

電気刺激により誘発されるヒトの顎反射

An Electromyographic Study of Human Jaw Reflexes
Elicited by Electrical Stimulation

山田好秋, 原口尚久*, 大井久美子**, 佐々木元賢*

Yoshiaki Yamada, Naohisa Haraguchi, Kumiko Oi, Motomasa Sasaki

長崎大学歯学部 口腔生理学講座, 口腔外科学第一講座, 口腔外科学第二講座**

Department of Physiology and Maxillofacial and Oral Surgery
School of Dentistry, Nagasaki University

1. はじめに

咬合力の調節は食物の粉碎を主目的とした咀嚼運動において重要な役割を持っている。この咬合力調節機構には末梢性入力、特に歯根膜や口腔粘膜からの入力が重要と考えられる。しかし、咀嚼時に口腔内に発生する刺激は電気刺激では再現しにくい様式の圧・触・味・等の刺激である。

そこでこれまで、歯を Reflex hammer で tap することで機械的刺激を加え、その際、閉口筋および開口筋に誘発される反射性応答を筋電図を用いて調べてきた。その結果、閉口筋及び開口筋に潜時の異なるいくつかの反射性応答が観察された。

これらの反射の出現様式が下顎の位置およびそれぞれの筋の活動状況により異なることから咀嚼運動の各位相で下顎反射の出現様式がどのように変化するかを知ることは咬合力調節機構を研究する上で重要と考えられる。しかし、この hammer による tap 刺激は刺激可能な部位が前歯部に限られる上に下顎運動の各位相に正確に同期させることは困難である。

今回、刺激電極の数およびその位置を選ぶことにより、機械刺激で誘発された反射応答と類似した開口性応答を電気刺激で誘発することを試みた。

2. 方法

実験には健康な男子学生 7 名を選び、実験内容をよく説明してから行った。

顎反射の観察は筋電図で行った。両側咬筋および右側顎二腹筋前腹より表面筋電図を銀製皿電極にて双極性に導出し記録した。下顎運動時には表面電極、特に顎二腹筋に設置した電極が動きによるアーチファクトの影響を受け易いので、運動時にはワイヤー電極（ユニークメディカル製 UNW 300）を顎二腹筋に使用した。

下顎の運動は磁気抵抗素子（ソニー製 DM 209 5 x 5 x 2 mm）と小型のマグネット（日立金属製サマリウム磁石 $\phi 3 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ ）をそれぞれ上下顎の中切歯唇面に瞬間接着材で接着し、垂直方向の運動成分のみを記録した。このとき磁力と距離の間にある非直線性はそのままでも研究の目的には十分であるため特に補正しなかった。

刺激は上下顎の犬歯部歯肉に双極性に設置した銀線の電極を通じて 2 台の定電流回路にてパルス状に 2 発ずつ（0.2 ms duration, 0.4 ms interval）与えた。刺激強度は通常、閾値の 2 ~ 4 倍でいずれも疼みを誘発する強度ではなかった。閾値は被験者が安静時に知覚できる最小の電流値として測定され、その値は 0.4 ~ 0.8 mA であった。

下顎運動時、および開口筋・閉口筋の等尺性収縮時の刺激効果をそれぞれ調べるため、刺激はそれぞれ以下の条件の時与えた。

- 1) 中心咬合位でのかみしめ時（咬合相）
- 2) 下顎開口運動時（開口相）
- 3) 開口筋の等尺性収縮時（持続的開口相）
- 4) 下顎閉口運動時（閉口相）

閉口相、および開口相の刺激は被験者が約 1 H の周期で open-close-clench movement を行っている際に上下の切歯間距離が約 5 mm になる点を磁気システムにより測定しこの出力で電気刺激装置（日本光電製 SEN-7103）を駆動することでそれぞれの運動方向に同期して与えられた。

解析は、マイクロコンピュータを応用した解析システムにて刺激後 50 ms または 100 ms の区間を 10 波形サンプリングした後、全波整流および加算平均処理し、その結果は最大値を基準として規格化され移動平均によりスムージング処理を施され、X-Y プロットに記録された。またこの時記録された 10 回の原波形を X-Y プロットにて重ね書きした。潜時の計測は主に加算平均処理した結果より行った。

加算平均処理に際しては刺激時点より一定時間（サンプル点数にて 5 点）のデータを加算処理の対象から除くことより規格化処理へのアーチファクトの混入を低減した。

3. 結果

1) かみしめ時（図 1）

かみしめにより咬筋に等尺性収縮を継続させた時の電気刺激の効果は主に閉口筋である咬筋（上段・実線、下段 M）に観察された。刺激後、約 9 ms の潜時で一過性の同期した筋活動の増大が観察された。この応答は、Goldberg らの報告した periodontal-masseteric reflex と考えられる。これに続いていわゆる silent-period が観察された。開口筋である顎二腹筋（上段破

線）には約 25 ms の潜時で一過性の活動が観察されることもあったが原波形の上で確認できるような明瞭な応答は誘発されなかった。

2) 開口相

中心咬合位より開口を開始し切歯間距離が約 5 mm の時点で電気刺激を与えた。顎二腹筋電図導出に際し、表面電極では動きによるアーチファクトが大きくなるためワイヤー電極を用いて導出した。

その結果、開口相での電気刺激は咬筋および顎二腹筋のどちらにも反射性応答を誘発しなかった。刺激が中心咬合位より約 5 mm 開口位で与えられたため咬筋だけでなく顎二腹筋にもあまり活動がなく、反射活動の出現しにくい相とも考えられる。

3) 持続的開口相（図 2）

オトガイ部に母指を置き、開口筋に等尺性収縮を継続させた時には口腔内の電気刺激は顎二腹筋（上段破線）に約 20 ms の潜時の一過性の応答を誘発した。潜時の短いものでも 12 ms で

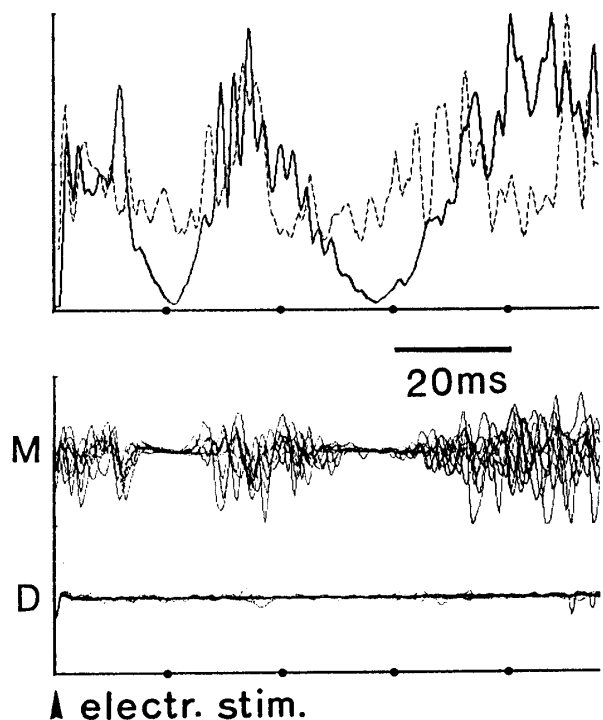


図 1. かみしめ時の電氣的刺激の効果

そのほとんどが 15 ms 以上の潜時をもっていた。また誘発された筋電図は機械的刺激により誘発される応答と比較して同期性が著しく低かった。この応答は歯を tap 刺激した時観察される応答のうち潜時の長い応答に相当すると考えられる。このとき咬筋（上段実線）には何の応答も観察されなかった。下段には原波形のかさね書きを示しており、顎二腹筋（D）は原波形でも明確な応答を示している。

この開口性反射応答は刺激強度が感覚閾値の 2～3 倍の時に最も効果的に誘発され、疼みを感じ始める程度の強い刺激ではほとんど誘発されなかった。また上顎または下顎のどちらか一方への刺激ではほとんど誘発されなかった。

4) 閉口相（図 3）

下顎が口唇を開いて楽に開口できる位置より中心咬合位まで閉口する間の電気刺激の効果調べた。電気刺激は開口相の時と同様に中心咬合位より 5 mm 開口した位置で与えられた。また動きによるアーチファクトを避けるため顎二腹筋筋電図はワイヤー電極にて導出した。

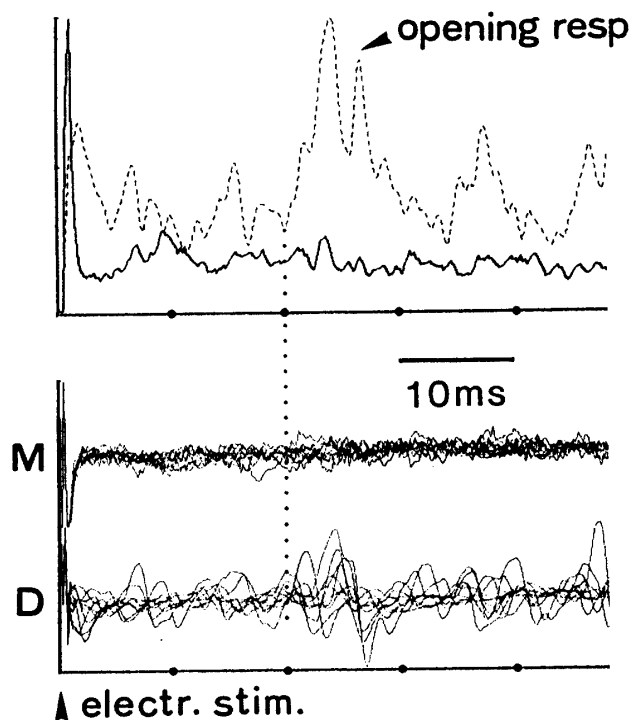


図 2. 開口筋等尺性収縮時の電気刺激の効果

上下の歯列に何もかむものがない場合には咬筋に活動がないためか、何の応答も観察されなかった。しかし、やわらかいゴムをかむことで咬筋活動を少し増加させると、かみしめ時ほど明確ではないが咬筋（実線）に silent-period（図中 SP）が観察された。このとき下顎の運動（破線）は刺激より 35-45 ms の時点で一過性に速度に減少を示した。この時、顎二腹筋にはこの運動速度の減少の原因となるような反射活動は特に観察されなかった。また、刺激は主に感覚閾値の 3～4 倍であり、安静時にはかなり強く感じられる時もあるが、下顎運動時には閾値の上昇があるため、疼痛を生ずる強度よりかなり小さなものであった。

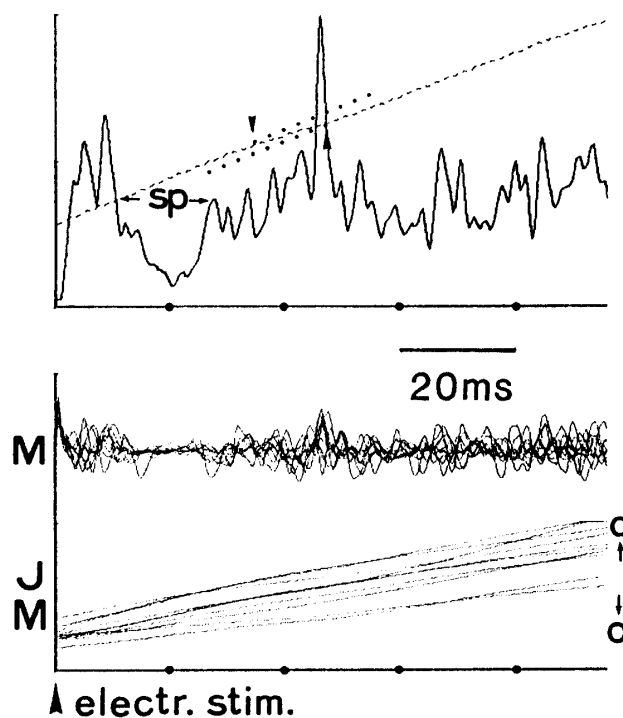


図 3. 閉口相の電気刺激の効果

右側咬筋および下顎の垂直方向の運動（上段・破線、下段 JM）。

加算処理に際し、下顎運動は全波整流処理を施していない。下顎運動は上方（c）が閉口方向、下方（o）が開口方向を示す。下顎運動は小さな三角形の矢印で示す点（約 35～45 msec の間）で速度の減少が観察される。参考のため速度に変化のない場合予想される運動軌跡をドットで示してある。

4. まとめ

今回、これまでの機械刺激による実験の成果を応用することで電気刺激により開口性の反射応答を誘発できた。しかし、その誘発条件はかなり限定されたものである。そこで比較のため図5に機械的刺激で誘発される開口性反射応答の例を示す。刺激は上下顎の切歯のラバースタンプをハンマーで tap することで、上下の歯に同時に加えられている。咬筋活動（上段実線・下段M）に j で示す jerk-reflex が誘発され、同時に顎二腹筋活動（上段破線・下段D）に e 及び l で示す明確な開口性の反射応答が誘発される。

開口筋に等尺性収縮を持続させた時に顎二腹筋に誘発された反射性応答はその潜時から図5に示す tap 刺激による応答のうち長い潜時のものに類似している。これまでの研究から刺激強度が小さい時には潜時の短い応答が誘発され、刺激が強くなるに従い、この短い潜時の応答は減少し反対に長い潜時の応答が誘発され易くなることが明らかになっている。したがって、ここで用いた電気刺激は感覚閾値の2～3倍と疼痛を生ずる強さよりかなり小さいが、まだ機械刺激を完全に模倣できるものではない。このことは電気刺激で誘発される応答が機械刺激で誘発された応答のように同期していないことから示唆される。

電気刺激は上顎または下顎の一方にのみ与えた場合と比較して、上下顎同時に与えた場合にその反射効果が著しく増大することから、電気刺激の空間的加重効果が機械刺激としての刺激効果の方により強調されることが予想される。今回は実験設備の制約から上下顎にそれぞれ各1点づつしか刺激できなかったが、今後、刺激の部位をさらに多くすること、そして各々の刺激電極への通電電流を小さくすることで電気刺激でも咬合により生ずる歯根膜や口腔粘膜の機械刺激をある程度模倣することが可能となろう。

下顎運動中の電気刺激の効果は閉口相における運動速度の減少として観察されたが開口筋には特に速度の減少の原因となるような反射応答は観察されなかった。したがってこの運動の速度の減少はこれに数十ms先行している閉口筋活動の抑制が原因と考えられる。

Olssonら（1986）は低閾値の機械的刺激受容器からの入力咀嚼時に抑制されることを報告している。彼らの報告は我々の実験中電気刺激の効果が開口相にはほとんど何の効果も示さなかった事実と一致している。しかし、刺激の行われた開口量5 mmの時点は顎二腹筋にとっては開口相とはいえかなり活動の低下した時点とも考えられ、この基本的な活動性の低下が反射効果を減少させているとも考えられる。この点についてはさらに研究を進める必要があろう。

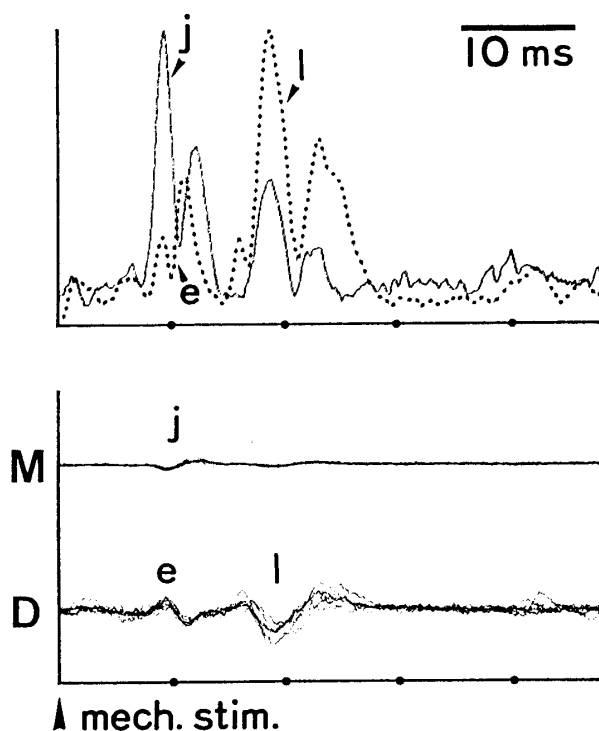


図4. 機械的刺激により誘発された顎反射

- 1) Yamada, et al., Archs oral Biol. vol. 30, 197-200, 1985
- 2) Clark & Goldberg, Archs oral Biol. vol. 28, 1055-1058, 1983
- 3) Yamada, et al., J.P.D. vol. 54, 436-438, 1985
- 4) Olsson, et al., J. Neurophysiol. vol. 55, 56-74, 1986