

顎関節刺激による二種の開口反射応答に関する研究

稲井 哲 司

東北大学歯学部歯科補綴学第二講座（指導：鹿沼晶夫教授，渡辺 誠助教授）

〔受付：昭和61年7月23日〕

Physiological studies on two different responses of the jaw opening reflex of the temporomandibular joint in cats

Tetsuji Inai

*Second Department of Prosthetic Dentistry,
Tohoku University School of Dentistry
4-1, Seiryō-cho, Sendai, 980*

(Director : Prof. Akio Kanuma, Assoc. Prof. Makoto Watanabe)

[Accepted for publication : July 23, 1986]

Key words : Mechanoreceptor / nociceptor / jaw opening reflex / temporomandibular joint / cat

Abstract : Two different jaw opening responses elicited by a single stimulation of the temporomandibular joint (TMJ) were recorded from the myohyoid nerve in α -chloralose-anesthetized cats. One featured an early response (ER, 5-8 msec latency) and the other a late response (LR, 18-20 msec latency). The LR which was suppressed slowly by application of 2% Xylocaine to the TMJ was elicited by a lower stimulus intensity than that of ER. Mechanical stimulation of the TMJ was more effective for producing an LR than an ER. These results indicate that an LR originates from mechanoreceptors of TMJ having thick afferent fibers, and that an ER originates from nociceptors with thin afferent fibers. The LR amplitude produced by a test stimulus to the TMJ was suppressed by the conditioning stimulus to the TMJ. Similar results were obtained when the same test was applied to the periodontal ligament. When a conditioning stimulus was applied to the TMJ while a test stimulus was applied to the periodontal ligament and then reversed, the inhibitory effects elicited from both regions were smaller than when the conditioning and test stimulation were applied to a single site. The LR elicited by the movement of the jaw changed with the change in the position of condyle and the velocity of the movement. These results indicate that mechanoreceptors in the TMJ were specialized in their distribution, and the density of mechanoreceptors in comparison with that of nociceptors in the TMJ is greater than that in the periodontal ligament and oral mucosa.

緒 言

咀嚼筋活動は、口腔領域の種々の感覚受容器からの神経情報により調節されている¹⁾。これらの調節機構の一つに、三叉神経第二枝、第三枝の支配領域の感覚受容器の興奮により、開口筋が収縮する開口反射応答がある。この反射は、四肢にお

ける屈曲反射に相当し、歯髄刺激により容易に誘発されることから侵害受容性反射と考えられてきた²⁻⁷⁾。しかし、下歯槽神経に含まれる低閾値の神経線維の興奮がこの応答を誘発することから、開口反射は侵害受容性反射以外の機能をも有すると考えられている⁸⁻¹²⁾。

Kellar ら¹³⁾ は、クロラロース麻酔のネコを用いて眼窩下神経刺激を行ない、歯槽刺激によるも

のとは異なる二峰性の開口反射応答を報告した。

また、宗形¹⁴⁾、Watanabe ら¹⁵⁾ はクロラロースで麻酔し、ガラミンで非動化したネコの歯根膜を刺激し、顎舌骨筋神経から二種の開口反射応答を記録した。このなかで潜時の短い応答は、歯根膜内の痛覚受容器の興奮により誘発される侵害受容性反射であり、一方潜時の長い応答は、触・圧覚受容器の興奮による反射応答であると報告した。また、佐々木¹⁶⁾ は、歯肉・口蓋などの口腔粘膜刺激によって二種の開口反射応答を記録し、それらが歯根膜刺激で観察された二種の応答と同一の性質をもつことを報告した。さらにヒトにおいても、Watanabe ら¹⁷⁾、佐々木ら¹⁸⁾ は、歯牙の叩打によって二種の開口反射応答を記録し、それらがネコで観察された二種の応答と同一の性質をもつことを報告した。

これらから、歯根膜・口腔粘膜刺激による開口反射応答には、防御反射としての機能をもつ短潜時の応答と、触・圧覚などの非侵害性刺激により誘発される長潜時の応答が存在することが明らかにされている。

一方、歯根膜・口腔粘膜だけでなく口顎構造の中で顎運動にきわめて重要な役割を果たしている顎関節についても、関節包からの感覚情報が当然咀嚼筋活動に巧みな制御的役割を果たしていることが考えられる。しかし、この点についての詳細は、今日なお充分に明らかにされていない。

Kawamura ら¹⁹⁾ は、顎関節包刺激により三叉神経知覚核から速順応および遅順応性放電を観察した。また、Greenfield and Wyke²⁰⁾、Shwaluk²¹⁾ は咀嚼筋活動が、Kawamura ら²²⁾ は咀嚼筋支配の三叉神経運動核細胞の活動が顎関節部刺激によりそれぞれ影響されることを報告した。また、Klineberg ら^{23,24)}、阿部²⁵⁾ は、ネコ顎関節の一次求心性神経線維から速順応性放電および遅順応性放電を記録した。

しかし、顎関節刺激による開口反射応答に関しては、いまだその発現機構およびその機能的役割について十分な報告はされていない。そこで本研究は、顎関節刺激によって誘発される開口反射応答、およびその性質と、歯根膜・口腔粘膜刺激による二種の応答とを比較検討する。さらに、この

応答の機能的役割、および顎関節における感覚受容器の特徴を明らかにすることを目的としている。

実験方法

実験には、2.5~4.0kg の雌雄成熟ネコを用いた。エーテル麻酔下で気管カニューレおよび前肢の正中静脈に静脈カテーテルを挿入固定し、その後、 α -クロラロース (40mg/kg) にて麻酔し、自作の固定装置を用いて背位に固定した。またネコを循環式保温パッド (AHS Co. Model 120) に包み、体温を38°C に保持して、心電図の監視下に置いた。

開口筋を支配する顎舌骨筋神経の誘発電位の導出は、ネコをパンクロニウム (2 mg/kg) で非動化し人工呼吸下で行なった。実験中、 α -クロラロース 2 mg/kg/h、パンクロニウム 4 mg/kg/h を持続注入器 (ATTO SJ-1215型) を用いて静脈に持続注入し、ネコの麻酔深度を一定に保った。また、側頭下顎部の皮膚を切開し、咬筋浅層および深層を切除して顎関節を露出した。

1. 顎関節刺激

1) 電気刺激

刺激電極は、極間 2 mm の双極電極で直径 0.2 mm のステンレス鍼灸針 (アサヒ技研, No. 5) である。この電極をホルムバールで被覆絶縁し、その先端は 0.5 mm 露出している。この自作の双極電極を手動マニピュレーターに装着し、顎関節包を電気刺激するため、顎関節包にこれを刺入固

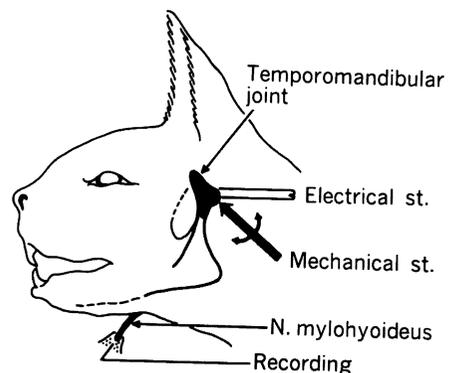


Fig. 1 Schematic illustration of the experimental arrangement.

定した。

刺激装置は、日本光電社製、SEN 6100型で、電気刺激波形は、持続時間1 msec、定電流の単極性矩形波である。刺激強度は任意に変化させた。

2) 機械刺激

機械刺激では、顎関節における下顎頭の回転により咀嚼筋や周囲組織を刺激することなく、顎関節包に存在する感覚受容器を興奮させるよう操作することが必要である。このため、内側翼突筋および外側翼突筋の一部、外側耳珠筋（下顎骨関節突起より起こり耳甲介に停止する筋）を切除した。さらに、下顎頭を下顎頸部で切断・遊離した。

このように分離した下顎頭を他動的に回転して機械刺激を行なった。この際、顎関節頭の長軸と刺激装置の回転軸を一致するように調節した。刺激装置はガルバノメーターを応用した自作のもので、機械刺激の駆動波形は、ファンクション・ジェネレーター（菊水電器、458A）から得られる単極性正弦波および立ち上がり速度可変の三角波を利用した。刺激強度は、パワーアンプ（EMIC、381-A）の出力によって調節し、その強度を刺激装置に組み込んだポテンシオメーター（緑測器社製、CPP-35）の出力として陰極線オシロスコープ（日本光電、VC-9）上でモニターした。

2. 活動電位の記録方法

開口筋を支配する顎舌骨筋神経の活動電位を記録するため、顎二腹筋前腹および顎舌骨筋を下顎骨付着部より剝離し、顎舌骨筋神経を分離・切断した。その中枢端からガラス吸引電極²⁶⁾にて開口反射応答が導出された。また、不関電極は耳介に装着した。

導出した活動電位は、前置増幅器を介して陰極線オシロスコープで観察され、これをデータ・レコーダー（ソニー、FE30A）に記録した。さらに電位の大きさ、潜時の測定にあたっては医用データ処理装置（三栄測器、7 T08）を用いて平均計算した。

結 果

1. 顎関節刺激による二種の開口反射応答

顎関節の電気刺激によって開口筋を支配する顎

舌骨筋神経から、潜時5～8 msecの応答（Early Response：ER）と潜時18～20 msecの応答（Late Response：LR）とからなる二峰性の反射性誘発電位が導出された（Fig. 2A）。

一方、歯根膜や口腔粘膜刺激によっても潜時の異なる二種の開口反射応答が観察され、この二種の応答はそれぞれ、主に侵害性痛覚受容器、非侵害性の触・圧覚受容器によって誘発されることが明らかにされている¹⁴⁻¹⁸⁾。また顎関節には、痛覚受容器、機械受容器などの受容器が存在することが報告されている^{19-25, 27-29, 37-39)}。そこで、顎関節刺激によって誘発される二峰性の開口反射応答と、歯根膜や口腔粘膜刺激により誘発される二種の開口反射応答との性質を比較検討した。

1) 顎関節刺激による二種の開口反射応答の性質

i) 刺激強度と応答の関係

Fig. 2 に示すように、刺激強度の小さい場合には長潜時のLRのみが観察されたが、刺激強度を上げると短潜時のERが発現し、二峰性の活動電位が導出された。刺激強度をさらに上げると、LRは刺激強度2.75mAで最大の応答を示し、その後次第に減少した。一方ERは、刺激強度の増大とともにその応答は増大した。

ii) 二種の応答の局所麻酔剤による影響

顎関節部の感覚受容器には、痛覚受容器の他に機械受容器の存在が報告されている^{19-25, 27-29, 37-39)}。これらの感覚受容器のうち、いずれがERを誘発しいずれがLRの誘発に重要な役割を果たしているかを明らかにするため、二種の応答の局所麻酔剤による影響を検索した。

顎関節をLRの閾値の1.5倍の刺激強度で電気刺激し、刺激部位周囲の2% Xylocaine 0.2ml 麻酔が、二種の開口反射応答に及ぼす影響を経時的に観察した（Fig. 3）。ERは速やかに減少し、5分後に消失した。一方LRは麻酔による影響が遅く、6分後からようやく減少が認められ、10分後に消失した。

以上の結果は、顎関節刺激によるERは麻酔に対して影響をうけやすい細い求心性線維を持つ感覚受容器の興奮により誘発されることを示唆している。一方LRは閾値がERよりも小さく麻酔に

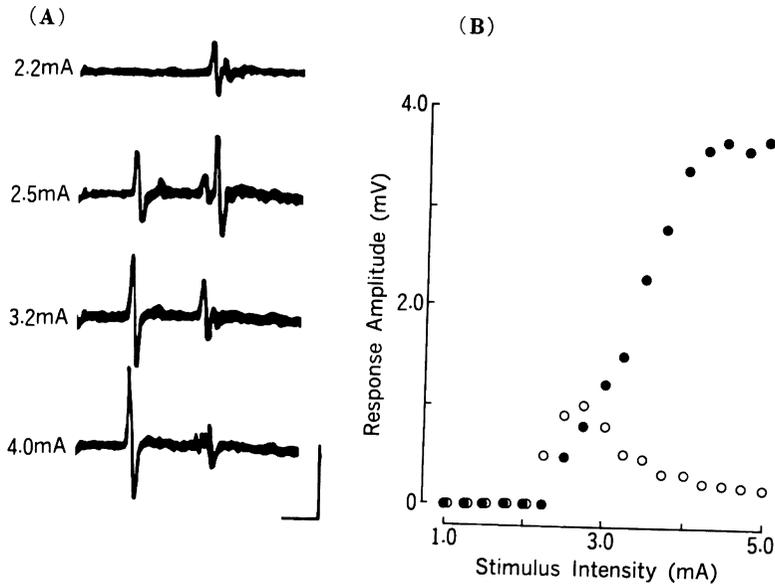


Fig. 2 Jaw opening reflex elicited by the electrical stimulation (1 msec duration) of the temporomandibular joint.

A : Actual jaw opening reflex recorded from the mylohyoid nerve. The accompanying variables indicate stimulus intensities (mA). The horizontal and vertical calibration bars represent 5 msec and 0.4 mV.

B : Intensity-amplitude relation of the compound action potentials of the jaw opening reflex averaged 10 times (filled circle : ER, open circle : LR).

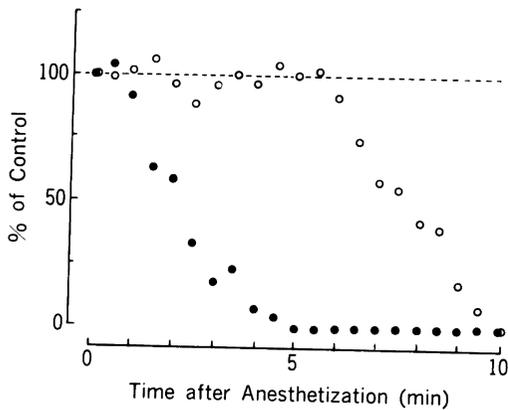


Fig. 3 Effects of 2% Xylocaine applied to the temporomandibular joint on the jaw opening reflex elicited by the stimulation of the temporomandibular joint.

Abscissa: Time after application of 2% Xylocaine.

Ordinate: Relative amplitude of the ER (filled circle) and the LR (open circle).

よる効果も遅いことから、太い求心性線維をもつ感覚受容器により誘発されることを示している。

iii) 二種の応答の頻回刺激に対する追従性

顎関節刺激による ER および LR の応答の反射経路の相違を検索するため、頻回刺激に対する各応答の追従性を比較検討した。

Fig. 4 に示すように、顎関節刺激により誘発される ER, LR の頻回刺激に対する追従性は、それぞれ約20Hz, 5~8 Hz であった。この結果より、LR は ER に比べより多くのシナプスを介して発現し、各応答の反射経路は異なっていることが示唆される。

iv) 二種の応答の全身麻酔剤による影響

さらに ER と LR の神経機構の相違を検索するため、全身麻酔剤の影響から二種の応答の性質を検討した。使用した麻酔剤はエーテルである。

Fig. 5 に示すように、エーテルの吸入麻酔により麻酔後約30秒後に LR は完全に消失し、一方 ER は麻酔後約120秒後で完全に消失した。このように LR はエーテルによって速やかに影響を受けるが、ER はその時間的経過が LR よりも遅いことが明らかになった。

以上の結果より明らかとされた顎関節刺激によ

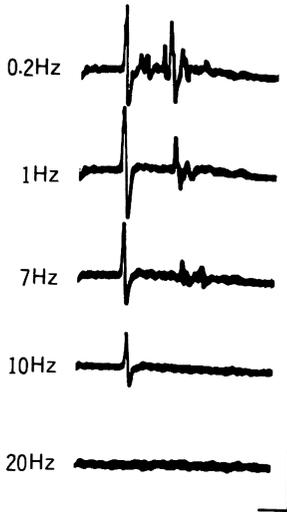


Fig. 4 Jaw opening reflex elicited by the repetitive stimulation of the temporomandibular joint. The accompanying variables indicate frequencies of repetitive stimuli (Hz). The horizontal and vertical calibration bars represent 5 msec and 0.4 mV.

り誘発される二種の 開口反射応答の性質を、歯根膜・口腔粘膜刺激による二種の反応と比較検討してみた。

顎関節刺激によるそれぞれの応答の潜時は、ER が 5 ~ 8 msec, LR が 18 ~ 20 msec で歯根膜・口腔粘膜刺激による二種の 応答の潜時とほぼ一致した^{14,16)}。ER は刺激が強くなるにしたがい振幅が増大するが、LR は ER より閾値が低く、強い刺激では ER により抑制を受けその応答は減少した。この刺激強度と応答の関係もまた歯根膜・口腔粘膜刺激による二種の 応答の場合と全く一致していた^{14,16)}。

下顎の歯根膜と口腔粘膜の求心性神経である下歯槽神経に 2% Xylocaine で局所麻酔を行なうと、歯根膜刺激により誘発された短潜時の応答が長潜時の応答に比べ抑制を受けやすい¹⁴⁾。本実験の結果でも、顎関節に 2% Xylocaine で局所麻酔することにより ER が LR に比べ速やかに影響を受ける。このことは ER と LR が、顎関節内の性質の異なる感覚受容器により誘発されることを示唆している。局所麻酔剤を神経束のまわりに注射すると細い線維が太いものより先に伝導遮断

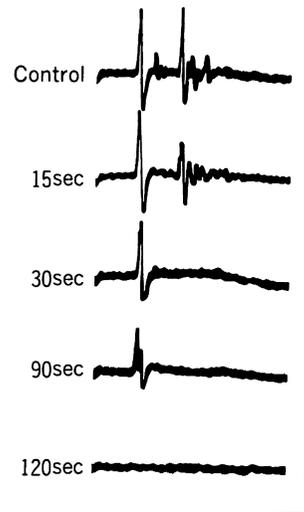


Fig. 5 Effects of Ether sodium on the jaw opening reflex. Top trace indicates the control responses before anesthetization. The accompanying variables, from above down, indicate the time after Ether sodium application. The horizontal and vertical calibration bars represent 5 msec and 0.4 mV.

される³⁰⁾ことから、ER 発現に関与する顎関節内の求心性神経は、LR のそれに比べ細い神経であると考えられる。

顎関節刺激により誘発される ER, LR の頻回刺激に対する追従性は、それぞれ約 20 Hz, 5 ~ 8 Hz であった。これは二種の応答の反射経路の相違を示唆し、これらの値は歯根膜・口腔粘膜刺激による二種の応答の値とほぼ一致していた^{14,16)}。また、上行性網様体賦活系を抑制すると言われていたエーテルの全身麻酔³¹⁾により、LR が ER より早く消失し、二種の 応答が異なる影響を受けた。これは LR が ER に比べより上位中枢を経由する応答であることを示唆し、その結果は歯根膜・口腔粘膜刺激による二種の 応答の結果と一致していた^{14,16)}。

以上の結果より、顎関節刺激により誘発される二種の開口反射応答は、歯根膜・口腔粘膜刺激による二種の応答と同一の性質を有した。さらに、二種の応答中の ER は痛覚受容器の興奮により発現し、LR は機械受容器の興奮により発現する応答であることを示している。

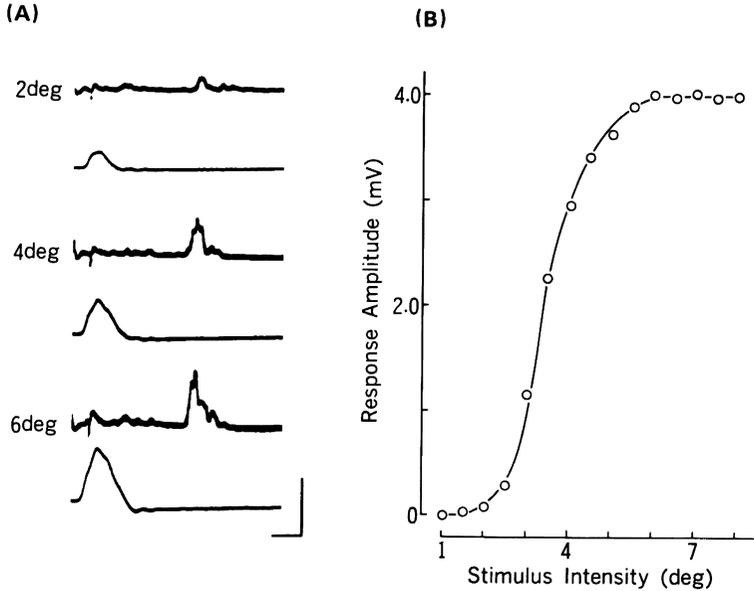


Fig. 6 Jaw opening reflex elicited by the mechanical stimulation of the temporomandibular joint.

A: Acutal jaw opening reflex recorded from the mylohyoid nerve. The accompanying variables indicate angle of condylar rotation (deg). The horizontal and vertical calibration bars represent 5 msec and 0.4 mV.

B: Relationship between the angle of condylar rotation (stimulus intensity) and the LR amplitude of the jaw opening reflex.

2) 顎関節の機械刺激による開口反射応答

顎関節の電気刺激による実験から、ERは痛覚受容器、LRは機械受容器によって発現することが示された。そこでこれをより明確にするため、ガルバノメーターを利用した刺激装置により下顎頭を他動的に回転して機械刺激を行ない、開口反射応答の詳細を観察した。機械刺激は機械受容器にとって適刺激であり、これを選択的に興奮させ得る³²⁾。

Fig. 6Aに示すように、顎関節を機械刺激すると、潜時18~20msecのLRのみの開口反射応答が優性に発現した。LRは、刺激強度2deg以下の弱い刺激から誘発され、その応答は徐々に増大し、閾値の約4倍の刺激強度で最大応答を示した(Fig. 6B)。一方、ERは実験に供したいかなる刺激強度でも観察されなかった。

そこで、応答の大きさについて、機械刺激と電気刺激の両者を比較すると、機械刺激によるLRの最大応答は、電気刺激のその約4倍の大きさ

で観察された。また電気刺激によるERの閾値は、LRの1.2倍であった。一方、機械刺激の実験では、LRの閾値の6倍の刺激強度で顎関節を刺激しても、その刺激強度はERの閾値に到達し得なかった。この実験結果は、電気刺激に比べ顎関節の機械刺激ではLRがより誘発されやすいことを示している。

これらの異なった刺激によるER、LRの応答の相違は、刺激に対する感覚受容器の興奮性の相違によるものと考えられ、LRは機械刺激によって容易に興奮する機械受容器によって発現する応答であり、一方ERは侵害刺激を受容する痛覚受容器によって発現する応答であるとする考えを支持している。

2. 顎関節機械刺激により誘発されるLRの性質

顎関節の機械刺激により誘発されるLRは、機械受容器によって発現する応答であることが明らかとなった。そこで、下顎頭の回転角度、回転角

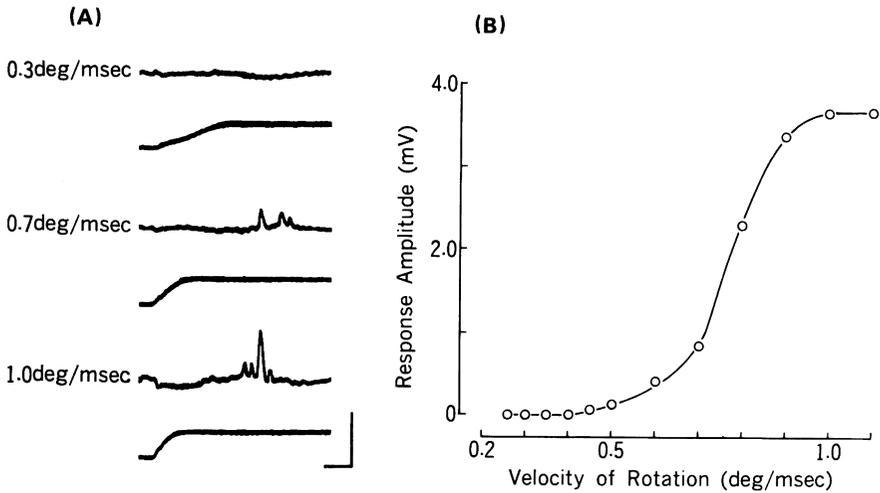


Fig. 7 Effects of velocity of condylar rotation on the jaw opening reflex.
 A: Actual jaw opening reflex recorded from the mylohyoid nerve. The accompanying variables indicate velocity of condylar rotation (deg/msec). The horizontal and vertical calibration bars represent 5 msec and 0.4 mV.
 B: Relationship between the velocity of condylar rotation and the LR amplitude of the jaw opening reflex.

速度，回転方向，開口度を変化させることにより，これらの各種の刺激に対する LR の応答性を比較検討し，顎関節機械受容器の生理学的特徴を調べた。

1) 下顎頭の回転角度による影響

前述の結果に示したように，下顎頭の回転角度 (deg) と LR の大きさとの関係を Fig. 6B に示す。LR は回転角度 1.5deg の時発現し，さらに回転角度の増大に伴い応答は増大し，回転角度 6 deg の時最大の応答を示した。これは，顎関節の機械刺激により誘発される LR の応答性が，下顎頭の回転角度に依存することを示している。

2) 下顎頭の回転角速度による影響

Fig. 7A は，下顎頭の回転角度を一定 (4 deg) に保ち，回転角速度を変化させた実験結果で，おのおの回転角速度 0.3deg/msec, 0.7deg/msec および 1.0deg/msec の結果を示している。

さらに，下顎頭の回転角速度と LR の大きさとの関係を示したのが Fig. 7B である。0.4deg/msec 以下の回転角速度では LR は誘発されず，0.45 deg/msec になってはじめて LR が出現した。さらに回転角速度を上げると，LR は徐々に増大し，角速度が 0.7~0.9deg/msec では LR の

著しい増大が観察された。回転角速度が 1.0deg/msec で LR は最大となった。

以上の結果は，顎関節の機械刺激により誘発される LR の応答性が，下顎頭の回転角速度に依存することを示している。

3) 下顎頭の回転方向と開口度による影響

次に下顎頭の回転方向と開口度の違いによる LR の応答性の相違を検討した。下顎頭の回転方向は，下顎頭間軸とほぼ一致と思われる下顎頭の長軸を回転軸とした開口方向，閉口方向の二方向に規定した。ここで開口度は，あらかじめ上下顎を中心咬合位で接触させ，この時の下顎頭の位置を開口度 0 deg とした。

Fig. 8A は，下顎頭の回転角度と回転角速度を一定 (6 deg, 1.5deg/msec) に保ち，回転方向と開口度を変化させた実験結果を示す。おのおの開口度 0 deg, 20deg, 40deg での開口方向および閉口方向への回転刺激に対する LR が示されている。

この実験から，開口方向，閉口方向のそれぞれの刺激による，開口度と LR の大きさとの関係をグラフにしたのが Fig. 8B である。開口度 0 deg (閉口位) では，開口方向への刺激により誘発される LR は，閉口方向への刺激によって誘発される

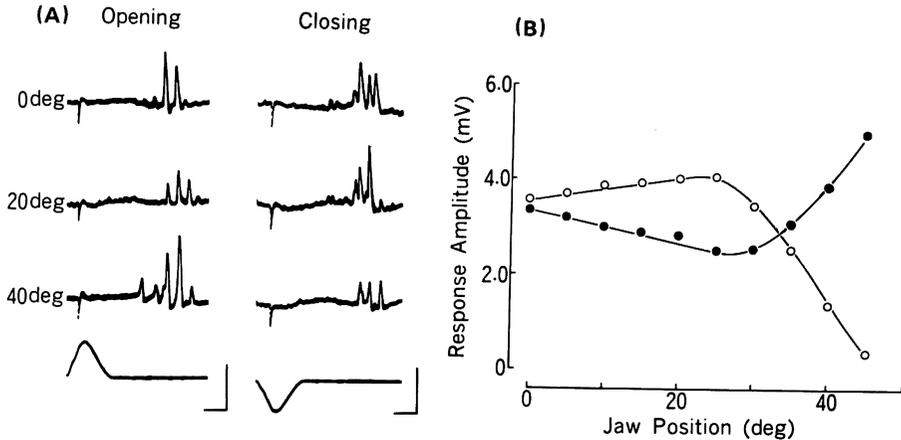


Fig. 8 Effects of direction of condylar rotation and jaw position on the jaw opening reflex.

A: Actual jaw opening reflex elicited by the mechanical stimulation of the temporomandibular joint toward opening direction (opening) and closing direction (closing). The accompanying variables indicate jaw position (deg). The horizontal and vertical calibration bars represent 5 msec and 0.4 mV.

B: Relationship between the jaw position and the LR amplitude of the jaw opening reflex.

その応答とほぼ同等の大きさを示した。開口方向への刺激に対して、LR は開口度が 0 deg から 25 deg へと増加するに伴い減少し、開口度 25 deg 以上では増加した。一方閉口方向への刺激に対しては、LR は 0 deg から 25 deg へと開口度が増加するに伴い増加し、開口度 25 deg 以上では減少した。開口度 25 deg 付近では、開口方向の刺激による LR は最小の応答を示し、閉口方向の刺激による LR は最大の応答を示した。一方、開口度 45 deg (最大開口位) では、開口方向の刺激による LR は最大の応答となり、閉口方向の刺激による LR は最小の応答を示した。

以上の結果は、顎関節の機械刺激により誘発される LR の応答性が、開口方向と閉口方向とでは相反していることを示している。

3. 顎関節刺激による開口反射と歯根膜刺激による開口反射との相互作用

1) 顎関節刺激により誘発される ER の機能的性質

歯根膜刺激によって誘発される開口反射応答のうち ER (PER) のみ発現する刺激強度で歯根膜を条件刺激した。この時、条件刺激が、顎関節の試験刺激により発現する LR (JLR) に及ぼす影

響を、条件一試験刺激間隔を変化させて観察した (Fig. 9A)。JLR は、条件一試験刺激間隔が 700 msec 以下で抑制をうけ、400 msec 以下では完全に抑制された。一方、歯根膜刺激を同様に条件刺激とし、条件刺激が、歯根膜の試験刺激により発現する LR (PLR) に及ぼす影響を観察した (Fig. 9B)。PLR は、700 msec 以下で抑制をうけ、400 msec 以下では完全に抑制された。以上より、PER が JLR に及ぼす影響と、PER が PLR に及ぼす影響との間には相違が認められない。

また、JLR のみ発現する刺激強度で顎関節を条件刺激した。この時、条件刺激が、歯根膜の試験刺激により発現する PER に及ぼす影響を観察した (Fig. 9C)。さらに、PLR のみ発現する刺激強度で歯根膜を条件刺激した時、条件刺激が、PER に及ぼす影響を観察した (Fig. 9D)。両者とも条件一試験刺激間隔が約 150 msec で若干の抑制が認められた。以上より、JLR が PER に及ぼす影響と、PLR が PER に及ぼす影響との間には相違が認められない。

これらの結果より、ER と LR の相互作用については、顎関節刺激により誘発される開口反射応答と歯根膜刺激によるそれとの間に何らの相違も

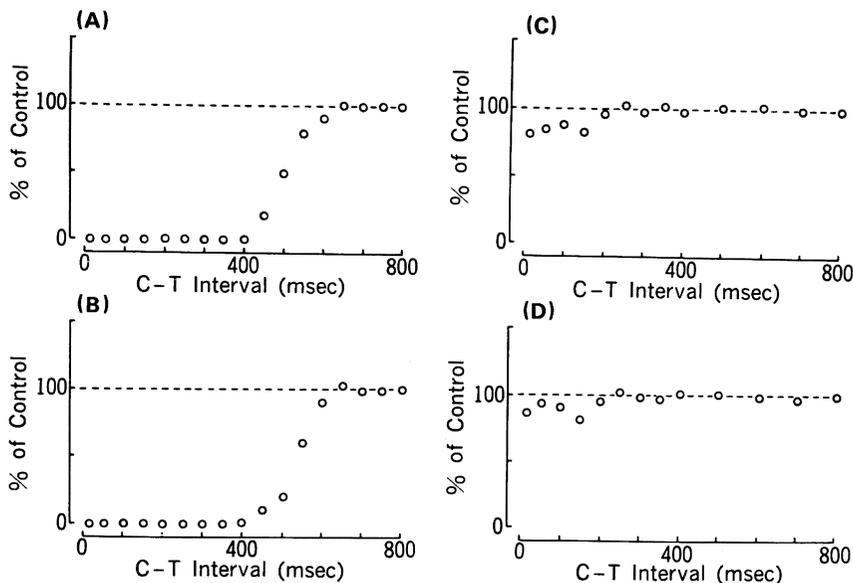


Fig. 9 Effects of the conditioning stimulus on the jaw opening reflex elicited by the test stimulus for ER and LR.

A: Effects of the conditioning stimulus which produces the ER at the periodontal ligament on the LR of the temporomandibular joint.

B: Effects of the conditioning stimulus which produces the ER at the periodontal ligament on the LR of the periodontal ligament.

C: Effects of the conditioning stimulus which produces the LR at the temporomandibular joint on the ER of the periodontal ligament.

D: Effects of the conditioning stimulus which produces the LR at the periodontal ligament on the ER of the periodontal ligament.

観察されなかった。これは、侵害受容性反射である ER と、機能的反射である LR が、口腔領域のあらゆる器官での相互作用において同一の生理学的性質を有していることを示している。

2) 顎関節刺激により誘発される LR の機能的性質

JLR のみ発現する刺激強度で顎関節を条件刺激した。この時、条件刺激が、顎関節の試験刺激により発現する JLR に及ぼす影響を観察した (Fig. 10A)。また、PLR のみ発現する刺激強度で歯根膜を条件刺激した時、条件刺激が、PLR に及ぼす影響を観察した (Fig. 10B)。両者とも条件一試験刺激間隔が700msec 以下で抑制され、400 msec 以下で完全に抑制された。

また、JLR のみ発現する刺激強度で顎関節を条件刺激した。この時、条件刺激が、歯根膜の試験刺激により発現する PLR に及ぼす影響を観察し

た (Fig. 10C)。PLR は、600msec 以下で抑制され、300msec 以下で完全に抑制された。さらに、PLR のみ発現する刺激強度で歯根膜を条件刺激すると、条件刺激が、JLR に及ぼす影響を観察した (Fig. 10D)。JLR は、400msec 以下で抑制され、200msec 以下で完全に抑制された。

以上の結果から、顎関節刺激により誘発される LR 同士の相互作用は、歯根膜刺激により誘発される LR 同士のそれと全く同一であった。このことは、同種の器官の刺激により誘発される LR 同士の相互作用は、口腔領域のいかなる器官においても観察される基本的な性質であるものと思われる。一方、顎関節刺激により誘発される LR と、歯根膜刺激により誘発される LR との相互作用、つまり異種の器官でのそれは、同種の器官の刺激による LR 同士の相互作用に比べ、抑制効果が小さい。

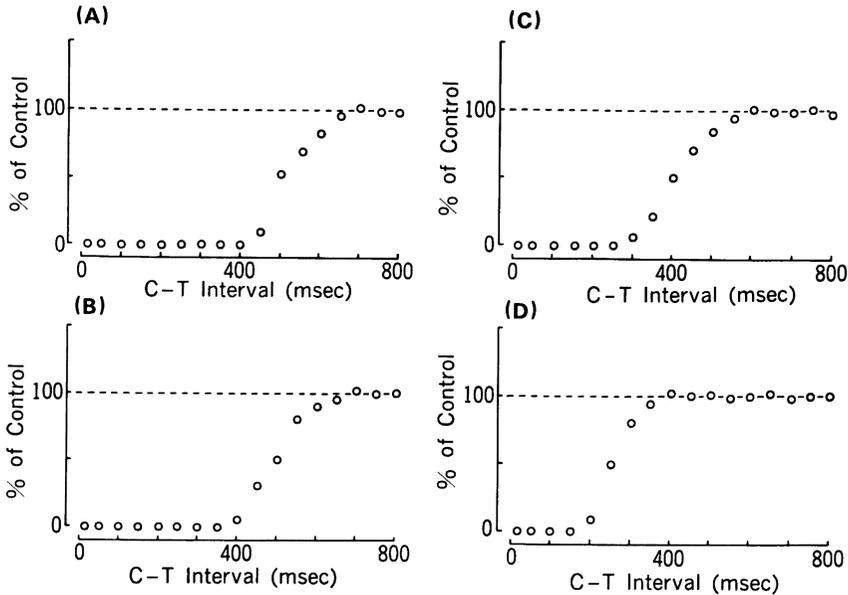


Fig. 10 Effects of the conditioning stimulus on the jaw opening reflex elicited by the test stimulus for LR and LR.

A: Effects of the conditioning stimulus which produces the LR at the temporomandibular joint on the LR of the temporomandibular joint.

B: Effects of the conditioning stimulus which produces the LR at the periodontal ligament on the LR of the periodontal ligament.

C: Effects of the conditioning stimulus which produces the LR at the temporomandibular joint on the LR of the periodontal ligament.

D: Effects of the conditioning stimulus which produces the LR at the periodontal ligament on the LR of the temporomandibular joint.

考 察

1. 顎関節刺激による二種の開口反射応答の性質

一般に関節部からの求心性情報が、関節運動に関与する筋群の活動にいかに関与するかは、ネコの膝関節について比較的明らかにされてきた。Gardner³³⁾は、除脳ネコについて膝関節を支配する関節神経を電気刺激することにより開口反射応答に相当する屈曲反射が誘発されることを報告した。その後、Cohenら³⁴⁾は、膝関節を伸展位から屈曲位に回転することにより屈筋の筋電図活動が促進することを報告した。

一方、Thilanderら^{35,36)}は、顎関節からの感覚情報が、下顎の位置および咀嚼筋の活動を制御していることを臨床所見から報告した。また、ネコの顎関節について、Shwaluk²¹⁾は、顎関節の一次

求心性神経の電気刺激により開口反射が誘発され、この反射は侵害受容性の防御反射であると報告している。この報告によると、開口反射応答の潜時は6.0~7.8msecであった。

本実験からも、顎関節の電気刺激により開口反射応答が導出された。しかし、この応答は二種の応答様式を示し、潜時5~8msecの短潜時の応答ERと潜時18~20msecの長潜時の応答LRが導出された。

短潜時の応答ERは、その潜時からShwalukの報告した開口反射応答に一致するものであると思われる。一方、長潜時の応答LRは、ERより閾値が低く、強い刺激ではERにより抑制を受けその応答は減少する。また、顎関節に2% Xylocaineで局所麻酔することによりLRはERに比べ影響を受けにくい。さらにLRの頻回刺激に対する追従性は5~8HzとERの約20Hzに比べきわ

めて低い。このような生理学的特徴を有する LR は、ER と明らかに区別されるが、これまでのいかなる文献においても LR に関する報告は見あたらない。以上より、顎関節刺激によって二種の開口反射応答が誘発されることが明らかとなった。さらにこの開口反射応答は、異なる感覚受容器によって発現することが判明した。

すでに組織学的な研究でネコの顎関節領域でみられる知覚神経終末に関しては、Greenfield and Wyke²⁰、Klineberg³⁷、Kawamura ら¹⁹、真島³⁸、小松³⁹によって、自由神経終末の他に、Vater-Pacini 小体、Golgi-Mazzoni 小体、Ruffini 小体、非被膜性複雑型終末などの種々の特殊終末の存在が報告されている。つまり顎関節包には、痛覚に関与する受容器と圧感覚に関与する受容器が存在することを明らかにしたものであり、これらの組織学的な研究と本実験における生理学的な研究結果とは一致している。すなわち、二種の開口反射応答が顎関節刺激で誘発されるという本実験結果は、組織学的な研究で、顎関節包に痛覚受容器と機械受容器が存在するとした実験結果に生理学的な根拠を与えたものと思われる。

また顎関節刺激による二種の開口反射応答のこれらの性質は、歯根膜・口腔粘膜刺激によるそれぞれの応答と同一であった¹⁴⁻¹⁸。歯根膜・口腔粘膜刺激による開口反射応答には、痛覚受容器によって誘発される短潜時の応答と、触・圧覚等の機械受容器によって誘発される長潜時の応答の存在することが報告されている¹⁴⁻¹⁸。

以上から、顎関節刺激による ER は、麻酔に対して影響をうけやすい細い求心性神経をもつ痛覚受容器により誘発され、一方 LR は、閾値が ER よりも小さく麻酔による効果も遅いこと、機械刺激により容易に発現することから、太い求心性神経をもつ機械受容器により誘発される応答であると結論される。

2. 顎関節の痛覚受容器・機械受容器の分布・特徴

組織学的研究により、ネコ²⁰ではヒト^{35,40}の場合と同じく、顎関節は下顎神経に属する耳介側頭神経、咬筋神経、後深側頭神経の関節枝より支配をうけると報告されている。また、ネコの顎関節

領域でみられる知覚神経終末に関しては、先に述べたように自由神経終末の他に種々の特殊終末の存在が報告されている^{19,20,37-39}。しかし、各知覚神経終末の数や分布についての詳細は明らかにされていない。

顎関節を機械刺激した実験では、弱い刺激強度で LR が容易に誘発された。また、この時の ER と LR の閾値の差が、歯根膜・口腔粘膜のそれに比べて大きいことが示された。これらの結果は、顎関節の回転運動が、LR の発現に関与する機械受容器に対して適刺激であることを示している。さらに、顎関節の ER に関与する痛覚受容器と LR に関与する機械受容器との分布密度の比は、歯根膜・口腔粘膜のそれとは異なっていることが推察される。つまり、顎関節の LR に関与する機械受容器の分布密度は、歯根膜・口腔粘膜のそれに比べて高いことが考えられる。

これらの推察は、Wyke, Sakata らの実験結果から強く支持される。Wyke²⁸は、ネコ顎関節の機械的受容に関する太い有髄神経線維（6～17 μm）は約65%で、痛覚受容に関与する細い有髄および無髄神経線維（5 μm 以下）は約35%を占めると報告している。一方、Sakata ら^{41,42}は、6 μm 以上の太い神経線維は、ネコのオトガイ神経で約30%、下顎骨骨膜神経で約25～30%と報告しており、顎関節神経では歯根膜や口腔粘膜を支配する神経に比較し、機械受容器の分布密度の比が高いことを示している。

顎関節包における受容器の分布様式については、いくつかの報告がなされている。真島³⁸、Greenfield ら²⁰、Kineberg³⁷は、ネコの顎関節後方部および後方外側部に Golgi-Mazzoni 小体、Ruffini 小体、Vater-Pacini 小体が多く見られると組織学的に報告している。しかし、これに関する生理学的な研究はほとんど見あたらない。

下顎頭の回転角度および回転角速度を変化させた実験において、以下の現象が観察された。すなわち、LR の最大応答は、回転角度および回転角速度の両者の実験でほぼ同一の大きさを示した。LR を誘発する機械受容器が関節包に均一に分布するならば、回転角度の増大に伴い機械受容器の動員数が増加するため、より多くの機械受容器が

興奮するものと思われる。ところが、小さい回転角度の条件のもとで回転角速度を大きくした場合、LR の最大応答は、回転角度の最大応答と同一であった。したがって、この実験結果は、顎関節包における機械受容器の分布が均一なものではなく、ある特定の部位に集中して存在するとした先の真島、Greenfield ら、Klineberg の研究を支持するものであり、これに生理学的な根拠を与えたものと思われる。

Rees⁴³⁾ および Kawamura ら²²⁾ によれば、ヒトやネコの顎関節包は、開口運動時に後外側部の伸展することが認められており、顎関節包の特に後外側部に存在する感覚受容器が興奮するものと考えられる。一方、開口運動時に興奮する感覚受容器に関する報告は見あたらず、必ずしも明らかにはされていない。

下顎頭の回転方向と開口度を変化させた本実験で、誘発される LR の応答性に相違が認められた。開口方向への刺激に対しては、LR の応答性が、開口度 0 度から 25 度まで減少し、その後増加した。一方、閉口方向の刺激に対しては、その応答性が、開口度 0 度から 25 度まで増加し、その後減少した。すなわち開口度と LR の応答との関係は、明らかに相反する傾向を示した。このことから、開口運動と閉口運動とでは、顎関節の異なる部位の機械受容器が興奮することが考えられる。

3. 顎関節刺激による ER, LR の機能的役割
顎関節刺激によって誘発される開口反射応答 ER, LR の機能的役割をより明確にするため、歯根膜刺激による二種の応答との相互作用を検索した。

ER と LR の相互作用に関する実験結果は、顎関節刺激により誘発される開口反射応答と歯根膜刺激によるそれとで全く同じ傾向を示した。このことより、侵害受容性反射である ER は、口腔領域のあらゆる器官において同一の生理的機能を有するものと考えられる。つまり、口腔領域のどの器官に侵害刺激が加わっても、同一の防御反射が誘発されるものと考えられる。

この推察は船越の実験結果から支持される。船越⁴⁴⁾は、ラット顎関節の痛覚受容ニューロンは広作動域ニューロンが多く、また、特異的侵害受容

ニューロンも受容野が広く、特に咬筋の侵害刺激にも応答を示すニューロンが存在したと報告している

一方、顎関節をとともに条件刺激および試験刺激し、誘発される LR 同士の相互作用は、歯根膜の条件刺激、試験刺激により誘発される LR 同士のそれと同一であった。しかし、顎関節刺激により誘発される LR と、歯根膜刺激による LR との相互作用、つまり異種の器官でのそれは、同種の器官の刺激による LR 同士の相互作用に比べ、抑制効果が小さいことが示された。この実験結果より、機能的反射である LR は、口腔領域において独立しているものと考えられる。つまり、LR は、口腔領域の異なる器官に対して、それぞれ異なった役割を果たしていると考えられる。

また、下顎頭を種々の条件で回転させると、その刺激により誘発される LR の応答性に相違が認められた。LR の応答性は、下顎頭の回転角度・回転角速度にそれぞれ依存した。さらに、閾値の 1.5 倍および 2 倍の回転角速度で顎関節を機械刺激した場合と、閾値の 1.5 倍および 2 倍の回転角速度の場合をそれぞれ比較すると、前者の方が 3 倍の応答の大きさを示した (Fig. 6B, Fig. 7B)。このことより、顎関節では回転角度よりも回転角速度の方が感受性が高いことが示唆される。また、開口度と LR の大きさとの関係は、下顎頭の開口方向の刺激と閉口方向の刺激とは相反する傾向であることが示された。

以上より、顎関節刺激により誘発される LR は、下顎の開・閉運動の調節に重要な役割を果たしていることが判明した。さらに、顎関節からの感覚情報は、顎運動の制御に大きく関与しているものと考えられる。

結 論

α -クロラロース麻酔、パンクロニウム非動化、人工呼吸下のネコを用いて、顎関節の刺激を行ない、顎舌骨筋神経から導出される二種の開口反射応答の性質について電気生理学的に検索し、次の結論を得た。

1) 顎関節刺激により誘発される潜時 5—8 msec の応答 (Early Response: ER) は、麻酔に

対して影響をうけやすい細い求心性神経をもつ痛覚受容器により誘発され、一方潜時 18—20 msec の応答 (Late Response: LR) は、閾値が ER より小さく麻酔効果も遅いこと、機械刺激により容易に発現することから太い求心性神経をもつ機械受容器により誘発される応答であると同定され、顎関節に痛覚受容器、機械受容器が存在するとした組織学的研究を支持するものである。

2) 顎関節刺激による ER, LR は、歯根膜・口腔粘膜刺激による短潜時、長潜時の二種の開口反射応答とそれぞれ同一の生理学的性質を有する。

3) 顎関節の機械刺激により LR が容易に誘発され、この時の ER と LR の閾値の差が歯根膜・口腔粘膜のそれに比べて大きいことから、顎関節の LR に関与する機械受容器の分布密度は、歯根膜・口腔粘膜よりも高いとする組織学的結果と一致していた。

4) 下顎頭の回転角度および回転角速度の変化により誘発される LR の最大応答は、両者ともに同一の大きさを示すことから、顎関節包における機械受容器の分布は均一なものではなく、特定の部位に集中して存在すると考えられる。

5) 下顎頭の回転方向と開口度の変化により誘発される LR の応答性の相違から、開口運動と開口運動とでは顎関節の異なる部位の機械受容器が興奮することが判明した。

6) LR は、下顎頭の回転刺激によって容易に誘発され、回転角度・回転角速度・回転方向・開口度によりその応答性が変化することから、顎運動時の制御に重要な役割を果たしているものと思われる。

7) ER と LR の相互作用が、顎関節および歯根膜の両者で全く同じ傾向を示すことから、ER は、口腔領域のいずれの器官においても同様に誘発され、侵害受容性反射としての役割を果たす。一方 LR 同士の間相互作用は、異種の器官に比較し、同種の器官において抑制効果が大きい。

謝辞：稿を終えるに臨み、終始御懇切なる御指導ならびに御校閲を賜った東北大学歯学部歯科補綴学第二講座鹿沼晶夫教授、渡辺誠助教授に深甚なる謝意を表します。また本研究に際し、終始有益なる御助言と御教示を頂きました宗形芳英博士、佐々木啓一博士をはじめとする本学歯学部歯科補綴学第二講座の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

抄録：α-クロラロースで麻酔したネコの顎関節刺激により、潜時の異なる二種の開口反射応答が導出できる。潜時 5—8 msec の応答 (Early Response: ER) は麻酔に対して影響をうけやすい細い求心性神経をもつ痛覚受容器により誘発され、潜時 18—20 msec の応答 (Late Response: LR) は閾値が ER より小さく麻酔効果も遅いこと、機械刺激により容易に発現することから太い求心性神経をもつ機械受容器により誘発される応答であると同定された。下顎頭の回転角度・回転角速度・回転方向・開口度の変化により誘発される LR の応答性の相違から、顎関節の機械受容器は特定の部位に集中して存在し、その分布密度は歯根膜・口腔粘膜に比べ高いとする組織学的研究に生理学的根拠を与えた。また ER と LR の相互作用から、ER は口腔領域のあらゆる器官において同一の役割を果たし、一方 LR は同種の器官では異種の器官に比べ抑制効果が大きく、口腔領域においてそれぞれ異なった役割を果たしていると考えられる。

文 献

- 1) Serrington, C. S.: Reflex elicitable in the cat from pinna vibrissae and jaws. *J. Physiol. (Lond)*. 51: 404-431, 1917.
- 2) Anderson, K. V. and Mahan, P. E.: Interaction of tooth pulp and periodontal ligament receptors in a jaw-depression reflex. *Exp Neurol*. 32: 295-302, 1971.
- 3) Fung, D. T. H., Hwang, J. C., Chan, S. H. H. and Chan, Y. S.: Jaw-opening reflex

- as pain response in rabbit. *J. Dent. Res.* 55: 917, 1976.
- 4) Hannam, A. G. and Mathews, B.: Reflex jaw opening in response to stimulation of periodontal mechanoreceptors in the cat. *Arch. Oral Biol.* 14: 415-419, 1969.
- 5) Mahan, P. E. and Anderson, K. V.: Jaw depression elicited by tooth pulp stimulation. *Exp. Neurol.* 29: 439-448, 1970.
- 6) Thexton, A. J.: Jaw opening and jaw closing reflex in the cat. *J. Physiol. (Lond)*.

- 197 : 34-35, 1968.
- 7) Thexton, A. J. : Jaw opening and jaw closing reflex in the cat. *Brain Res.* **66** : 425-433, 1974.
 - 8) Greenwood, L. F. and Sessle, B. J. : Pain brain stem mechanisms and motor function. In: *Mastication and Swallowing, Biological and Clinical Correlates*, (Edited by Sessle, B. J. and Hannam, A. G.), pp. 108-109, University of Toronto Press, Toronto, 1976.
 - 9) Kidokoro, Y., Kubota, K., Shuto, S. and Sumino, R. : Reflex organization of cat masticatory muscles. *J. Neurophysiol.* **31** : 695-708, 1968.
 - 10) 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.
 - 11) Nakamura, Y. and Wu, G. Y. : Presynaptic inhibition of jaw-opening reflex by high threshold afferents from the masseteric muscle of the cat. *Brain Res.* **23** : 193-211, 1970.
 - 12) Sumino, R. : Central neural pathways involved in the jaw-opening reflex in the cat. In: *Oral-facial sensory and motor mechanisms*, (Edited by Bubner, R. and Kawamura, Y.), pp. 315-332, Appleton-Century-Grofts, New York, 1971.
 - 13) Keller, O., Viklicky, L. and Sykova, E. : Reflexes from A α and A δ trigeminal afferents. *Brain Res.* **37** : 330-332, 1971.
 - 14) 宗形芳英, 機能的役割の異なる二種の開口反射機構に関する研究. *歯基礎誌* **23** : 534-547, 1981.
 - 15) Watanabe, M., Munakata, Y., Tabata, T., Karita, K. and Kanuma, A. : Two differently elicited responses of the jaw opening reflex to the once stimulated periodontal ligament. (in preparation)
 - 16) 佐々木啓一 : 開口反射機構における口腔粘膜受容器に関する研究. *歯基礎誌* **26** : 808-823, 1984.
 - 17) Watanabe, M., Munakata, Y., Sasaki, K., Takafuji, M. and Kanuma, A. : Two different responses in jaw opening reflex of man. *J. Dent. Res.* **61**(DI) : 593, 1982.
 - 18) 佐々木啓一, 渡辺 誠, 宗形芳英, 高藤道夫, 齊藤 寛, 鈴木松吉, 鹿沼晶夫 : 歯牙叩打による顎二腹筋の応答. 下顎運動機能と EMG 論文集 Vol. 1, 65-68, 1983.
 - 19) Kawamura, Y. and Majima, T. : Temporomandibular-joint sensory mechanisms controlling activities of the jaw muscles. *J. Dent. Res.* **43** : 150, 1964.
 - 20) Greenfield, B. and Wyke, B. : Reflex innervation of the temporomandibular joint. *Nature.* **211** : 940-941, 1966.
 - 21) Shwaluk, S. : Initiation of reflex activity from the temporomandibular joint of the cat. *J. Dent. Res.* **50** : 1642-1646, 1971.
 - 22) Kawamura, Y., Majima, T. and Kato, I. : Physiologic role of deep mechanoreceptor in temporomandibular joint capsule. *Osaka Univ. Dent. Sc.* **7** : 63-76, 1967.
 - 23) Klineberg, I., Greenfield, B. and Wyke, B. : Contribution to the reflex control of mastication from mechanoreceptors in the temporomandibular joint capsule. *Dent. Pract.* **21** : 73-83, 1970.
 - 24) Klineberg, I., Greenfield, B. and Wyke, B. : Afferent discharges from temporomandibular articular mechanoreceptors. *Arch. Oral Biol.* **16** : 1463-1479, 1971.
 - 25) 阿部勝也 : 顎関節よりの求心性神経情報に関する研究. *歯基礎誌* **16** : 117-128, 1974.
 - 26) Suzuki, H., Watanabe, M., Tsukahara, Y. and Tasaki, K. : Duplex system in the simple retina of a gastropod mollusc, *Limax flavus* L. *J. Comp. Physiol.* **133** : 125-130, 1979.
 - 27) Storey, A. T. : Sensory functions of temporomandibular joint. *J. Can. Dent. Assoc.* **34** : 294-300, 1968.
 - 28) Wyke, B. D. : The neurology of joints. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* **41** : 25-50, 1967.
 - 29) Clark, R. K. F. : Neurology of the temporomandibular joints; an experimental study. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* **58** : 43-51, 1976.
 - 30) Gasser, H. S. and Erlanger, J. : The role of fiber size in the establishment of a nerve block by pressure or cocaine. *Am. J. Physiol.* **88** : 581-591, 1929.
 - 31) Killam, E. K. : Drug action on the brainstem reticular formation. *Pharmacol. Rev.* **14** : 175-223, 1962.
 - 32) Iggo, B. : Somatosensory system. In: *Handbook of Sensory Physiology*, (Edited by Autrum, A. et al.), vol. II, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1974.
 - 33) Gardner, E. D. : Physiology of movable joint. *Physiol. Rev.* **40** : 127-176, 1950.
 - 34) Cohen, L. A. and Cohen, M. L. : Arthrogenic reflex of the knee. *Am. J. Physiol.* **184** : 433-437, 1956.
 - 35) Thilander, B. : Innervation of the temporomandibular joint capsule in man. *Trans. R. Dent. Sch.* **2** : 1-67, 1961.
 - 36) Posselt, U. and Thilander, B. : Influence of the innervation of the temporomandibular

- joint capsule on mandibular border movement. *Acta Odontol. Scand.* **23** : 601-613, 1965.
- 37) Klineberg, I.: Structure and function of temporomandibular joint innervation. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* **49** : 268-288, 1971.
- 38) 真島利雄：顎関節部知覚神経支配の形態学的並びに神経生理学的研究. *歯基礎誌* **6** : 31-40, 1964.
- 39) 小松賢一：ネコ顎関節の構造と支配神経に関する組織学的研究. *歯基礎誌* **25** : 245-262, 1983.
- 40) 石橋克礼：ヒト顎関節の支配神経に関する研究. *歯基礎誌* **8** : 46-70, 1966.
- 41) Sakada, S. and Kamio, E.: Fiber diameters and responses of single units in the periodontal nerve of the cat mandibular canine. *Bull. Tokyo Dent. Coll.* **11** : 223-234, 1970.
- 42) Sakada, S.: Characteristics of innervation and nerve ending in cats mandibular periosteum. *Bull. Tokyo Dent. Coll.* **8** : 77-94, 1967.
- 43) Rees, L. A.: The structure and function of the mandibular joint. *Br. Dent. J.* **96** : 129-133, 1954.
- 44) 船越正也：顎関節症の生理学的背景（I） *日本歯科評論* **508** : 177-185, 1985