131, 1990.
- 15) 宇高二良, 武市佳代子, 石田達也, 他: フェイバースコープを用いた喉頭筋電図誘導法. 耳鼻臨床 78 : 1949~1955, 1985.
- 16) Kosch PC, Hutchinson AA, Wozniak JA, et al : Posterior cricoarytenoid and diaphragm activities during tidal breathing in neonates. J Appl Physiol 64 : 1968~1978, 1988.
- 17) Fujita M, Ludlow CL, Woodson GE, et al : A new surface electrode for recording from the posterior cricoarytenoid muscle. Laryngoscope 99 : 316~320, 1989.
- 18) Isozaki E, Osanai R, Horiguchi S, et al : Laryngeal electromyography with separated surface electrodes in patients with multiple system atrophy presenting with vocal cord paralysis. J Neurol 241 : 551~556, 1994.
- 19) Kuna ST, Day RA, Insalaco G, et al : Posterior cricoarytenoid activity in normal adults during in voluntary and voluntary hyperventilation. J Appl Physiol 70 : 1377~1385, 1991.
- 20) Sanders I, Rao F and Biller HF : Arytenoid motion evoked by regional electrical stimulation of the canine posterior cricoarytenoid muscle. Laryngoscope 104 : 456~462, 1994.

(別刷請求先: 中村克彦
〒770-8503 徳島市蔵本町3丁目18-5
徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室)