

原 著

ヒト下顎舌反射の神経機構

五十嵐 一 吉

東京医科歯科大学歯学部歯科矯正学第 2 講座 (指導: 黒田敬之教授)

(1995 年 12 月 8 日 受付)

Neurophysiological Mechanism of Jaw-Tongue Reflex in Man

Kazuyoshi Igarashi

The 2nd Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Chief: Prof. Takayuki Kuroda)

The present study was carried out to examine if the jaw-tongue reflex (JTR) could be elicited in man and if afferent fibers from the jaw-closing muscles were involved in this reflex.

Electromyographic (EMG) activities were simultaneously recorded from the genioglossus (GG), the tongue retruding (TR) muscles, and the anterior temporal (TA), the posterior temporal (TP), the masseteric (Mass) and the digastric (Dig) muscles under various conditions.

The results were as follows:

1. EMG activities of the GG and the TR muscles were increased during clenching, voluntary and passive jaw-opening, and chin-tapping.
2. Electrical stimulation of the deep temporal and masseteric nerves evoked H-reflex in the TA and the Mass muscles. EMG activities in the GG and the TR muscles were detected as the intensity of the electrical stimulation were increased.
3. The tonic vibration reflex (TVR) was induced in the jaw-closing muscles by applying vibratory stimulation to the bellies of the TA and the Mass muscles. EMG activities of the GG and the TR muscles were increased as the TA muscle activity was increased.

It is concluded that the JTR is elicited in man and suggested that low threshold afferent fibers from the jaw-closing muscles, mainly the temporal muscle, were involved in eliciting the JTR in man.

緒 言

従来、舌の大きさ、位置あるいは機能時の運動パタンの異常が、不正咬合の成因の一つに考えられ、矯正治療後の咬合の安定にも影響を及ぼすことが報告されている¹⁻⁸⁾。

舌は咀嚼、発音、嚥下、呼吸などの機能時にあって下顎と協調した運動を行っているが、これら

の下顎と舌の協調は、大脳皮質咀嚼野の電気刺激により、リズムカルな顎運動とともにこれと同期した舌運動が生じる事実から、中枢性のプログラムによって制御されていると考えられている⁹⁻¹¹⁾。さらに、このような下顎と舌の協調運動は、末梢のさまざまな感覚受容器からの情報により巧みな調節を受けているとも考えられている^{12,13)}。なかでも咀嚼筋中の固有受容器は、下顎の

位置あるいは顎運動についての情報を中枢へ送るが^{14,15)}、これらの入力に舌筋の活動性の反射性制御にも関与していることが明らかにされてきた¹⁶⁻¹⁸⁾。

このような顎位と舌位との関係については、下顎舌反射すなわち、下顎を他動的に押し下げると、外舌筋であるオトガイ舌筋と茎突舌筋に開口中持続する筋電図活動が誘発される反射が知られている¹⁹⁾。ネコを用いた実験から、Morimoto ら²⁰⁾は、この下顎舌反射は側頭筋の求心性入力により誘発されることを明らかにし、また石渡は、側頭筋の入力のなかでも筋紡錘2次終末由来のII群線維がこの反射の誘発に関与することを示唆している²¹⁾。しかしながら、ヒトにおいては、開口量が大きくなるに従って内舌筋^{22,23)}および外舌筋²³⁾に筋活動の増大がみられるという報告があるものの、その発現機構についての研究はこれまでみられず、顎位と舌位の協調の仕組みはほとんど明らかにされていない。

本研究の目的は、ヒトの顎位と舌位の協調に関する生理学的機構を明らかにする端緒として、1) ネコと同様に、ヒトにおいても下顎舌反射が存在

するのか否か、2) いかなる入力がこの反射の誘発に関与するのか、の2点について検索することである。

研究方法

1. 被験者

舌および顎機能に異常の認められない年齢24~33歳の16名の成人男子を被験者とした。被験者にはあらかじめ実験目的およびその手技に関して十分な説明を行い、同意を得たうえで実験を行った。被験者をヘッドレストの付いた実験椅子に座らせ、Frankfort 平面がほぼ水平になるようヘッドレストにて頭部を位置づけた後、実験を行った。

2. 記録電極

本実験においては外舌筋のうち、舌突出筋であるオトガイ舌筋 (Genioglossus muscle, GG) および舌後退筋 (茎突舌筋および舌骨舌筋, tongue retruding muscles, TR) の筋活動を記録した。GG および TR の筋活動を導出するため自作した電極を図1Aに示す。銅板を直径2mmに打ち抜き、これに直径100 μ m のビニールコーティング

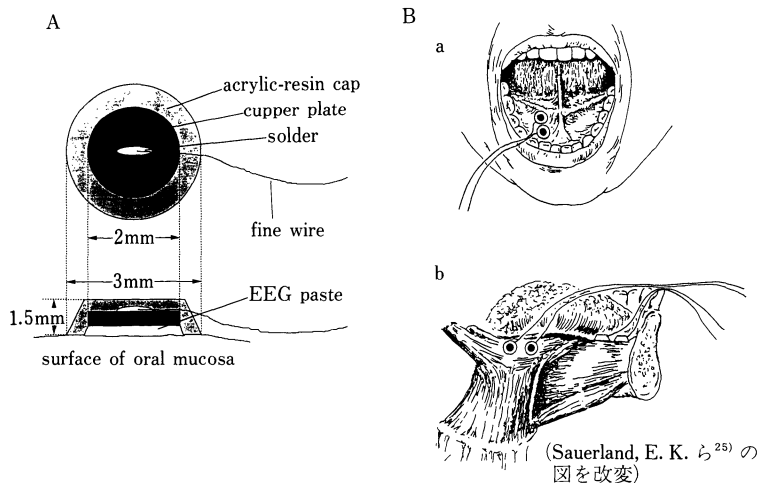


図1 外舌筋活動の記録に用いた電極およびその貼付部位

A: 電極の構造, B: 電極の位置

a. オトガイ舌筋 (GG) の筋活動記録のための電極の位置

b. 舌後退筋 (TR) の筋活動記録のための電極の位置

されたステンレス線 (MT 技研製) をハンダ付けし、背面に絶縁塗料を塗布した後、歯科用レジンにてキャップ部を作製した。これを口腔底に装着する際は、銅板部に心電用ペースト (日本光電工業製: カルディオクリーム) を充填し、装着する部位をガーゼおよび歯科用シリンジからのエアにて防湿しながら、ゼリー状シアノアクリレートを用いて固定した。

3. 外舌筋筋活動の記録部位および記録方法

本実験では、外舌筋のうち右側の GG と TR から筋活動の記録を行った。舌後退筋には茎突舌筋と舌骨舌筋とがあるが、両筋は協同筋であり、かつ両筋の筋活動を分離して記録することは解剖学的に非常に困難であると考えられるため²⁵⁾、本実験においては両者を区別せず、舌後退筋として扱った。Sauerland らの刺入電極の位置²⁵⁾および Doble らの方法²⁶⁾を参考に、上記の電極を図 1 B に示す位置にゼリー状シアノアクリレートを用いてそれぞれ固定し、電極間距離 4 mm で双極導出を行った。両筋の筋活動は、生体アンプ (日本光電工業製: RM 600 AG, 621 G) に誘導し、データレコーダ (TEAC 製: R-260) により、磁気テープ (TEAC 製: DT-400) に記録した。また、表面電極を用いて、同側の側頭筋前腹 (TA) および後腹 (TP)、咬筋 (Mass)、顎二腹筋前腹 (Dig) から筋活動を双極導出し、同時記録した。

4. 実験の条件

本実験で被験者に指示した運動および与えた刺激は以下のとおりである。

1) 噛みしめ

被験者に、中心咬合位にて軽く上下歯を合わせた状態から約 3 秒間、最大噛みしめを行わせた。噛みしめにより各閉口筋筋活動が上昇するが、これに伴う GG および TR の筋活動の変化を記録した。

2) 随意性開口

被験者に、中心咬合位にて軽く上下歯を合わせた状態からランプ状の開閉口を行わせた。この時被験者には、あらかじめ装着しておいた MKG (Myotronics 製: K-5) を用いて、モニターブラ

ウン管上にフィードバックした開口量を注視させ、切歯間距離での開口量が 1, 2, 3 cm の 3 段階となるよう指示した。

3) 術者による他動的な下顎の押し下げ

術者が、安静位にある被験者の下顎小白歯部を力点として、下顎を一過性に押し下げた。この押し下げに伴い閉口筋に誘発される下顎張反射と、この時の GG および TR の筋活動を記録した。次に、下顎をより大きく押し下げ、下顎張反射および GG, TR の筋活動の変化を検討した。さらに、術者が被験者の下顎下縁を下から支え、下顎が下制されない状態にしておいて、同様な下顎の押し下げを行った。

4) reflex hammer を用いたオトガイ部のタッピング

下顎の押し下げと同様に、下顎張反射を誘発することが知られているオトガイ部のタッピングを行い、閉口筋の下顎張反射と GG および TR の筋活動の応答パターンを比較した。タッピングには reflex hammer を用いた。この reflex hammer は、先端部に接触センサーを内蔵しており、hammer がオトガイに接触すると同時にパルス信号が発生する仕組みになっている。被験者には下顎安静位をとらせ、構え (motor set) による影響を考慮して、閉眼させて実験を行った。

5) 電気刺激

閉口筋を支配する神経を電気刺激して、この時の GG, TR の応答を検索した。刺激用電極としては、関電極として直径 3 mm の皿電極を下顎切痕相当部の皮膚上に貼付し、陰極刺激を行った。また直径約 15 mm の銅板を関電極の近くに貼付して、これを不関電極として用いた。刺激は電気刺激装置 (日本光電工業製: SEN 3100 型) により発生させた持続時間 0.5 ms, 刺激強度 50 V 以下の矩形波を用い、アイソレータ (日本光電工業製: SS 104-J) を介して刺激頻度 1/3 Hz にて与えた。

6) 振動刺激

振動刺激装置を用いて、振幅 0.5 mm, 周波数 100 Hz および 166 Hz の 2 通りのサイン波状振動を発生させ、刺激用プローブを介して、これを

オートガイ部, 側頭筋前腹中央部, 咬筋中央部にそれぞれ 30 秒間与えた。実験開始前に, 被験者に振動に対して慣れる時間を十分に与えた。なお, 被験者には刺激開始前から終了後まで, 下顎安静位をとるように指示した。

7) データ解析

4) および 5) の実験において, 発生したトリガーパルスは, 誘発された GG および TR の筋活動と同時に生体アンプ (日本光電社製) にて増幅し, データレコーダー (TEAC 製) により磁気テープに記録した。実験中はこの出力をオシロスコープによってモニターし, 実験終了後, シグナルプロセッサ (日本電気三栄製, 7 T 18) を用いて, トリガーパルスをトリガーとして加算平均等のデータ処理を行った。

結 果

1. 噛みしめにより GG および TR に生じた筋活動

閉口筋筋活動の上昇に伴い, GG および TR にいかなる筋活動が誘発されるかを検索するために, 被験者に随意性の最大噛みしめを行わせた。なお, 被験者には上下の歯牙が軽く接触した状態から噛みしめるように指示し, 可及的に閉口筋が

等尺性収縮となるようにした。図 2 はその 1 例である。

噛みしめの開始と同時に, GG および TR に筋活動の増大が認められ, 噛みしめの終了と同時に筋活動の増大も終了した。

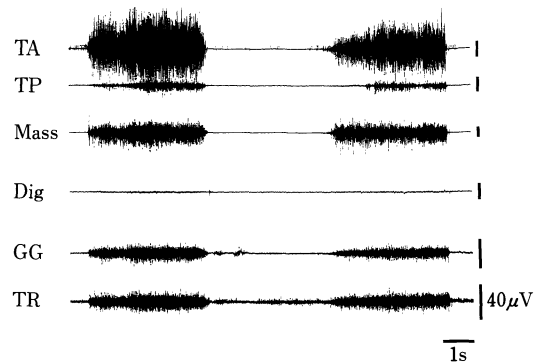


図 2 被験者に最大噛みしめを行わせたときの筋活動。各閉口筋筋活動の増大と同時に GG および TR の筋活動も増大し, 閉口筋筋活動の終了とともに GG および TR の筋活動も終了している
 <略語> TA: 側頭筋前腹, TP: 側頭筋後腹, Mass: 咬筋, Dig: 顎二腹筋前腹, GG: オートガイ舌筋, TR: 舌後退筋

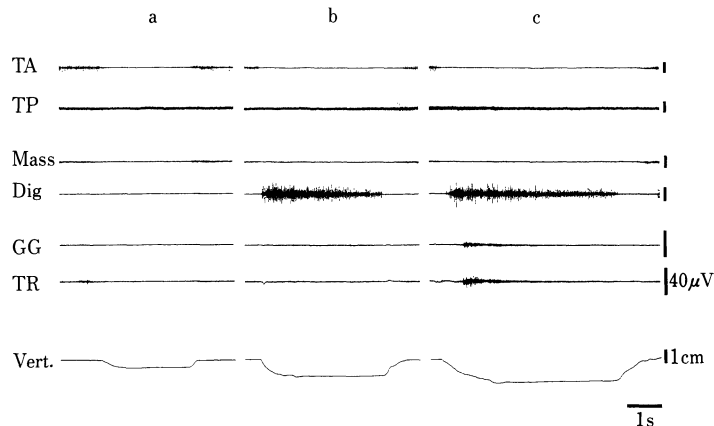


図 3 被験者に随意性に異なる量の開口を行わせたときの筋活動の記録。a, b, c はそれぞれ 1, 2 cm および 3 cm の開口を行わせている
 <略語> Vert.: MKG にて記録された開口量。下向きが開口方向を表す

2. 随意性の開口により GG および TR に誘発される筋活動

被験者に随意性の開口を指示し、開口量と GG および TR の筋活動の変化について検索を行った。この時被験者には、MKG によりモニターされた開口量（切歯間距離）をフィードバックさせ、1, 2, 3 cm の 3 通りの開口量となるように指示した。図 3 はその 1 例である。

開口量が 1 cm および 2 cm の時は GG あるいは TR には筋活動の増大はほとんど認められないが、開口量が 3 cm になると GG および TR の筋活動が上昇した。ただし、その筋活動の増大は、開口中の開口量に変化している間のみ一過性にみられ、開口量が一定になると筋活動量は徐々に減少した。

3. 術者による他動的な開口により GG および TR に誘発される筋活動

術者が被験者の下顎小白歯部を力点として、下顎を他動的に強く押し下げることにより、閉口筋に下顎張反射を誘発し、この時 GG および TR に記録される筋活動について検索を行った。被験者には閉眼させ、下顎を安静状態に保つように、また下顎の押し下げに対し可及的に抵抗しないように指示した。図 4 A はその 1 例である。下顎の押し下げに伴い側頭筋前腹および咬筋に下顎張反射

が誘発され、これとほぼ同じタイミングで GG および TR にも筋活動の増大が認められた。図 4 B に示すように、下顎を押し下げる量を大きくすると側頭筋前腹と咬筋に誘発される下顎張反射の振幅は大きくなり、さらに側頭筋後腹にも下顎張反射が誘発された。この時 GG および TR に記録された筋活動の振幅は、押し下げの量が小さいときに比べ増大した。

以上の GG および TR の筋活動の増大は、歯牙を介して歯根膜の圧受容器が興奮し、これにより誘発された可能性がある。そこで上記の手技に加え、術者が被験者の下顎下縁を下から支えることにより、下顎が下制されない状態で、歯牙への加圧のみを行った時の記録が図 5 である。下顎張反射は誘発されず、加圧に伴う GG および TR の筋活動の増大は認められなかった。

4. reflex hammer を用いたオトガイ部のタッピングに対する GG および TR の応答

オトガイ部のタッピングにより生じる下顎張反射²⁷⁻²⁹⁾と、GG および TR に誘発される筋活動の関係について検索する目的で、先端部に接触センサーを内蔵した reflex hammer を用いてオトガイ部のタッピングを行った。この時被験者には、下顎を安静状態に保つよう指示した。その結果の 1 例が図 6 である。図の左の列は、reflex hammer

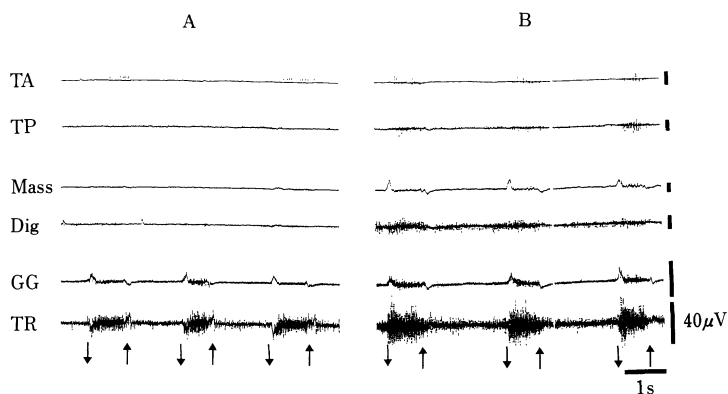


図 4 下顎を他動的に押し下げたときの筋活動の記録

A: 押し下げ量が小さい場合, B: 押し下げ量が多い場合

トレース最下段の矢印は、下向きが下顎の押し下げの開始時点を、上向きが押し下げの終了時点をそれぞれ表す

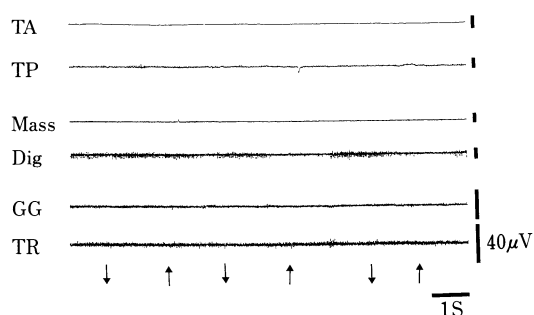


図5 図4と同じ手技に加え、下顎を下から支え、下顎が押し下げられない状態での筋活動の記録。閉口筋およびGG, TRに筋活動の増大は認められない。矢印は、図5と同じ

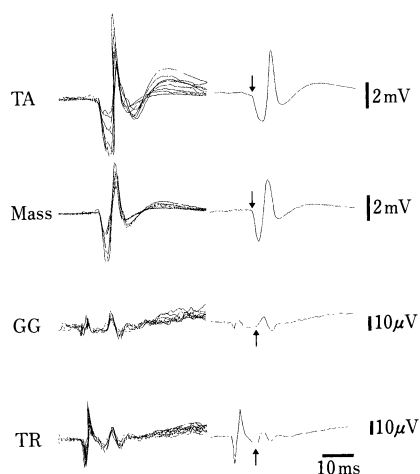


図6 reflex hammerを用いてオトガイ部のタッピングを行ったときに閉口筋に誘発された下顎張反射と、GGおよびTRに記録された応答。点線：トリガーパルスのタイミング。矢印は、それぞれの応答の開始時点を示している。GGおよびTRに記録された応答の開始は、下顎張反射の開始より約1ms遅れている

内の接触センサーにより発生したトリガー・パルスを基準として、各筋の筋活動記録を10回重ね合わせたものを、右の列は同じ記録を加算平均したものを示す。

側頭筋前腹、咬筋にはともに潜時約7msで下顎張反射が誘発された。またGG, TRにはともに

潜時約8msで応答が記録された。

5. 深側頭神経および咬筋神経の電気刺激に対するGGおよびTRの応答

閉口筋中のいかなる受容器がこの電位の誘発に関与するのかについて検索する目的で、閉口筋を支配する神経を電気刺激して、それに対するGG, TRの応答を検索した。

まず、深側頭筋神経あるいは咬筋神経をそれぞれ選択的に電気刺激し、側頭筋あるいは咬筋にH波を誘発させることが可能かどうかの検討を行った。刺激部位を変えても、側頭筋あるいは咬筋に選択的にH波が誘発されることはなく、常に側頭筋と咬筋にともにH波が誘発された。そこで電気刺激は、H波の閾値の最も低かった下顎切痕相当部の皮膚上から表面電極を用いて経皮的に行い、深側頭筋神経および咬筋神経をともに刺激することとした。

図7に、電気刺激により閉口筋に生じた誘発電位の1例を示す。図7のaは下顎を安静にした状態で電気刺激を行ったときの記録である。側頭筋前腹、後腹および咬筋には、潜時約1.5msでM波が生じているが、小川³⁰⁾、Fujiiら³¹⁾の過去の報告と同様に、H波が誘発されることはなかった。図7のbは中等度の噛みしめ時に電気刺激を行ったときの記録である。安静時に記録されたM波に加え、側頭筋前腹および咬筋には図中の矢印で示す様にH波が誘発されている。その閾値は、側頭筋前腹および咬筋ではほとんど同じで、すべての例においてその差は±1V以内であった。この側頭筋および咬筋にH波が誘発される刺激強度の閾値をTとし、刺激の強度はTの倍数で表すこととした。

この噛みしめ時にGGおよびTRに記録された筋活動をそれぞれ図8, 9に示す。図8, 9ともに左の列は電気刺激と同時に発生するトリガー・パルスを基準にして10回の記録を重ね合わせたもの、右の列は同じ10回の記録を加算平均したものである。図8においては、Tの1.3倍の刺激強度で反射性の電位が誘発されはじめ、刺激強度がTの2.0倍に増大するまでその振幅も緩や

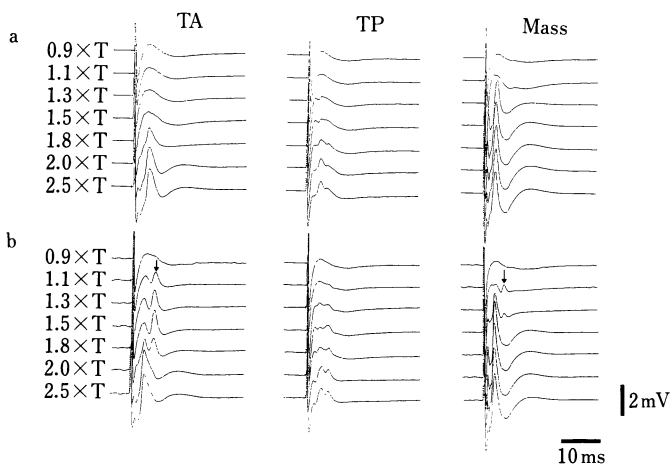


図7 下顎切痕部の電気刺激により、閉口筋に誘発された H 波および M 波
a: 下顎を安静にした時。b: 噛みしめ時。点線: トリガーパルスのタイミング
矢印は、TA および Mass に誘発された H 波を示している。刺激の強度は、この H 波の閾値を T とし、その倍数で表している

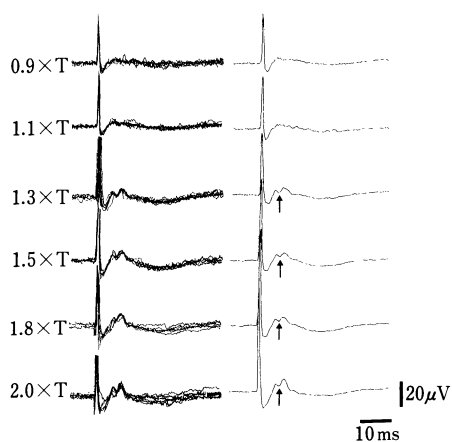


図8 噛みしめ時、下顎切痕部の電気刺激により GG に誘発された応答
T の 1.3 倍の強度で応答が誘発されはじめ、刺激強度の増大に伴い、この応答の振幅が増大している。矢印は、応答の開始時点を示す

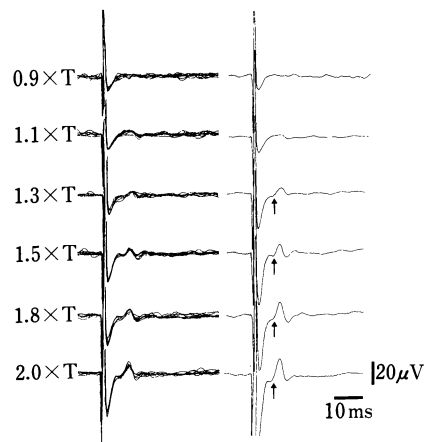


図9 噛みしめ時、下顎切痕部の電気刺激により TR に記録された応答
GG と同様に、T の 1.3 倍の強度で応答が誘発されはじめ、刺激強度の増大とともにこの応答の振幅も増大している。矢印は、応答の開始時点を示す

かに増大している。なお、この電位の潜時は、7.2 ms であった。図 9 においても、T の 1.3 倍の刺激強度で反射性の電位が誘発されはじめ、刺激強度

の増大に伴いその振幅も増大し、2 相性が明瞭になる傾向を示した。図 10 は、噛みしめ時における刺激強度の変化に対する TA, GG および TR に

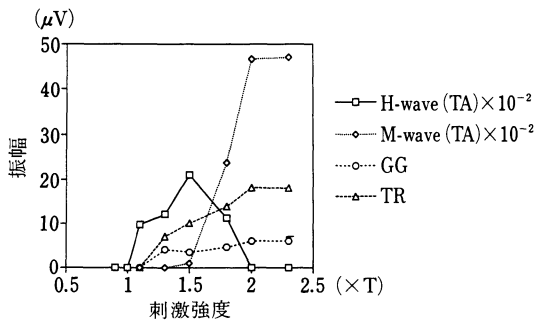


図10 下顎切痕部の電気刺激により誘発されたTAのH波およびGG, TRに生じた応答の振幅の刺激強度に対する変化の比較 GGおよびTRに誘発された応答は、閾値という点でM波と異なり、変化のパターンという点でH波とそれぞれ異なる

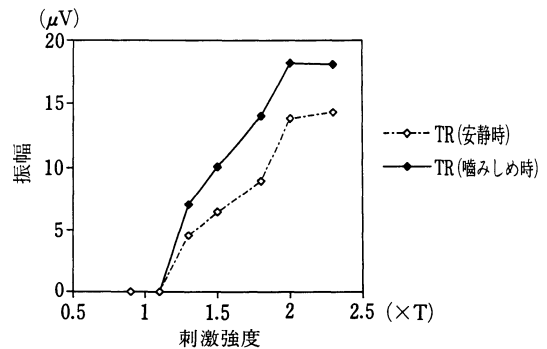


図12 安静時および噛みしめ時, TRに誘発された応答の振幅の比較
各刺激強度において, 噛みしめによる促進が認められる

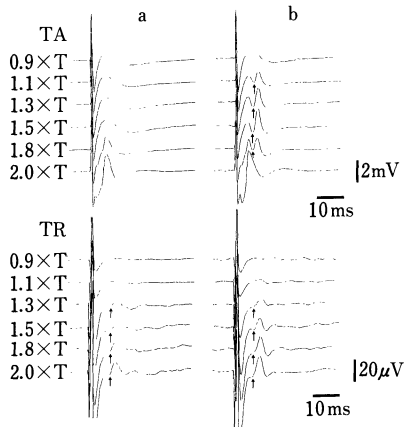


図11 下顎安静時および噛みしめ時, 下顎切痕部の電気刺激によりTAおよびTRに誘発された応答の比較
a: 下顎安静時. b: 噛みしめ時
TAには安静時にM波のみが誘発され, 噛みしめ時にのみH波が誘発されている. TRには安静時にも応答が記録されている. 矢印は各応答の開始時点を示す

記録された応答の振幅の変化をプロットしたグラフである。GGおよびTRの応答の振幅は、1) 刺激強度の上昇に伴い、単調に増大するという点で、TAのH波の振幅の変化パターンとは異なり、2)

閾値がより低いという点で、TAのM波とは異なる変化を示していることがわかる。

図11は、電気刺激により、安静時および噛みしめ時にTRに誘発された応答の記録である。このように、電気刺激により、TRには安静時にも反射性応答が記録されたが、この点は閉口筋H波とは大きく異なる。図11の安静時および噛みしめ時におけるTRの応答の振幅の変化を比較したのが図12である。TRの応答の振幅は、各刺激強度において噛みしめによって約1.3~1.6倍の促進を受けており、また刺激強度が2.0×T以上では振幅の増大がほとんどみられなくなっている。なお、GGにも安静時においてTRと同様な応答が記録された。

6. 振動刺激に対する応答

振動刺激に対しては、筋紡錘あるいはゴルジ腱器官といった筋中の感覚受容器が興奮し^{32~34)}、これによって筋活動が上昇することが知られており、tonic vibration reflex (TVR) と呼ばれている^{35~37)}。このうち、高頻度の刺激に対しては主に筋紡錘1次終末が興奮することにより筋活動が増大するとされていることから、GGおよびTRに誘発された反射性応答に関与する受容器を同定するため、振動刺激に対する応答性を検討した。つまり、1) オトガイ正中部に100 Hzおよび166 Hzの2つの振動刺激を与えたとき、2) 側頭筋お

よび咬筋の筋腹中央部に振動刺激を与えたときの閉口筋に生じる TVR と、GG および TR の応答パターンについて比較した。

振動刺激に対する応答性は個人間で大きく異なるため、TVR が誘発されていることを確認するために、1) 刺激を与えた直後もしくは数秒後に筋活動の増大が生じる、2) 刺激を与えている間、その活動は徐々に増大し、刺激終了後は数秒間で徐々に刺激前のレベルに戻る、という 2 つの条件を設定し、これをともに満たした場合に TVR が誘発されたと判断した。図 13 は、オトガイ部に 166 Hz の振動刺激を与えたときの典型的な筋活動の記録である。筋活動の増減のパターンはそれぞれ異なるが、TA、TP および Mass に TVR と考えられる筋活動が誘発されている。また、GG および TR には、それぞれ異なるパターンで筋活動が生じている。

振動刺激の周波数を変化させた場合、興奮する受容器が異なることから、誘発される TVR の筋活動パターンに変化が生じることが明らかにされている。図 14 は、振動刺激の周波数を 100 Hz、166 Hz と変化させたときの各筋の筋活動の変化を、刺激直前の筋活動と比較したものである。TA、TP および Mass には、100 Hz の振動刺激によって TVR が誘発されており、166 Hz でも著明な筋活動の増大が認められる。これに対し、GG および TR では、100 Hz の振動刺激では刺激前に比べ筋活動の増大がみられないのに対し、166 Hz では明らかな筋活動の増大がみられた。

この 166 Hz の振動刺激を側頭筋前腹中央部、咬筋中央部そしてオトガイ部に与えた時の GG、TR および各閉口筋の筋活動の変化を比較したのが図 15 である。側頭筋前腹およびオトガイ部に振動刺激を与えた場合に、GG および TR の筋活動量が著明に増大している。一方、咬筋に振動刺激を与えた場合は、GG および TR の筋活動は刺激前に比べ、わずかに増加しているだけである。図 16 は、このときの各筋筋活動量の変化をまとめたグラフである。2 秒間の各筋筋活動量を、刺激前の 2 秒間の筋活動量に対する比率として表してい

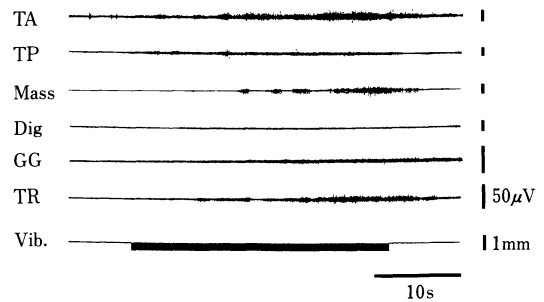


図 13 オトガイ部に振動刺激を与えた場合の筋活動
各閉口筋には tonic vibration reflex が誘発され、GG および TR にも筋活動の増大が認められる
<略語> Vib.: 振動刺激装置から発生した振動の振幅のモニター

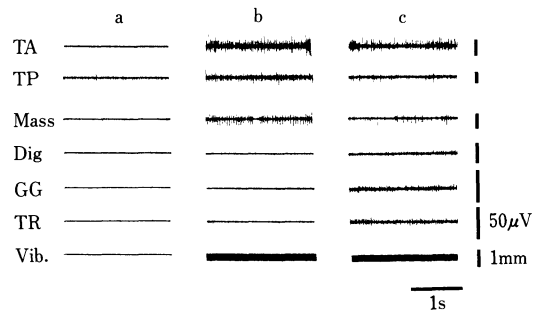


図 14 100 Hz および 166 Hz の振動刺激をオトガイ部に与えたときの各筋筋活動の応答の比較
a: 刺激開始直前 2 秒間の記録。b: 100 Hz で刺激した場合の刺激終了直前の 2 秒間の記録。c: 166 Hz で刺激した場合の刺激終了直前の 2 秒間の記録

TA、TP および Mass には、100 Hz および 166 Hz のどちらの振動数においても tonic vibration reflex が誘発され、その筋活動は 100 Hz に比べ 166 Hz で減少している。GG および TR には、166 Hz で筋活動の増大が生じているが、100 Hz の振動数では刺激前と変化がみられない

る。側頭筋前腹に刺激を与えた場合は、オトガイ部に刺激を与えた場合に比べ各筋筋活動パターンに著明な変化は認められないが、咬筋に刺激を与えた場合は、Mass の筋活動量の増大がみられたが、TA および TP の筋活動量は減少した。また、このときの GG および TR の筋活動量は、ほぼ刺激前

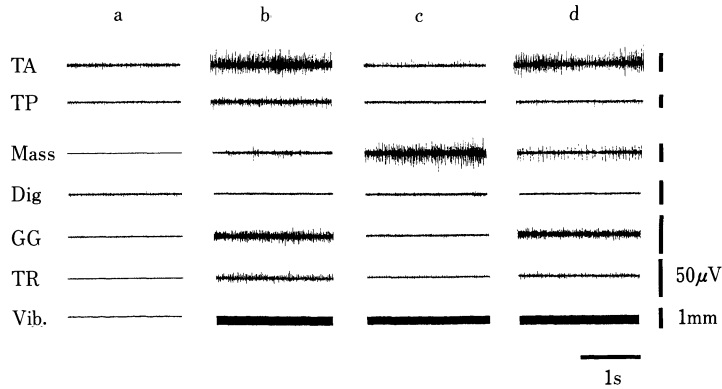


図 15 166 Hz の振動刺激をオトガイ、側頭筋および咬筋に与えたときの各筋活動の比較

a: 刺激直前の 2 秒間の記録。b: 側頭筋筋腹中央を刺激したときの刺激終了直前の 2 秒間の記録。c: 咬筋筋腹中央を刺激したときの刺激終了直前の 2 秒間の記録。d: オトガイ部を刺激したときの刺激終了直前の 2 秒間の記録

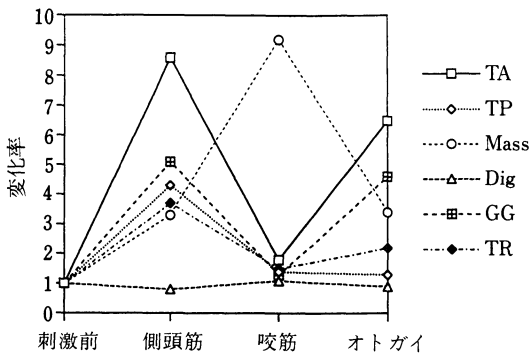


図 16 振動刺激を与えた部位と、それによって閉口筋に誘発された tonic vibration reflex および GG ならびに TR に誘発された応答の比較
刺激直前の 2 秒間の筋活動に対する、誘発された筋活動の変化率を各筋ごとにプロットしたもの。GG および TR の筋活動の増減のパターンは、TA の筋活動の増減のパターンと同じであるが、Mass とは異なることがわかる

のレベルまで減少した。

考 察

1. オトガイ舌筋および舌後退筋の筋活動の記録法について

従来、ヒトにおける舌筋の筋活動の記録のほと

んどは針電極あるいは fine wire を目的とする筋に刺入することにより行われてきたが^{25,38)}、この方法が痛みを伴うことはいうまでもない。一方、下顎の plate に表面電極を埋め込んだ形のものをを用いて、オトガイ舌筋の筋活動を記録したという報告もあるが³⁹⁾、舌の動きにより、舌と電極の位置関係が変化する可能性がある。本実験においては、舌の突出、後退、開口など被験者に舌の運動を行わせるため、このような形の電極は不適當であると考えられる。

金²³⁾、Takada ら⁴⁰⁾は、表面電極を舌背に接着することによって、内舌筋の筋活動が安定して記録しうると報告している。また Doble ら²⁶⁾は、オトガイ舌筋に刺入した fine wire とその近傍に装着した表面電極により記録された筋活動の比較を行い、オトガイ舌筋筋活動は、表面電極を用いても十分記録可能であると報告している²⁶⁾。よって本実験においては、表面電極を口腔底に接着するという方法を用いて、オトガイ舌筋および舌後退筋の筋活動を記録する方法を選択した。

表面電極の構造としては、主に、1) 小型であること、2) 口腔底と電極との間に心電用ペーストを介在させられること、3) 電極のリード線が舌の動きの妨げにならないこと、あるいは逆に

リード線が抵抗となり、電極を脱落させないこと等を考慮し、図 1 A に示した電極を自作した。

ガーゼにて舌をつまんで翻転させ、口腔底粘膜を歯科用エアースリンジにて十分に乾燥させ、ゼリー状シアノアクリレートを用いて固定した。この方法を用いることにより電極は確実に固定されたが、実験終了時に所定の位置から電極が外れていることが確認された場合は、その記録を検索対象から除外した。

ヒト外舌筋の筋活動の記録部位については、解剖学的所見をもとに電極を筋内に刺入し、さまざまな舌運動、発音、嚥下等を行わせた時の筋活動のパターンから、目的とする筋の筋活動を記録していることを確認するという手法が用いられてきた。GG の記録部位については、Sauerland らの刺入電極の部位²⁵⁾および Doble らの表面電極の位置²⁶⁾を参考にして、これらと同じ位置に電極を貼付し、GG の筋活動の記録を行った。Sauerland らは、舌後退時には内舌筋やオトガイ舌筋はほとんど発火せず、舌後退筋のみが活動することを刺入電極を用いた実験において示している²⁵⁾。本実験においては、図 17 に示すごとく、舌の突出 (A) と後退 (B) を行わせたところ、舌突出時には GG 相当部に貼付した電極が pick up している筋活動が、また舌後退時には TR 相当部に貼付した電極

が pick up している筋活動が、それぞれ著明に増大することを確認した。このことから、口腔底に貼付した表面電極を用いることにより、GG および TR の筋活動を記録することが可能であると考えられる。

2. ヒトにおける下顎舌反射について

Shoen は除脳ネコを用いて、下顎を他動的に開口させると舌の後退が生じることを認め、この反射を下顎舌反射 (kiefen-zungen reflex) と名付けた¹⁹⁾。彼はこの反射性の舌の後退には閉口筋の緊張を伴うことを指摘し、閉口筋中の固有受容器が下顎舌反射の誘発に関与していると述べている。それ以後、Morimoto²⁰⁾、Ishiwata²¹⁾、Lowe and Sessle⁴⁰⁾によって、同じく除脳ネコを用いてこの反射の誘発に関与する受容器についての研究がなされてきた。さらに、除脳したラットを用いた実験¹²⁾でも、下顎の他動的な開口により、舌突出筋および舌後退筋の motoneuron の発火頻度がそれぞれ変化することが報告されている。

一方、ヒトを対象とした実験においては、随意性開口に伴いオトガイ舌筋筋活動が増大すること、および前歯部の開咬を呈するヒトにおいては開口に伴い舌が前方位をとることが報告されている²⁴⁾。本実験においては、この報告と同様に随意性の開口によりオトガイ舌筋筋活動の増大と、これに加えて舌後退筋の筋活動の増大が観察されたが、舌の位置の明らかな変化は認められなかった。これは、ヒトにおいては開口を行わせると下顎の回転に加えて滑走が生じるため、開口による舌の位置の変化が、たとえあったとしても明瞭に観察されにくかったことによるためであろう。しかしながら、開口に伴い、舌の位置を変化させる本体である外舌筋筋活動の増大がみられるという点はネコやラットと共通している。この点から、ヒトにおいても下顎舌反射が存在すると思われることができる。

3. ヒト下顎舌反射誘発に関与する感覚受容器の存在部位について

Shoen は¹⁹⁾、ネコにおいて自発的な閉口運動に同期して舌の後退現象が認められることおよび閉

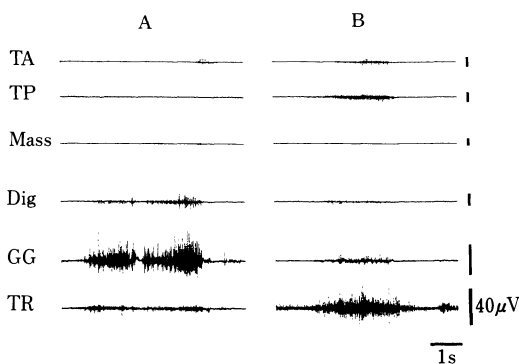


図 17 舌の突出および後退を行わせた時の筋活動
A: 突出時, B: 後退時
舌の突出時には主に GG, 舌の後退時には主に TR の筋活動がそれぞれ上昇しているのが認められる

口筋のトーンヌに抗して他動的に開口させたときに舌の後退が著明になるということから、閉口筋特に咬筋中の固有受容器が下顎舌反射の誘発に関与していると推察している。また、Kawamura and Morimoto⁴¹⁾は、内側翼突筋神経の電気刺激により舌下神経に応答が記録されたことから、内側翼突筋が下顎舌反射の誘発に関与すると報告している。Lowe and Sessle⁴⁰⁾は、開口により誘発されるオートガイ舌筋の筋活動が、同側顎関節領域の局所麻酔によって消失することから、この反射の誘発に対する顎関節部の感覚受容器の関与を示唆している。これに対し、Morimoto ら²⁰⁾は、遊離した顎関節の開口方向への回転のみでは外舌筋に筋活動が誘発されないことから、顎関節部の感覚受容器の関与を否定した。さらに、遊離した筋突起を下方へ牽引することにより、選択的に同側側頭筋を伸張させることによって下顎舌反射が誘発され、それが咬筋神経切断によっても影響を受けないことから、側頭筋内の伸張受容器こそがこの反射の誘発に関与していると述べている。

ヒトを対象とした本実験においては、ネコを用いた実験のような遊離実験は行えないことから、種々の条件下での閉口筋筋活動と外舌筋筋活動を比較することにより、下顎舌反射の誘発に関与する受容器の存在する部位について検討した。下顎の他動的な押し下げおよび reflex hammer を用いたオートガイのタッピングによって、TA, TP および Mass に下顎張反射が誘発され、これとほぼ同時に GG および TR の筋活動が増大した。このことから、下顎張反射に関与する閉口筋中の伸張受容器、つまり筋紡錘が興奮することにより、GG および TR に筋電図活動が誘発された可能性が高いと考えられる。また、噛みしめおよび振動刺激といった閉口筋筋紡錘の活動性が高まる条件下において、GG および TR に筋活動が生じていることから、閉口筋中の筋紡錘がこの反射の誘発に主要な役割を果たしていると考えられる。さらに、振動刺激を行う部位を変えることにより、側頭筋の筋活動の増大に伴い GG および TR の筋活動も増大したが、この筋活動は咬筋の筋活動の増減

にはほとんど影響を受けなかったことから、ヒト下顎舌反射の誘発に関与する伸張受容器は、主として側頭筋中に存在することが示唆される。

4. ヒト下顎舌反射の誘発に関与する感覚受容器について

下顎舌反射誘発時の GG および TR の筋活動と側頭筋筋活動とを比較すると、以下の所見が得られた。すなわち、1) 随意性の開口を行わせると、側頭筋の筋活動は増大しないのに対し、GG および TR には開口時に一定の開口量を越えたところから筋活動が誘発され、開口量が定常状態に達すると上昇した筋活動は消失するという応答がみられた。随意性の開口に伴い、閉口筋に対しては中枢からの抑制性の制御が働いたため、閉口筋自体には筋活動が生じないが、側頭筋中の伸張受容器は興奮しているため、GG および TR に筋活動が誘発されたと考えられる。2) 他動的な一過性の開口によって、閉口筋には下顎張反射が誘発され、GG および TR にもこれと同期した筋活動の増大が認められ、開口量を大きくすると、下顎張反射と GG および TR の筋活動は共に増大した。3) Reflex hammer を用いたオートガイ部のタッピングによって、GG および TR に誘発された反射性応答の潜時は、TA に誘発された下顎張反射の潜時に対し、約 1 ms だけ長かった。4) 下顎切痕部を電気刺激することにより、TA および Mass に H 波が誘発されたが、この H 波の閾値の 1.3 倍以上の強度の刺激によって GG および TR にも反射性の応答が記録された。H 波の潜時に比べ、GG および TR に誘発された応答の潜時は約 1 ms 延長していた。5) 閉口筋は、100 Hz および 166 Hz の振動刺激に対し、ともに賦活されたが、GG および TR は 100 Hz ではほとんど応答がみられず、166 Hz で筋活動の増大が認められた。

以上の結果より、ヒトの下顎舌反射の誘発に関与する感覚受容器は、筋中の固有受容器、つまり筋紡錘 1 次終末、2 次終末およびゴルジ腱器官のいずれかであると考えられる。電気刺激により I a 群求心性線維が興奮することによって誘発された H 波の閾値 T を基準にした場合、GG および

TR には T の 1.3 倍という比較的低い強度の刺激で反射性応答が誘発されたことから、刺激により興奮していると考えられる I a および I b 求心性線維が、この応答の誘発に関与している可能性が高い^{43,44)}。また、振動刺激に対しては、刺激の周波数が 130 Hz 程度までは筋紡錘 1 次終末、2 次終末およびゴルジ腱器官が興奮する可能性があるのに対し、150 Hz 以上の振動刺激に対し興奮を示すのは、筋紡錘 1 次終末だけであると考えられる³²⁻³⁷⁾。本実験においては、GG および TR に著明な筋活動の増大が記録されたのは、166 Hz で刺激した場合であった。さらに、オトガイのタッピングおよび下顎切痕部の電気刺激によって GG および TR に誘発された応答の潜時は、下顎張反射および H 波の潜時に比べ、それぞれ約 1 ms だけ長かった。このように、応答の潜時が非常に短いことから、おそらく I a 求心性線維がヒト下顎舌反射の誘発に関与していると考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇切なご指導とご校閲を賜った東京医科歯科大学歯学部歯科矯正学第 2 講座黒田敬之教授に深甚なる謝意を表します。

また、数々のご教示、ご助言をいただきました石渡靖夫博士、小野卓史博士に心より感謝いたします。

さらに本研究に協力を惜しまれなかった矯正学教室の諸先生方に心より感謝の意を表します。

なお、本研究の内容の一部は、第 53 回日本矯正歯科学会(1994 年 10 月 19 日、郡山)、第 42 回 JADR 総会(1994 年 12 月 10 日、大阪)、ならびに第 60 回口腔病学会学術大会(1995 年 12 月 2 日、東京)において発表した。

文 献

- 1) Thompson, J. R. : Oral and environmental factors as etiological factors in malocclusion of the teeth. *Am. J. Orthod.* 35 : 33-53, 1953.
- 2) Moss, J. P. : The soft tissue environment of teeth and jaws : an experimental and clinical study. Part I. *Br. J. Orthod.* 7 : 107-137, 1980.
- 3) Proffit, W. R. and Norton, L. A. : The tongue and oral morphology : influences of tongue activity during speech and swallowing, in *Speech and the Dentofacial Complex : The state of Art*, *Am. Speech and Hearing Assoc. Reports.* 5 : 106-115, 1970.
- 4) Proffit, W. R. : Equilibrium theory revisited. *Angle Orthod.* 48 : 175-186, 1978.
- 5) Havold, E. P., Vargervik, K. and Chierici, G. : Primate experiments on oral sensation and dental malocclusion. *Am. J. Orthod.* 63 : 494-508, 1973.
- 6) Cohen, A. M. and Vig, P. S. : A serial growth study of the tongue and intermaxillary space. *Angle Orthod.* 46 : 332-337, 1976.
- 7) Subtelny, J. D. and Sakuda, M. : Open-bite : Diagnosis and treatment. *Am. J. Orthod.* 50 : 337-358, 1964.
- 8) 滝本和夫, 中後忠夫, 尾関 哲, 浅井保彦, 和田卓郎 : 開咬を伴う不正咬合者の舌の機能, 形態的考察. *日矯歯誌* 30 : 25-38, 1971.
- 9) Sumi, T. : Activity in single hypoglossal fibers during cortically induced swallowing and chewing in rabbits. *Pflügers Arch.* 314 : 329-346, 1970.
- 10) Morimoto, T. and Kawamura, Y. : Properties of tongue and jaw movements elicited by stimulation of orbital gyrus of cat. *Arch. Oral Biol.* 18 : 361-372, 1973.
- 11) 佐原資謹 : ネコ大脳皮質刺激による舌下神経運動ニューロンのリズムカルな活動のシナプス機構. *口病誌* 51 : 656-666, 1984.
- 12) Toru, E., Caria, M. A., Simula, M. E. and Lacana, P. : Muscle spindle and periodontal trigeminal afferents modulate the hypoglossal motoneuronal activity. *Arch. Italiennes Biol.* 132 : 93-104, 1994.
- 13) Blom, S. : Afferent influence on tongue muscle activity. *Acta Physiol. Scand.* 49 (Suppl. 170) : 1-97, 1960.
- 14) Matthews, P. B. C. : Evolving views on the internal operation and functional role of the muscle spindle. *J. Physiol. (Lond.)* 320 : 1-30, 1981.
- 15) 森本俊文 : 咀嚼筋固有感覚と顎運動・顎反射. *Jpn. J. Oral Biol.* 27 : 1-15, 1985.
- 16) Morimoto, T., Takata, M. and Kawamura, Y. : Inhibition of hypoglossal motoneurons by a masseteric nerve volley. *Brain Res.* 43 : 285-288, 1972.
- 17) 中村嘉男 : 咀嚼筋からの求心性インパルスによる顎および舌運動の神経機構. *口病誌* 40 : 1-16, 1973.
- 18) Sumino, R. and Nakamura, Y. : Synaptic potentials of hypoglossal motoneurons and a

- common inhibitory interneuron in the trigeminohypoglossal reflex. *Brain Res.* 73 : 439-454, 1974.
- 19) Shoen, R. : Untersuchungen über Zungen und Kieferreflexe. I. Mitteilung der Kieferzungen Reflex und andere proprioceptive Reflexe der Zunge und der Kiefermuskulatur. *Arch. Exp. Pathol. Pharmacol.* 160 : 29-48, 1931.
 - 20) Morimoto, T., Takabe, H., Sakan, I. and Kawamura, Y. : Reflex activation of extrinsic tongue muscles by jaw closing muscle proprioceptors. *Jap. J. Physiol.* 29 : 461-471, 1978.
 - 21) 石渡靖夫 : 下顎舌反射誘発に關与する側頭筋の固有受容器. *口病誌* 55 : 460-470, 1988.
 - 22) Takada, K., Yoshida, Y. and Hiraki, T. : Tongue muscle activity during jaw opening, breathing, clenching and retrusive efforts in man. *Leuven University Press. EMG of jaw reflexes in man.* 328-339, 1989.
 - 23) 金 光悦 : 舌前突, 開口, 嚥下および呼吸時のヒト舌筋活動と舌の反射応答について. *鶴見齒誌* 14 : 429-442, 1988.
 - 24) Lowe, A. A. and Johnston, W. D. : Tongue and jaw muscle activity in response to mandibular rotations in a sample of normal and anterior open-bite subjects. *Am. J. Orthod.* 76 : 565-576, 1979.
 - 25) Sauerland, E. K. and Mitchell, S. P. : electromyographic activity of intrinsic and extrinsic muscles of the human tongue. *Tex. Rep. Biol. Med.* 33 : 445-455, 1975.
 - 26) Doble, E. A., Leiter, J. C., Knuth, S. L., Daubenspeck, J. A. and Bartlett, D. Jr. : A noninvasive intraoral electromyographic electrode for genioglossus muscle. *J. Appl. Physiol.* 58 : 1378-1382, 1985.
 - 27) McKintyre, A. K. and Robinson, R. G. : Pathway for the jaw-jerk in man. *Brain.* 82 : 468-474, 1959.
 - 28) Hufschmidt, H. J. and Spuler, H. : Mono and polysynaptic reflexes of the trigeminal muscles in human beings. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 25 : 332-335, 1962.
 - 29) Taylor, A. : Proprioception in the strategy of jaw movement control. In : *Mastication.* 139-146, Wright, Bristol, 1976.
 - 30) 小川邦彦 : 咬筋の誘発筋電図に關する研究. *口病誌* 39 : 213-229, 1972.
 - 31) Fujii, H. and Mitani, H. : Reflex responses of the Masseter and temporal muscles in man. *J. Dent. Res.* 52 : 1046-1050, 1973.
 - 32) Bianconi, R. and Van der Meulen, J. P. : The response to vibration of the end organs of mammalian muscle spindles. *J. Neurophysiol.* 26 : 177-190, 1963.
 - 33) Brown, M. C., Engberg, I. and Matthews, P. B. C. : The relative sensitivity to vibration of muscle receptors of the cat. *J. Physiol.* 192 : 773-800, 1967.
 - 34) Burke, D., Hagbarth, K. E., Löstedt, L. and Wallin, G. : The responses of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscles. *J. Physiol.* 201 : 673-693, 1976.
 - 35) deGail, P., Lance, J. W. and Neilson, P. D. : Differential effects of tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 29 : 1-11, 1966.
 - 36) Hagbarth, K. E. and Eklund, G. : Motor effects of vibratory stimuli in man. In : *Muscular afferents and motor control. Nobel Symposium I.* Granith, R. (Ed), Stockholm, 1966, Almqvist & Wiksell, 177.
 - 37) Hellsing, G. : Responses to vibratory stimulation of human jaw muscles. In : *Electromyography of jaw reflexes in man* : 147-175, 1989.
 - 38) Basmajian, J. V. and Stecko, G. : A new bipolar electrode for electromyography. *J. Appl. Physiol.* 17 : 849, 1962.
 - 39) Millidonis, M. K., Widmer, C. G., Segal, R. L. and Kraus, S. L. : Surface intraoral genioglossus EMG recording technique for kinesiological studies. *Am. J. Orthod. Dentfac. Orthp.* 94 : 240-244, 1988.
 - 40) Yoshida, K., Takada, K., Adachi, S., Sakuda, M. : EMG approach to assessing tongue activity using miniature surface electrodes. *J. Dent. Res.* 61 : 1148-1152, 1982.
 - 41) Lowe, A. A. and Sessle, B. J. : Tongue activity during respiration, jaw opening, and swallowing in cat. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 51 : 1009-1011, 1973.
 - 42) Kawamura, Y. and Morimoto, T. : Neurophysiological mechanisms related to reflex control of tongue movements, In *Oral Sensation and Perception*, Ed. by Bosma, J. F., Vol. 4, DHEW (NIH), Bethesda, Md. : 206-217, 1973.
 - 43) Lloyd, D. P. C. and Chang, H. T. : Afferent fibers in muscle nerves. *J. Neurophysiol.* 11 : 199-208, 1948.
 - 44) Hunt, C. C. : Relation of function to diameter in afferent fibers of muscle nerves. *J. Gen. Physiol.* 38 : 117-131, 1954.