歯周組織への電気刺激でヒト咬筋に

誘発される反射性応答

—歯根膜—咬筋反射について—

大 場 浩 二

鶴見大学部第2歯科保存学教室

(指導：中村治郎教授)

(昭和62年12月14日受付)

Masseter Muscle Reflex Evoked by Electrical Stimulation of Periodontal Tissues in Human Subjects

—Periodontal-Masseteric Reflex—

Koji OBA

Department of Periodontics and Endodontics,
Tsurumi University School of Dental Medicine
(Director : Prof. Jiro NAKAMURA)

In order to investigate the relation between the masseter muscle reflex (especially the periodontal-masseteric reflex) and sensations evoked by electrical stimulation of periodontal tissues, the present study was performed on 5 males (aged 24~34 years) with normal dentitions. Recordings of electromyograms were made from the right masseter muscle with bipolar surface electrodes. Electrical stimuli (1 msec duration square-wave, 1/1 sec) were applied to the upper right central incisor and its gingiva. The anode side of the stimulating electrode was bonded to the facial side of the crown of the tooth, the cathode was placed in contact with the gingiva. In some experiments the tapping of the teeth when then came into occlusion triggered the electrical stimuli after either delay of 50 msec, 300 msec or 600 msec, these stimuli corresponded with the clench, open or close phases of the cycle respectively.

1) During clenching, electrical stimulation caused two excitatory reflex responses (an early response-ER, latency : about 8 msec, a late response-LR, latency : 50~100 msec) and a silent period (SP, latency : about 18 msec).

2) The threshold of the ER coincided with that of sensation, and the incidence of ER was 47~100% (average 77%) at this stimulus intensity. On the other hand, the threshold of SP also coincided with that of sensation, but the incidence of SP (13~47%, average 24%) was lower than that of ER at this intensity.

3) After the infiltration of anesthesia (2% Xylocain) in the electrical stimulating region, perception and jaw reflex (ER, LR, SP) elicited by the electrical stimulation had completely vanished.

4) The effect on the reflex (ER, SP) of changing the occlusal force levels while maintaining a constant

nt stimulus intensity was studied. At 0 kg, no response could be detected. The amplitude of ER was markedly increased with increasing force, while the duration of the SP was slightly decreased with increasing force.

5) When the electrical stimulation was applied in each phase during open-close-clench cycles, ER was recognized in the occlusal and closing phases.

However, electrical stimulation caused no response in the opening phase. Because ER elicited by the electrical stimulation to the periodontal tissues had a

short latency (about 8 msec), and ER was completely absent after anesthesia to the stimulating region, it is suggested that ER may account for the monosynaptic excitation by the "periodontal-masseteric reflex" that passes through the mesencephalic nucleus. The threshold of the ER coincided with that of sensation, and the incidence of ER was higher than that of SP at the same stimulus intensity. These findings suggest that the "periodontal-masseteric reflex" may regulate the occlusal force during mastication.

Key words : *Electromyogram, Electrical stimulation, Periodontal-masseteric reflex, Jaw opening reflex, Sensations*

要旨 : 5 人の被験者に歯根膜を含めた歯周組織への電気刺激を行い、咬筋 EMG 中に誘発される反射性応答と知覚する感覚との関係について調べ、以下の知見を得た。

感覚発現閾値で約 8 msec の潜時を持つ興奮性反射応答 (ER) が平均 77% 出現したが、抑制相 (SP) は平均 24% であった。電気刺激部位を浸潤麻酔すると感覚及び各反射は消失した。咬合力 0 kg (安静時) では ER は出現せず、咬合力の増加に伴い ER は増大した。咬合相、閉口相では ER が出現したが、開口相では出現しなかった。以上の結果から歯周組織への電気刺激で咬筋 EMG 中に出現する ER は歯根膜に存在する受容器からの入力で発現する「歯根膜一咬筋反射」であることが考えられる。またこの反射の閾値は感覚の発現閾値と一致し開口反射よりも低く、更にこの反射の発現には咬筋筋活動が必要であることから咀嚼時や咬合時に咬筋筋活動を調節する役割を有していると思われる。

索引用語 : 咬筋筋電図, 電気刺激, 歯根膜一咬筋反射, 開口反射, 感覚

序 論

歯根膜はコラーゲン性の結合組織線維の集団で構成され、歯を支持し、しかも咬合や咀嚼によって歯に加わる力が直接歯槽骨に及ばないように、適当な粘弾性を持ち、緩衝作用を果たすとともに、歯根膜中に豊富に分布している神経によって反射的に強い衝撃から歯と歯周組織を保護している¹⁾。また歯周組織の高度の破壊や喪失が生じた場合には顎口腔系の反射機構に大きな影響が現れることが示されている²⁾。Goldberg (1971)³⁾ はヒトの切歯部への機械的刺激で咬筋に短潜時の興奮性反射応答を見出し、この反射は刺激部位を局所麻酔すると消失することから、この反射の受容器は歯根膜に存在すると考え、この反射を「歯根膜一咬筋反射」と名づけた。この反射の潜時は閉口筋紡錘が関与する下顎張反射よりわずかに短いかほぼ同じであることから、単シナプスの反射であることが示唆された。Jerge (1963)⁴⁾ は三叉

神経中脳路核中に歯根膜圧受容器へ末梢枝を送るニューロンを見い出しており、またラット上顎切歯への機械的刺激で閉口筋に長短 2 種類の潜時を持つ興奮性反射応答が出現するとの報告もある⁵⁾。しかしながら、Goldberg³⁾ の行った実験では歯を機械的に刺激する結果、その刺激効果が歯根膜圧受容器を刺激するのみならず、閉口筋紡錘をも同時に刺激し下顎張反射を誘発してしまうという批判がある^{6,7)}。一方、口腔内三叉神経支配領域への侵害刺激によって開口反射が生じることが知られているが、近年この開口反射は痛覚閾値以下の非侵害刺激でも誘発されることが報告されている^{8,9)}。そこで本研究では、機械的刺激のように閉口筋紡錘を刺激する可能性の無い、歯根膜を含めた歯周組織への電気刺激を用いて、正常者のヒト咬筋に誘発される歯根膜一咬筋反射の性質を明らかにするとともに、歯根膜一咬筋反射及び開口反射の閾値の比較、更に電気刺激で被験者の知覚する感覚の閾値とこれら各反射の閾値との関係についても合わせて検討し、歯根膜一咬筋反射の機能について考察を

図 1 本実験で歯周電気刺激に用いた電極 (A) 及び電極を上顎右側中切歯に装着した時の模式図 (B)

加えた。

方法及び装置

1. 被験者について

肉眼的診査で歯科的な疾患が認められず、健全歯列、健康歯肉、正常咬合及び正常な咀嚼機能を有する 24~34 歳の男性 5 人の協力者を被験者とした。被験者をシールドルーム内の歯科用治療椅子に座らせ、フランクフルト平面が床と平行になるようにヘッドレストで頭部を固定して実験を行った。

2. EMG 記録及び刺激方法

右側の咬筋中央下部から双極の脳波用表面電極（三栄測器、 ϕ 10 mm、電極間中心間隔 20 mm）を用いて表面筋電図（以下 EMG と略す）を導出した。不関電極を右側耳朶に取り付けた。機械的刺激として、先端にマイクロスイッチを取り付けたリフレックスハンマーを用いてオトガイ部、及び上顎右側中切歯の tap を行った。切歯 tap は Goldberg³⁾ の方法に従い、長さ 5 cm の木片を介し歯軸に垂直に刺激が加わるようにして行った。歯周組

織への電気刺激のための刺激電極は、図 1 に示したように直径約 3 mm の銀板の周囲を常温重合レジン（而至、ユニファスト）で覆い、表面電極用ペースト（日本光電、カーディオオクリム）を介して接着性コンポジットレジン（クラレ、クリアフィル）で上顎右側中切歯唇側歯面中央部に接着し陽極側とし、陰極側は付着歯肉に銀板を直接接触させた。電気刺激として矩形波パルス（duration 1 msec）をアイソレータ（日本光電、SS 101 J）を介して通常 1 秒間 1 回（1/1 sec）の頻度で与えた。咀嚼サイクルの各相で電気刺激を行うためには、被験者にメトロノームの音に合わせて 1 分間 96 回（96/min）の頻度で tapping を行わせ、頬骨弓から pick up マイクロフォンを用いて tapping 音を pickup し、これを trigger 信号として電気刺激装置を駆動させ、open-close-clench サイクルの各相で電気刺激を行えるように装置の delay を変えて、各相への電気刺激を行った（図 2）。

電気刺激の強度の変化が反射及び被験者の感覚の質にどのような影響を与えるかについて調べる実験では刺激電圧を順次変えて行ったが、この場合弱い電圧から強い電圧へと、3~5 分間の休息時間を置いて刺激強度を上げ

図2 咀嚼サイクル各相への電気刺激

図は上下歯接触を起点とした1回の咀嚼サイクル(96/min)を示し、下顎の動き(Jaw Movement)、及び咬筋筋電図(Masseter EMG)を同時記録した一例を示す。a, b, c, はそれぞれの相の歯周組織への電気刺激時点、a; 咬合相(occlusal, delay 50 msec) b; 開口相(opening, delay 300 msec) c; 閉口相(closing, delay 600 msec)。

た。これは McGrath ら⁸⁾が述べているように、強い刺激後では弱い刺激で生じる感覚が隠蔽されてしまうためである。各刺激強度で被験者の知覚した感覚は、被験者自身が手元にあるリモコンスイッチを操作して、感覚の質をランプで表示するように指示した。一部の被験者については刺激部位にキシロカイン(2% 塩酸リドカイン, 1/8 万エピネフリン含有)による浸潤麻酔を行い、麻酔前後での比較を行った。

一定の咬合力を維持させる場合には、被験者に左側大臼歯部で咬合力トランスジューサー(日本光電, JJ-441 T)を咬ませ、その出力を被験者自身にモニターさせて一定の咬合力を持続できるようにした。

3. 記録及び処理

図3に本実験のブロックダイアグラムを示す。右側咬筋から導出したEMGを増幅器(日本電気三栄, バイオフィジオグラフ180システム)を用いて増幅し、オシロスコープ(ダイアメディカルシステム, DPO-6001)でモニターしながら、データレコーダ(SONY, FE-30 A)に収録した。また同時に各刺激信号もデータレコーダに収録した。一旦データレコーダに収録したEMGを、各刺激信号をtrigger信号に用いてシグナルプロセッサ(日本電気三栄, 7 T 07)上に表示し、その出力をX-Yレコーダ(渡辺測器, WX 442)で通常10回の重ね書きを行った。

機械的刺激及び歯周組織への電気刺激で咬筋に出現す

る反射性反応の潜時(latency)は、刺激時点(trigger時点)から反射性応答の出現時点までの間隔を計測してそれぞれの潜時とした。

結果

1. オトガイ部及び切歯 tap で咬筋 EMG に出現する反射性応答について

歯周組織への電気刺激を行うのに先立って下顎安静時、あるいは中心咬合位で中程度のかみしめ持続時でのオトガイ部 tap、及び上顎右側中切歯 tap で咬筋 EMG に出現する反射性応答について調べた(図4)。オトガイ部 tap では安静時には下顎張反射が、またかみしめ時には下顎張反射に引き続いて抑制相が出現した。これらの下顎張反射の潜時は安静時、かみしめ時とも約 9 msec であった。一方、切歯 tap では安静時には反射性応答は出現せず、かみしめ時に下顎張反射よりいく分短い潜時(約 7.5 msec)を持つ一過性の興奮性反射応答、及びそれに引き続いて抑制相が出現した。この興奮性反射応答を Goldberg³⁾は「歯根膜-咬筋反射」と名づけた。

2. 歯周組織への電気刺激強度の変化と反射性応答、及び感覚との関係

かみしめ持続時に歯周組織へ侵害刺激レベル(13 V)の電気刺激を与えると咬筋 EMG 中に潜時の異なる2つの興奮性反射応答(early response-ER, late response-LR)及び抑制相(silent period-SP)が出現する(図5)。短潜時の興奮性反射応答(ER)、及び抑制相(SP)はほぼ一定の潜時で常に出現するのに対し、長潜時の興奮性反射応答(LR)は潜時のばらつきが大きく(50~100 msec)、また出現率も ER, SP よりも低い傾向が見られた。本実験では歯周組織への電気刺激で出現するこれらの反射性応答のうち、短潜時の興奮性反射応答(ER)、及び抑制相(SP)について調べた。短潜時の興奮性反射応答(ER)の潜時は図5に示すように電気刺激時点(trigger時点-左端)から反射性応答の出現時点(矢印)までの間隔とした。

被験者に中等度の咬合力(臼歯部で 5 kg)を維持させ、歯周組織への電気刺激の刺激強度を変化させた場合の咬筋 EMG 中に出現する各反射性応答(ER, SP)と被験者の知覚する感覚の質の変化について調べた。図6に代表的な1例を示す。刺激電圧 5 V までは被験者は何の感覚も知覚せず咬筋 EMG に変化は認められなかった。7 V では圧覚に類似した感覚を知覚し始め、咬筋 EMG 中に約 8 msec の潜時で興奮性反射応答が出現し、また

図 3 本実験のブロックダイアグラム

この反射性応答に引き続いて抑制相（潜時約 18 msec）が 10 回中 2, 3 回出現した。今回行った処理法（重ね書き）ではランダムな筋活動は何回重ね書きを行っても波形は一致しないのに対し、一定の潜時を有する反射性応答の場合には波形はほぼ一致して重なり合っ画かれることが考えられる。図 6 に示したように、7 V の歯周組織への電気刺激でほぼ 8 msec の潜時を持つ波形が重なり合っ得られたことから、この波形を歯周組織の電気刺激によって出現した興奮性反応と判断した。10 V では痛みに近い強く圧迫されるような感覚（pre-pain）を知覚し、興奮性反射応答の振幅も大きくなり、それに引き続いて抑制相もほぼ 100% 出現した。13 V では明かな痛みを知覚し、興奮性反射応答に続く抑制相の duration が増大した。同様の実験を 5 人の被験者に対して行った（図 7）。各被験者間ではそれぞれの感覚の発現閾値、及び興奮性反射応答、抑制相の出現率は異なっていたが、いずれの被験者でも興奮性反射応答の閾値は知覚閾値（図 7, sensation の閾値）と一致していた。しかしながら、いずれの被験者でも知覚閾値での興奮性反射応答の出現率（47~100%, 平均 77%）は抑制相の出現率（13~47%, 平均 24%）よりも高く、また興奮性反射応答が痛みに近い圧覚レベルの刺激強度（pre-pain）で 100% 近くの出現率を示すのに対し、抑制相は侵害レベルの

刺激強度になって初めて 100% 近くの出現率に達することが多くの被験者で認められた。

次に電気刺激部位を局所麻酔し、その効果について調べた。電気刺激部位へキシロカイン（2% 塩酸リドカイン, 1/8 万エピネフリン含有）による浸潤麻酔を行った後、侵害レベルの刺激強度（痛覚を発現させる刺激強度）である 13 V の電気刺激を行ったが、興奮性反射応答、及び抑制相は消失した。このとき被験者は電気刺激が行われていることを全く知覚出来なかった（図 8）。このことから歯周組織への電気刺激で出現する興奮性反応、及び抑制相は浸潤麻酔を行った部位からの入力で発現した反射であることが考えられる。なおオトガイ部及び切歯 tap による反射性応答は麻酔の前後で著明な変化が認められなかった。

3. 咬合力の変化と反射性応答について

歯周組織への電気刺激の刺激電圧を 10 V（痛みに近い圧覚発現強度）に固定し、咬合力を 0 kg から 10 kg まで変化させたときの反射性応答について調べた（図 9）。安静時（0 kg）では興奮性反射応答、抑制相とも認められなかったが、3 kg, 5 kg, 10 kg と咬合力が増加するのに伴い興奮性反射応答の振幅は増大した。一方、抑制相の duration は逆に咬合力の増加に伴い、若干短縮傾向を示したが、特に 3 kg と 5 kg 間でその短縮は顕著であ

図 4 オトガイ部及び上顎右側中切歯 tap で出現する反射性応答

安静時 (Rest Position) と中心咬合位でのかみしめ時 (clenching) にそれぞれ、オトガイ部 tap 及び上顎右側中切歯 tap を行ったとき咬筋 EMG 中に出現した反射性応答。tap (刺激) 信号を記録再生の trigger に用いて 10 回ずつ重ね画きを行った。図中の矢印は興奮性反射応答の出現時点を示し、図左端から矢印までが興奮性反射応答の潜伏時である。

図 5 かみしめ持続時に歯周組織への電気刺激で咬筋 EMG 中に出現した各反射性応答の代表的一例

歯周組織への電気刺激により短潜時の興奮性反射応答 (ER-early response), 引き続いて抑制相 (SP-sirent period), 及び長潜時の興奮性反射応答 (LR-late response) が出現する。図中の矢印は ER の出現時点を示す。

図 6 中等度の咬合力持続時 (臼歯部で 5 kg) に歯周組織への電気刺激強度を変化させた場合に咬筋 EMG 中に出現する反射性応答と被験者の知覚する感覚との関係

各データはそれぞれ 10 個の重ね画きを行った。図中の矢印は ER の出現時点を示す。

った。

4. 咀嚼サイクル各相での電気刺激について

電気刺激の刺激電圧を一定 (10 V) にして、咀嚼サイクルの各相で電気刺激を行い各相の咬筋 EMG 中に出現する反射性反応について調べた。図 2 に模式的に示したように、被験者に 1 分間 96 回 (96/min) の頻度で tapping (open-close-clench) を行わせ、上下歯の tapping 音を trigger 信号として、上下歯接触時点から 3 種の delay [a, 50 msec (咬合相), b, 300 msec (開口相), c, 600 msec (閉口相)] で歯周組織への電気刺激を行った。咬合相, (a) 及び閉口相 (c) への電気刺激では興奮性反射応答 (潜時約 8 msec) 及び、それに引き続いて抑制相が得られたが、開口相 (b) への電気刺激ではいずれの反射性応答も出現しなかった (図 10)。

図 7 歯周組織への電気刺激強度と咬筋 EMG 中に出現する ER と SP の出現率, 及び被験者の知覚した感覚との関係。

5名の被験者についてそれぞれプロットした。

図 8 電気刺激部位への麻酔効果

中等度の咬合力持続時(臼歯部で 5 kg)に歯周組織への電気刺激強度 13 V で咬筋 EMG 中に出現する反射性応答の出現の有無を電気刺激部位への 2% キシロカイン浸潤麻酔前後で比較した。図中の矢印は ER の出現時点を示す。

考 察

歯周組織への電気刺激で咬筋 EMG 中に約 8 msec の潜時を持つ興奮性反射応答が出現した(図 5, 6)。この反射性応答の潜時は下顎張反射の潜時(図 4)とほぼ同じ値であった。下顎張反射は閉口筋筋紡錘を受容器とする単シナプス性の伸張反射であることが知られており、ネコを用いた動物実験で、咬筋筋枝神経を電気刺激すると咬筋運動核から三叉神経中脳路核経由の Ia 線維(筋紡錘一次終末からの求心性神経)による単シナプス性 EPSP(興奮性シナプス後電位)が記録されている¹⁰⁾。今回、歯周組織への電気刺激で出現した約 8 msec の潜時を持つ興奮性反射応答は下顎張反射とほぼ同じ潜時を示すことから単シナプス性の反射で誘発されたことが示唆される。三叉神経中脳路核の単極性ニューロンにはその末梢枝を筋紡錘以外に歯根膜圧受容器に送るものが存在すると言う報告⁴⁾があり、またラットを用いた実験で上顎切歯の機械的刺激で咬筋 EMG に出現する短潜時の興奮性反射応答は三叉神経中脳路核と咬筋運動核の間の切断で消失することから、この短潜時の興奮性反射応答の反射経路は中脳路核を介するものと考えられる⁵⁾。また本実験で歯周組織の電気刺激部位を浸潤麻酔すると興奮性反射応答が完全に消失することから、歯周組織への電気刺激で出現した短潜時の興奮性反射応答は歯根膜圧受容

器、あるいはその求心性神経が直接刺激され、中脳路核を経由して咬筋運動核を単シナプス性に興奮させた結果出現したことが考えられ、Goldberg³⁾の報告した「歯根膜—咬筋反射」と同様の反射性応答であることが考えられる。この興奮性反射応答に引き続いて抑制相が出現した(図 5, 図 6)。歯髄、歯肉、舌などの三叉神経第二枝、第三枝支配領域に電気刺激を与えることにより閉口筋筋活動の一時的な抑制相いわゆる開口反射が出現することが報告されている^{9,11,12,13)}。動物実験で三叉神経の末梢刺激によって閉口筋運動核に誘発される最短の潜時の抑制は三叉神経上核に存在する抑制性介在ニューロンを介する 2 シナプス性の経路で発現することが報告されている^{14,15)}。本実験で電気刺激部位を浸潤麻酔すると興奮性反射応答と共に抑制相も完全に消失することから、この抑制相は電気刺激部位からの入力で誘発された 2 シナプス性あるいはそれ以上の経路で起こる開口反射による咬筋筋活動の抑制であり、それ故この抑制相の潜時は単シナプス性の反射(歯根膜—咬筋反射)で誘発される興奮性反射応答よりも長い潜時を示したことが考えられる。

今回電気刺激を与えた部位には歯髄、歯根膜、歯肉などが含まれている。これらの口腔領域の感覚に関与する神経は三叉神経であり、そのうち太い触・圧覚に関与する神経は三叉神経複合核の主知覚核で、細い痛覚、温度覚などの線維は脊髄路核でニューロンを変え、視床の中継核を介して大脳皮質の体性感覚領に投射する¹⁶⁾と言われている。また歯根膜は歯髄と同様に三叉神経の上・下顎神経分枝によって支配されている¹⁷⁾が、前述したごとく圧受容器からのものの一部は三叉神経中脳路核に入るといふ報告があり⁴⁾、また三叉神経末梢刺激は開口反射(閉口筋抑制)を誘発することが出来る。今回の実験では歯周組織への電気刺激を行うことによって生じる 2 つの反射性応答(歯根膜—咬筋反射、及び開口反射)の閾値及び出現率と被験者の知覚する感覚の変化との関係を検索することが出来た。いずれの被験者に於いても興奮性反射応答の閾値は侵害レベル以下の知覚閾値と一致し、また抑制相の発現閾値ともほぼ一致するという結果が得られた(図 7)。一般に触覚や圧覚の受容器からの線維は太い有髄線維であり¹⁶⁾、また種々の神経線維を含む神経束を電気刺激すると、低電圧の刺激では低い閾値を有する太い有髄線維のみが刺激されるという事実が知られている。今回の実験でどの種類の神経線維が刺激されそれぞれの反射性応答が誘発されるに至ったかは具体的には判らないが、各反射性応答が痛覚発現より低い電圧の電気刺激で発現したことから、おそらく歯根膜や歯肉

図 9 電気刺激強度を 10 V に固定し、咬合力を 0 kg から 10 kg まで増大させた時の反射応答の変化。図中の矢印は ER の出現時点を示す。

などに存在する触・圧受容器を支配する太い有髄線維の興奮が入力となってこれらの反射が誘発されたと考えられる。また、歯髄は直径の細い神経線維で支配され歯髄刺激で発現する感覚は痛覚のみであると従来から考えられてきたが¹⁸⁾、歯髄中の低閾値神経線維のあるものは、反射や痛覚以外の感覚にも関係する可能性が示されており^{18,19)}、実際にヒト歯髄刺激で咬筋に出現する開口反射(筋活動抑制)は痛覚閾値以下で出現するという報告もある^{8,18)}。従って、今回の実際に興奮性反射応答と同様に抑制相の出現閾値が痛覚閾値以下の知覚閾値と一致していたという結果は、歯根膜、歯肉からの線維の他に、歯髄神経中の低閾値線維も抑制相の発現に関与していた可能性が考えられる。しかしながら、知覚閾値での抑制相の出現率は興奮性反射応答に比べていずれの被験者に於ても著しく低い値を示し、抑制相の出現率が 50% を超えるのは、痛みに近い圧覚を発現させるときであり、

a. 50msec delay (occlusal)

b. 300msec delay (opening)

c. 600msec delay (closing)

図 10 咀嚼サイクル各相への電気刺激で出現する反射性応答

a, 咬合相 (occlusal, delay 50 msec), b, 開口相 (opening, delay 300 msec), c, 閉口相 (closing, delay 600 msec)。Control は電気刺激のないときの EMG, Stimulation はそれぞれの相で電気刺激を行ったときの EMG, 矢印は ER の出現時点を示す。咬筋 EMG は閉口相及び、咬合相で著名であるが、開口相では認められない。

100% 近くの出現率になるのは、痛覚を発現させる侵害レベルの刺激強度を与えた場合であった(図 7)。これらの結果は興奮性反射応答の方が抑制相に比べて侵害レベル以下の刺激で容易に出現する反射であることを示している。本実験で示されたこのような知見から、通常の咀嚼運動に於ける咬合時には、上下顎の歯の歯根膜に咬合力が加わり、歯根膜圧受容器が刺激され、その結果、歯根膜-咬筋反射が誘発させて咬筋活動が一過性に高まり、上下歯の歯間に食塊などを保持するような閉口作用が生じるが、歯に強い圧力、あるいは侵害レベルの刺激

が加えられた場合には開口反射による咬筋筋活動の抑制が生じ、その結果として歯根膜一咬筋反射効果が打ち消されることが考えられる、すなわち2つの反射系の相反する反射効果が組み合わされていることによって咀嚼時の閉口筋筋活動の調節が行われていることが示唆される。

歯周電気刺激で出現する興奮性反射応答は、安静時(図9)、及び開口相(図10)では認められなかった。この結果は歯根膜一咬筋反射が誘発される為にはその back-ground に咬筋筋活動が存在することが必要であることを示唆する。ネコを用いた実験でリズムカルな顎運動誘発時の咬筋運動核ニューロンの細胞膜電位変化は閉口相では EPSP による脱分極が、また開口相では IPSP (抑制性シナプス後電位) による過分極が、各相に一致して交互に出現することが報告されている²⁰⁾。それ故、開口相で興奮性反射応答が認められなかったことは、おそらく、ヒトの咬筋運動核に於ても開口相では過分極状態になっており、そのような条件下では歯根膜からの入力のみでは運動ニューロンを発火させるには至らなかったものと思われる。更に安静時でも興奮性反射応答は出現しないことから、歯根膜からの入力でこの反射が誘発されるのは閉口相、あるいは咬合相の時に上位中枢からの入力で運動ニューロンが脱分極状態になっている場合のみであることが推察される。また、咬合力の増大に伴い、興奮性反射応答が増大した(図9)が、この結果は運動核での興奮が増大するのに従い興奮性反射応答も増大されていくことを示している。いずれにしても、歯根膜一咬筋反射が誘発されるためには咬筋筋活動が back-ground として存在することが必要であるものと思われる。今回の実験で与えた刺激は単一歯の歯根膜を含む歯周組織への電気刺激であり、数本の歯の歯根膜、あるいは上下歯の歯根膜を同時に刺激した場合、または通常の上下歯接触の様な自然に近い機械的刺激を与えた場合には、開口時や安静時にも興奮性反射応答が誘発されるかどうか、更には、この反射系に対する他からの抑制が存在するかどうかなどは今後に残された課題である。また、本実験では正常被験者について調べたが、歯周疾患患者では歯根膜一咬筋反射はどのように変化し、正常者と比較するとどのような特徴を示すかも今後の興味ある問題である。

結 論

5人の正常被験者に歯根膜を含めた歯周組織への電気

刺激を行い、咬筋 EMG 中に誘発される反射性応答(特に歯根膜一咬筋反射)と被験者の知覚する感覚との関係について調べ、以下の知見を得た。

1. かみしめ持続時に歯周電気刺激を行うと咬筋 EMG 中に約 8 msec 潜時を持つ興奮性反射応答(ER)、引き続いて約 18 msec の潜時を持つ抑制相(SP)、及び 50~100 msec の潜時を持つ興奮性反射応答(LR)がいずれの被験者でも認められた。

2. 電気刺激強度の増大に伴う被験者の知覚する感覚と咬筋に出現する反射性応答との関係は、ER が感覚発現閾値で 47~100%、平均 77% の出現率を示すのに対し、SP の出現率は 13~47%、平均 24% であった。

3. 電気刺激部位を 2% キシロカインで浸潤麻酔するとすべての反射性応答及び被験者の知覚する感覚は完全に消失した。

4. 電気刺激強度を一定にした場合の咬合力と反射性応答との関係を調べると、0 kg (安静時)ではいずれの反射性応答も認められなかったが、咬合力の増加に伴い ER の振幅は増大し、一方 SP の duration はいくぶん短縮傾向を示した。

5. open-close-clench 各相への電気刺激を行うと、ER は咬合相、閉口相で出現したが、開口相では認められなかった。

以上の結果から歯周組織への電気刺激で咬筋 EMG 中に出現する ER は歯根膜に存在する受容器から入力で発現し、その潜時から歯根膜受容器からの求心性線維のうち三叉神経中脳路核を介する単シナプスの経路で出現する「歯根膜一咬筋反射」であることが示唆された。この反射の閾値は感覚の発現閾値と一致し、開口反射よりも出現率が高いこと、更にこの反射の発現には back-ground に咬筋筋活動が必要であったことから、この反射は閉口時や咬合時に咬筋筋活動を反射的に増強し、食塊を歯間に保持するような咀嚼時の咬筋筋活動の調節や咬合力の調節の役割を行っていることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました、中村治郎教授、並びに本学生理学教室柳沢慧二教授に深甚なる感謝の意を表します。また本研究の遂行にあたり、御協力と御指導をいただきました生理学教室塩沢光一博士、並びに新井 高助教授、近内令一講師をはじめとする本教員各位に心から謝意を表します。

また本稿の御校閲を賜りました本学第1保存学教室河野 篤教授に心から謝意を表します。

文 献

- 1) 中村治郎：小歯周治療学，第2版，学建書院，東京，1985，3-11.
- 2) 堀口令一：歯周治療における咬合機能回復処置効果の筋電図学的研究. 鶴見歯学，6：117-144，1980.
- 3) Goldberg, L.J. : Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man. Brain Res., 32 : 369-381, 1971.
- 4) Jerge, C.R. : Organization and function of the trigeminal mesencephalic nucleus. J. Neurophysiol, 26 : 379-392, 1963.
- 5) Funakosi, M. and Amano, N. : Periodontal Jaw Muscle Reflexes in the Albino Rat. J. Dent. Res., 53 : 598-605, 1974.
- 6) Matthews, B. : Mastication, Edited by Lsvelle, C., Applied Phisiology of the Mouth, Wrigt, Bristol, 1975, 199-242.
- 7) Orchardson, R. and Sme, G. : Masseter muscle excitation evoked by mechanical stimulation of upper incisor teeth in relaxed human subjects. Archs Oral Biol., 26 : 491-494, 1981.
- 8) McGrath, P.A., Sharav, Y., Dubner, R. and Gracely, R.H. : Masseter inhibitory periods and electrical tooth pulp stimulation. Pain, 10 : 1-17, 1981.
- 9) 塩沢光一：オトガイ部 tapping 及び歯肉電気刺激でヒト咀嚼筋筋電図に出現する抑制相の発現機構. 鶴見歯学，9：267-286，1983.
- 10) Takata, M. and Kawamura, Y. : Studies on the postsynaptic potential of masseter motoneurons, Editor by Dubner R. and Kawamura, Y., Oral Facial Sensory and Motor Mechanisms, Appleton Century Crofts, New York, 1971, 349-363.
- 11) 塩沢光一，柳沢慧二，堀口令一，大場浩二，島峰達夫，新井 高，中村治郎：咬筋筋電図に出現した silent period の“SPの検出器”による処理. 鶴見歯学，9：419-427，1983.
- 12) Yemm, R. : The response of the masseter and temporal muscles following electrical stimulation of oral musous membrane in man. Archs Oral Biol., 17 : 23-33, 1972.
- 13) Sharav, Y., McGrath, P.A. and Dubner, R. : Masseter inhibitory periods and sensations in patients with oral-facial pain and mandibular dysfunction. Archs Oral Biol., 27 : 305-310, 1982.
- 14) Kidokoro, Y., Kubota, K., Shuto, S. and Sumino, R. : Possible interneurons responsible for reflex inhibition of motoneurons of jaw-closing muscles from the inferior dental nerve. J. Neurophysiol, 31 : 709-716, 1968.
- 15) Goldberg, L.J. and Nakamura, Y. : Lingual induced inhibition of masseteric motoneurons. Experientia, 24 : 371-373, 1968.
- 16) 坂田三弥：第7章，第2節，体性感覚，市岡正道，最新歯科生理学，第2版，医歯薬出版，東京，1981，185-217.
- 17) 坂田三弥：第3章，第2節，歯根膜，東京医科歯科大学顎口腔総合研究施設編，顎運動とそのメカニズム，日本歯科評論社，東京，1981，120-128.
- 18) Matthews, B., Baxter, J. and Watts, S. : Sensory and reflex responses to tooth pulp stimulation in man, Brin Res., 113 : 83-94, 1976.
- 19) Hannam, A.G., Siu, W. and Tom, J. : A comparison of monopolar and bipolar pulp-testing, J. Can. Dent. Ass., 40 : 124-128, 1974.
- 20) Kubo, Y., Enomoto, S. and Nakamura, Y. : Synaptic basis of orbital cortically induced rhythmical masticatory activity of trigeminal motoneurons in immobilized cats. Brian Res., 230 : 97-110, 1981.