

歯根膜刺激により引き起こされる反射性周期性顎運動

山 田 好 秋

新潟大学歯学部口腔生理学教室 (主任: 島田久八郎教授)

(昭和52年10月24日受付)

A Study of Rhythmic Jaw Movement Elicited by Stimulation of Periodontal Membrane

Yoshiaki YAMADA

Department of Physiology, Niigata University School of Dentistry
(Director: Kyuhachiro Shimada)

緒 言

Sherrington (1917)²⁴⁾により顎の開口反射と閉口反射が報告されて以来, 顎運動に関する多くの研究がなされた。Jerge (1964)¹⁷⁾は周期的な顎運動に関して以下のような提言をした。すなわち, 周期性顎運動は歯牙の接触により誘発される Jaw-opening reflex と開口による閉口筋の Stretch reflex の2つの基本的な反射により成立する。しかし, これらの反射だけで引き起こされる周期性顎運動についての実際の報告はない。

一方, 中枢を電気刺激すると周期的な顎の開閉運動が誘発される^{5,19,20,23)}。この中枢の電気刺激による実験から Chewing-center の存在も考えられており²⁶⁾, 誘発される顎運動には咬合を伴わない。

咀嚼運動における周期性の成因についてより正確に理解するためには, 顎運動時の口腔内受容器の興奮に注目する必要がある。

咀嚼運動時に特徴的なことは歯牙を介しての歯根膜の興奮である。この歯根膜の興奮は, 中枢刺激により出現する周期性顎運動には必要のないことではあったが, 咬合を伴う周期性顎運動時には重要な末梢性の機構であると考えられる。

今回, 浅く麻酔したラットで, 上下の切歯が咬合する反射性周期性顎運動が誘発できたのでその成因, 特に歯根膜の関与について検討した。

実験方法

体重 300 g~400 g の成熟ラットを用いた。エーテル麻酔下で気管カニューレを挿入後, EMG 導出のため咬筋および顎二腹筋の部分の皮膚を切開してこれらの筋を露出した。頭部の固定は頭頂部のみで行ない ear-rod は用いなかった。頭頂部での固定のためにこの部位の骨を露出した後, モデリングコンパウンドで作ったアダプターで固定用金属棒と骨を接続した (図1)。この固定法により, 下顎は自由な運動が確保された。

麻酔は気管カニューレに接続したエーテル気化器により浅い深度に保たれ, 実験は自然呼吸下でなされた。

記録には 2 cH の筋電計を使用し, 左右の咬筋

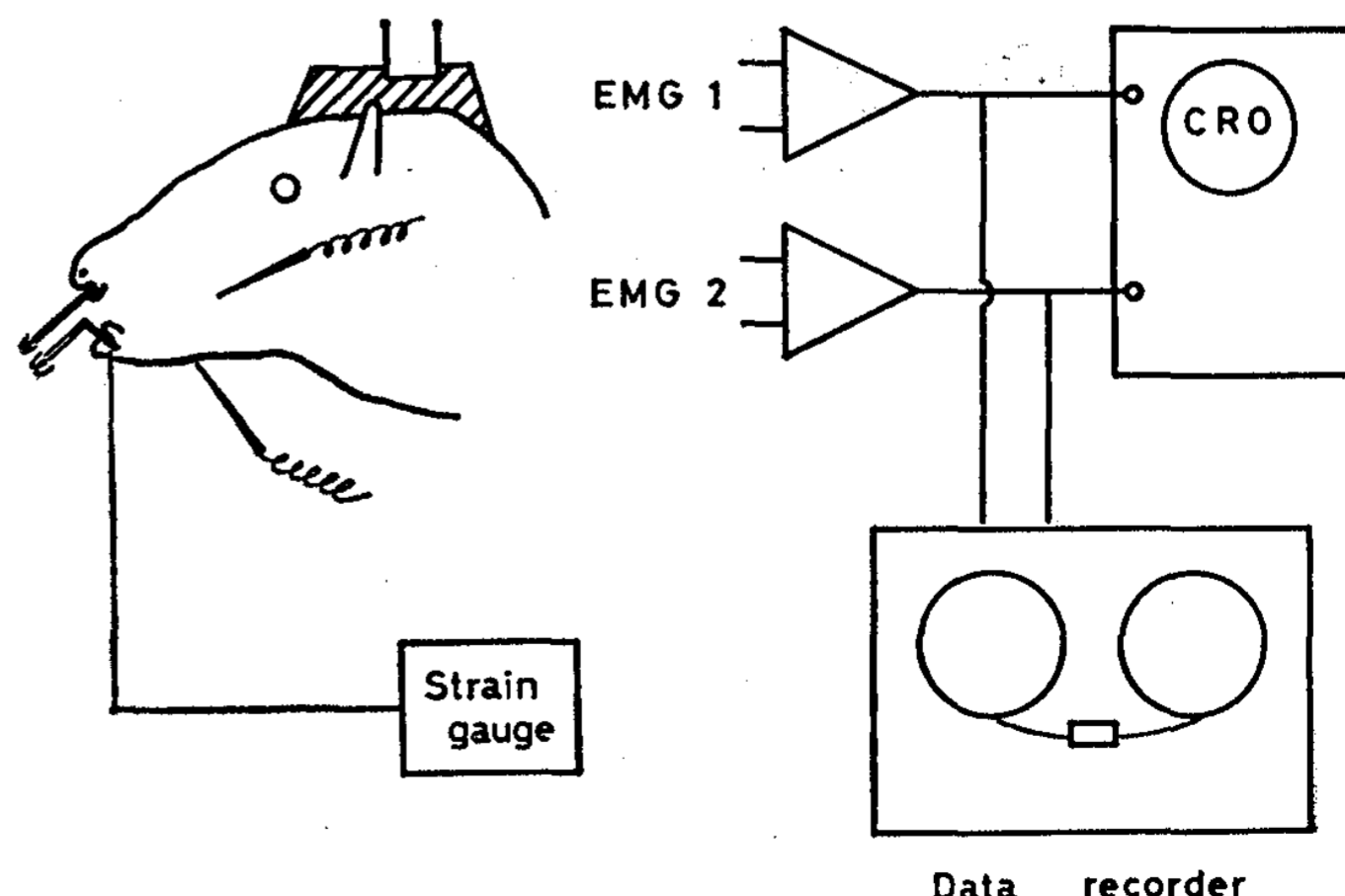


図1 ブロックダイアグラム (本文参照)

および顎二腹筋から必要に応じて2つを選択しEMGを導出した。EMGの導出には同心針電極を使用した。顎二腹筋の同定はJaw-jerk-reflexに同期する抑制によってなされた。

周期性顎運動誘発のための機械的刺激を下顎に与えるために、図2に示すような装置を使用した。この装置は①レバー、②金属製のスパチュラ、③ロッドから成る。レバーとスパチュラは④点を中心として連動し、レバーを引き上げるとスパチュラは下方に移動する。ロッドは⑤点を中心として上下に運動するがバネにより上方に引き上げられていて、先端がスパチュラと接している。このため、レバーの上下に伴ない先端はスパチュラの下面をスライドする。スパチュラとロッドの接する位置に下顎の切歯を置きレバーを手動で引き上げると、図2の斜線で示すように下顎の切歯はスパチュラにより下方へ、ロッドにより後方に押される。結果として図2の矢印で示すごとく下顎は後下方に押されることになる。

スパチュラは周期性顎運動が誘発された後には上顎の切歯に軽く接触させて固定しておいた。

上下の切歯の咬合する時点を測定するためスパチュラに小型のマイクロホン(図2⑥)を取り付け、咬合によるスパチュラの振動を記録した。

2 cHのEMGとマイクロホンからの出力はオシロスコープでモニターされながら同時にデータレコーダーに記録された。

顎運動の記録にはStrain-gaugeを使用した変

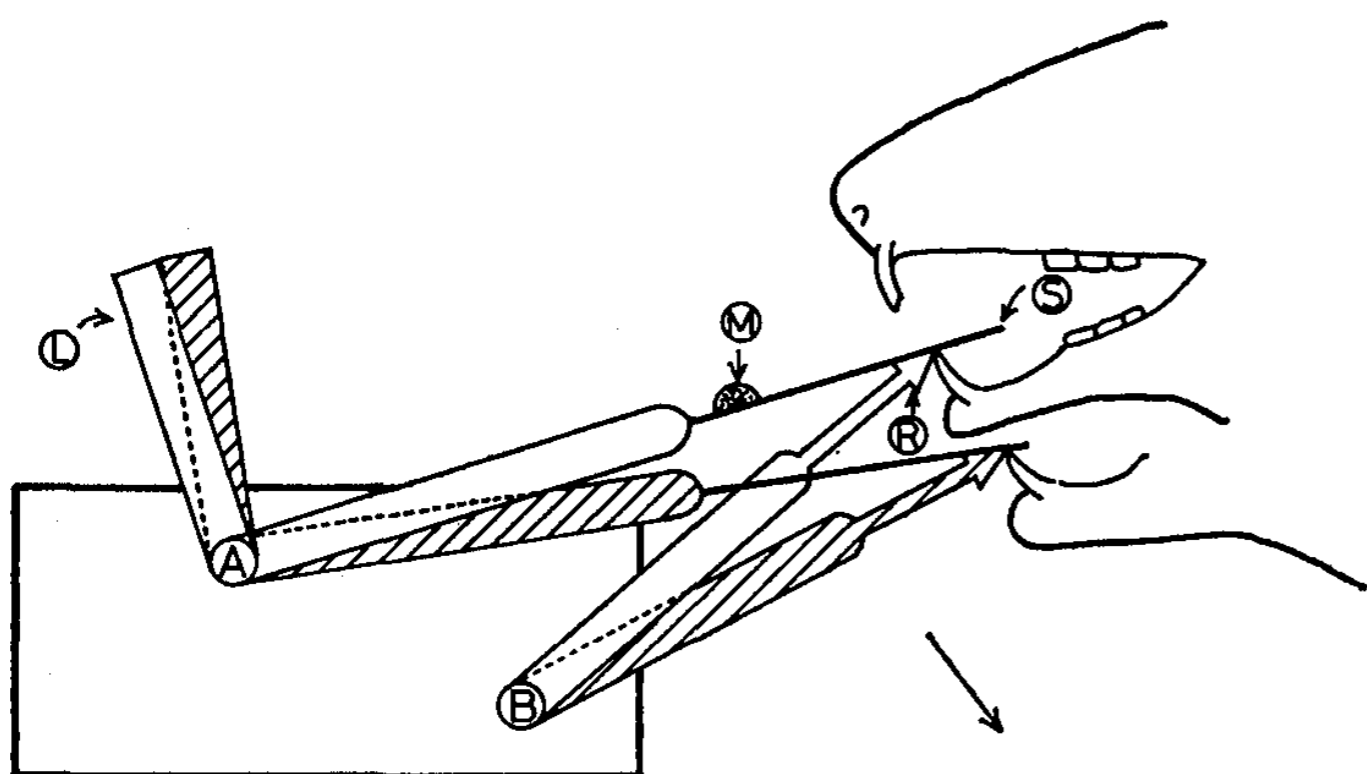


図2 周期性顎運動誘発装置

レバー(L)を引き上げるとスパチュラ(S)とロッド(R)が連動し、斜線で示す位置に移動する。この結果下顎は矢印の方向へ押される。

位計を用いた。変位計は下顎の切歯と糸で結ばれた。

人工的に歯根膜を刺激するために電気刺激が用いられた。刺激電極として $\phi 0.5$ mmのステンレスワイヤーを1 mmの間隔で2本ならべた双極電極を使用し、この電極を上下の切歯唇側歯根部へできるだけ深く挿入した。刺激パルスはすべて持続時間100 μ secであった。

データレコーダーに収録されたEMGは速度変換されてペンレコーダーに記録され、あるいはまた写真撮影された。また切歯の咬合とEMGの関係をj知るために、導出されたEMGを全波整流した後、咬合の時点でトリガーをかけて加算平均を行なった。加算器には日本光電製のATAC-250を使用した。

結 果

1. 反射性周期性顎運動の誘発

浅く麻酔したラットの下顎を後下方に押したのち、力をゆるめると上下の切歯が咬合する反射性周期性顎運動が誘発された。しかし下顎へ加える力の方向が不適當であると周期的な顎運動は起こらず、次のような変化が咬筋と顎二腹筋のEMGに観察された。たとえば閉口位で後方にのみ押し続けると、顎二腹筋の活動が促進されるが咬筋活動は抑制された。その後力をゆるめると顎二腹筋活動は減少するか消失した。咬筋活動は抑制されたままであり、したがって周期的な顎運動は誘発されなかった(図3・A)。また下顎を下方にのみ押し開きさせると、咬筋活動も顎二腹筋活動も共に抑制され、力をゆるめても周期的な運動は誘発されず、顎二腹筋活動が小さく出現するだけであった(図3・B)。

反射性周期性顎運動を誘発するためには下顎を開口位で後方、つまり後下方に押す必要があった(図3・C)。下顎を後下方に押したのち力をゆるめると顎二腹筋活動が出現し、再び力を加えると顎二腹筋活動は抑制され咬筋活動が出現し始めた。このように下顎を後下方に押すことにより咬筋活動と顎二腹筋活動は相反性に出現した。下顎を後下方に押すことを数回くり返すと、咬筋活動

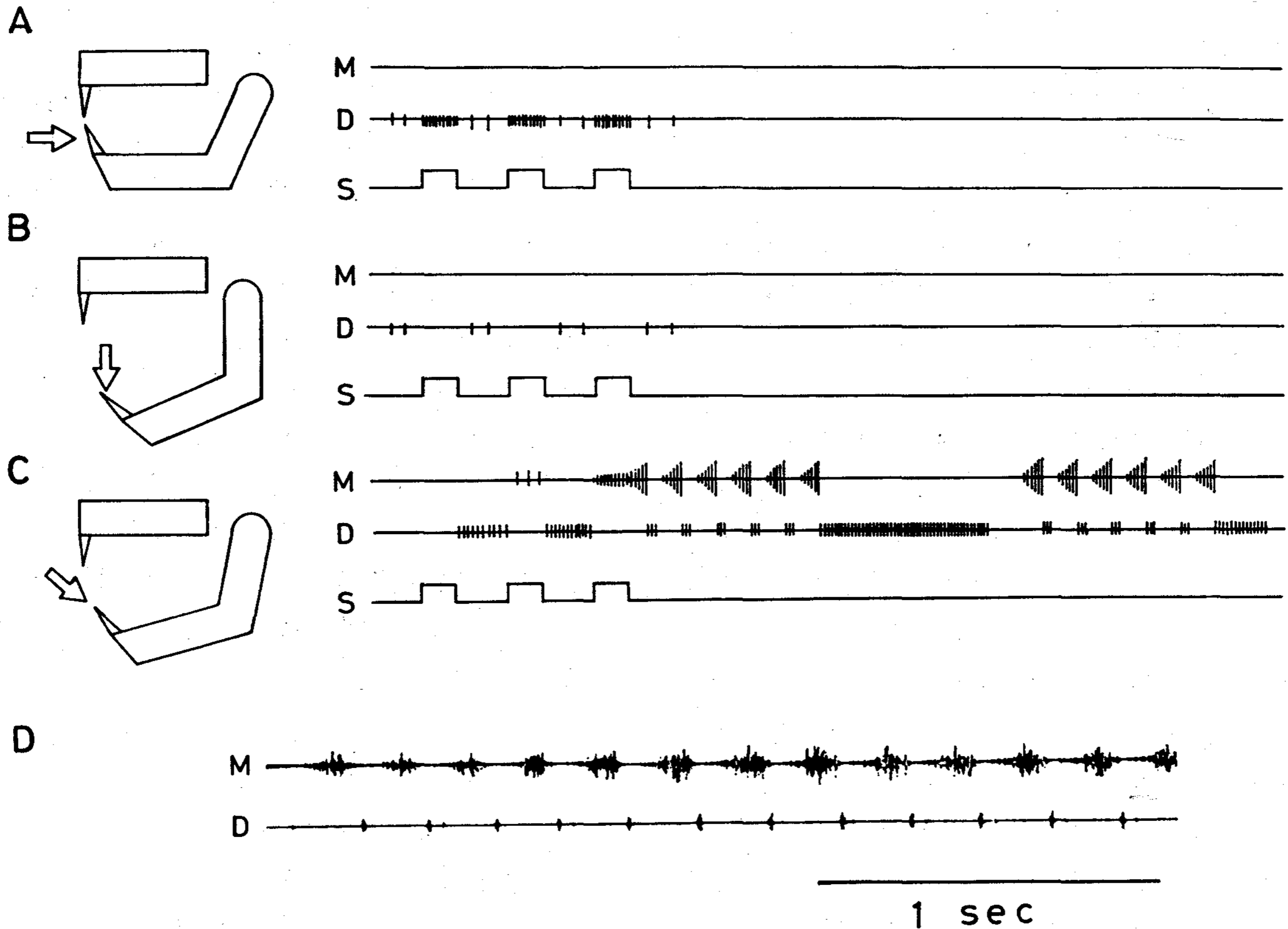


図3 力を加える方向とその効果

- A: 閉口位で後方にのみ押した場合
 B: 下方にのみ押して開口させた場合
 C: 後下方に押した場合
 A, BおよびCは模式図でMおよびDはそれぞれ同側の咬筋および顎二腹筋活動を, Sは誘発刺激として下顎に加えた力を表わす。
 D: 誘発刺激によって得られた周期的運動の記録。
 MおよびDはそれぞれ左側の咬筋および顎二腹筋の EMG。

は次第に活発となり力をゆるめても持続し, 顎が挙上した。本論文では下顎を後下方に押すことを誘発刺激とすることにした。この誘発刺激により咬筋および顎二腹筋活動は相反性を保ちつつ共に活発となった。このため誘発刺激を取り去ったあと顎は挙上し, 上下の切歯が接触すると顎二腹筋活動が反射性に起こり開口した。開口から数十 msec 後には誘発刺激を加えなくとも咬筋活動が活発となり, 2つの筋が相反性に活動する反射性周期性顎運動となった(図3・D)。しかもこの周期性運動は誘発刺激を加えて一度咬合が起こると長時間持続した。

上記の反射性周期性顎運動は咀嚼の中でも食物をかじり取る運動とよく似ており, 閉口時には下

顎を前方につき出し, 上下の切歯で物を咬合した後, 下顎を後方に引く動作をくり返した。

この周期性運動が持続するためには閉口時に上下の切歯が接触する必要がある, そうでないと停止した。このため本実験では上下の切歯間に薄い金属板を入れて咬合を容易にしたものをコントロールとした。この顎運動は全体として5~10 min 持続するが, その間運動は連続しているのではなく, 顎運動の起こっている周期性運動期と, 開口位で運動を停止している停止期とが交互に出現した(図3・C)。周期性運動期では咬筋活動と顎二腹筋活動の相反性に出現する顎の開閉運動が約3~7 Hzの頻度で3~6 sec, 長い場合には約10 sec 持続した。その後顎二腹筋の緊張性の活動

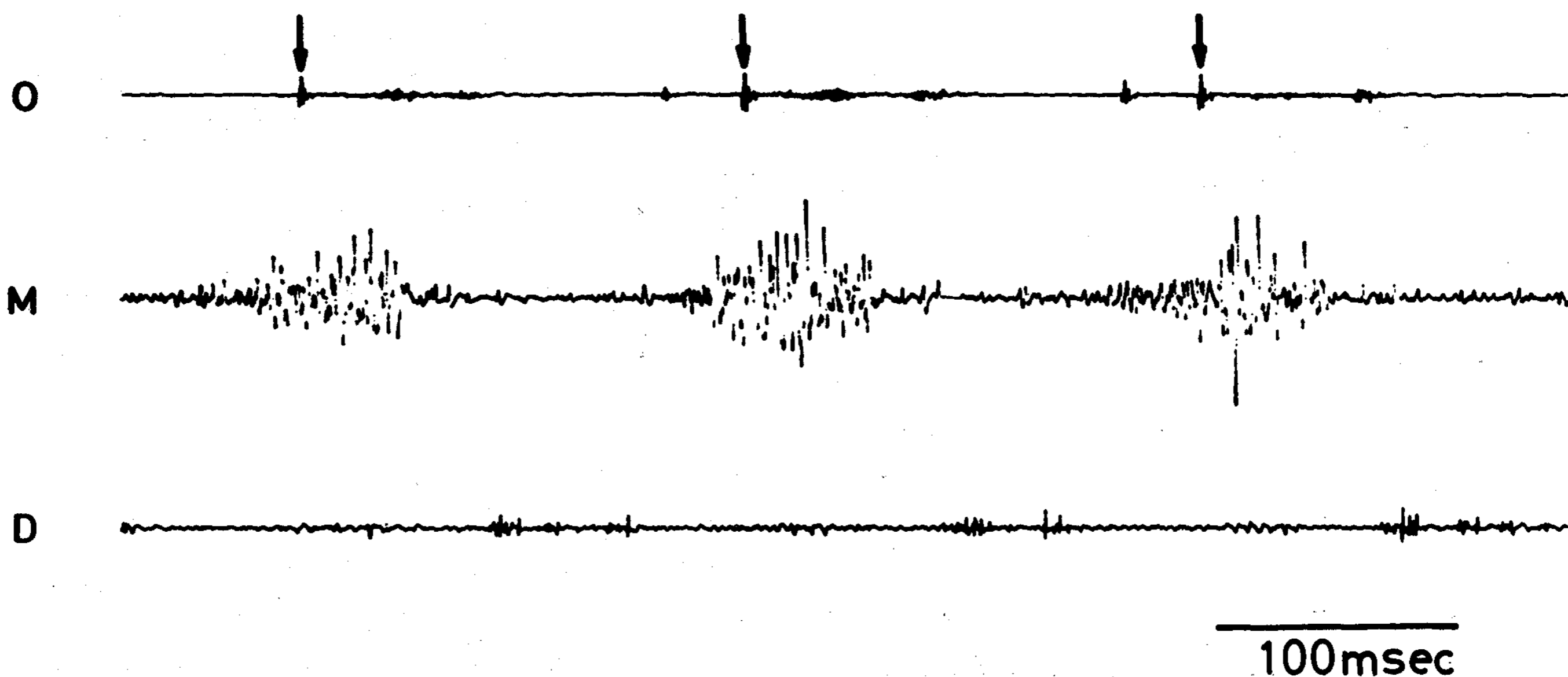


図4 周期的運動時の上下切歯の咬合時点と咬筋および顎二腹筋活動の時間関係

Oは咬合の時点(↓)を示す。MおよびDはそれぞれ咬筋と顎二腹筋活動を示す。

を伴った開口位で約3~6 sec間の停止期に入った。この停止期では咬筋活動は完全に抑制されていた。停止期の末期になると、顎二腹筋の活動も消失し、その後200~300 msec経過すると再び咬筋活動から始まる運動期に入った(図3・C)。このようにして5~10 min経過すると、運動は停止したままで再び誘発刺激を与えるまでは咬筋活動は抑制されていた。この全経過中の運動期と停止期のそれぞれの持続時間および顎運動の頻度は比較的一定しており、運動の初期と末期とで差は認められなかった。

反射性周期性顎運動時における上下の切歯の接触と咬筋・顎二腹筋の2つの筋の活動との時間的關係を詳細に観察すると、図4に示すごとく、咬筋活動が活発となり顎が挙上し始めてから20~30 msec後に上下の切歯が接触し咬合し始める。上下の切歯の接触後、咬筋活動はさらに大きくなるが、やがて減少し消失した。この間咬筋活動は約50~70 msec持続した。一方顎二腹筋は上下の切歯の接触直後に一過性の活動を示すがこの時点では咬筋活動も活発であるために開口には至らなかった。さらに上下の切歯の接触後、約80 msecの所に5~20 msec持続する顎二腹筋活動が出現し、その時には咬筋活動は消失しており顎は開口

した。

切歯の接触と2つの筋の關係をさらに詳細に観察するために上下の切歯の接触する時点でトリガーをかけて、咬筋と顎二腹筋の活動を全波整流した後に加算平均した(図5および図6)。図5に示すごとく、咬筋活動は上下の切歯の接触直後の一過性の活動と、さらに約15 msecの時点でピークを持ち50~60 msec持続するゆるい経過との2つの部分から成る。顎二腹筋は一過性の活動と約80~100 msecの所にピークを持つ著明な活動との2つから成る。開口を引き起こすのは後者の活動によると考えられる。

上下の切歯の接触直後、咬筋と顎二腹筋に出現する一過性の活動を時間軸を拡大して図6に示す。咬筋活動は7.5 msecの時点でピークを持ち、その前後は抑制を受けていた。一方、顎二腹筋活動は明らかに咬筋と相反性の応答を示し、6 msecと10 msecの時点で2つのピークを持っていた。しかし2つのピークの間は咬筋活動と相反性の完全な抑制を受けていた。このように咬合の初期にはこれら2つの筋の間に著しい相反性の抑制が存在すると考えられる。

以上の性質を持つ反射性周期性顎運動は麻酔の深度により大きく左右された。すなわち、自発運

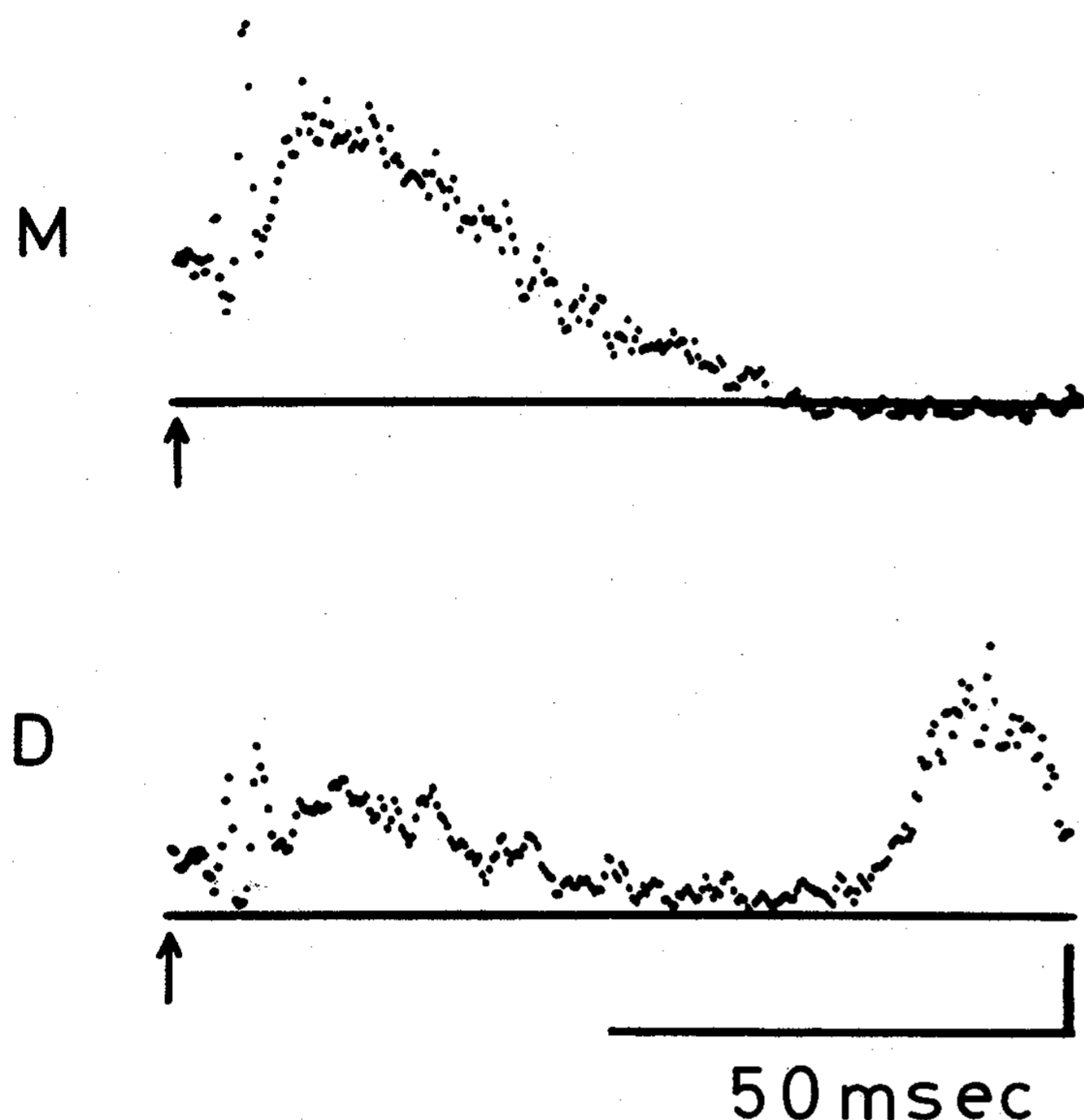


図5 周期的運動時の咬筋と顎二腹筋活動

周期的運動時の左側の咬筋活動(M)および顎二腹筋活動(D)を全波整流し, 上下の切歯の咬合する時点(矢印)でトリガーをかけて160回加算。サンプリング時間は400 μsec , 電圧のスケールは咬筋に対しては300 μV , 顎二腹筋に対しては30 μV 。

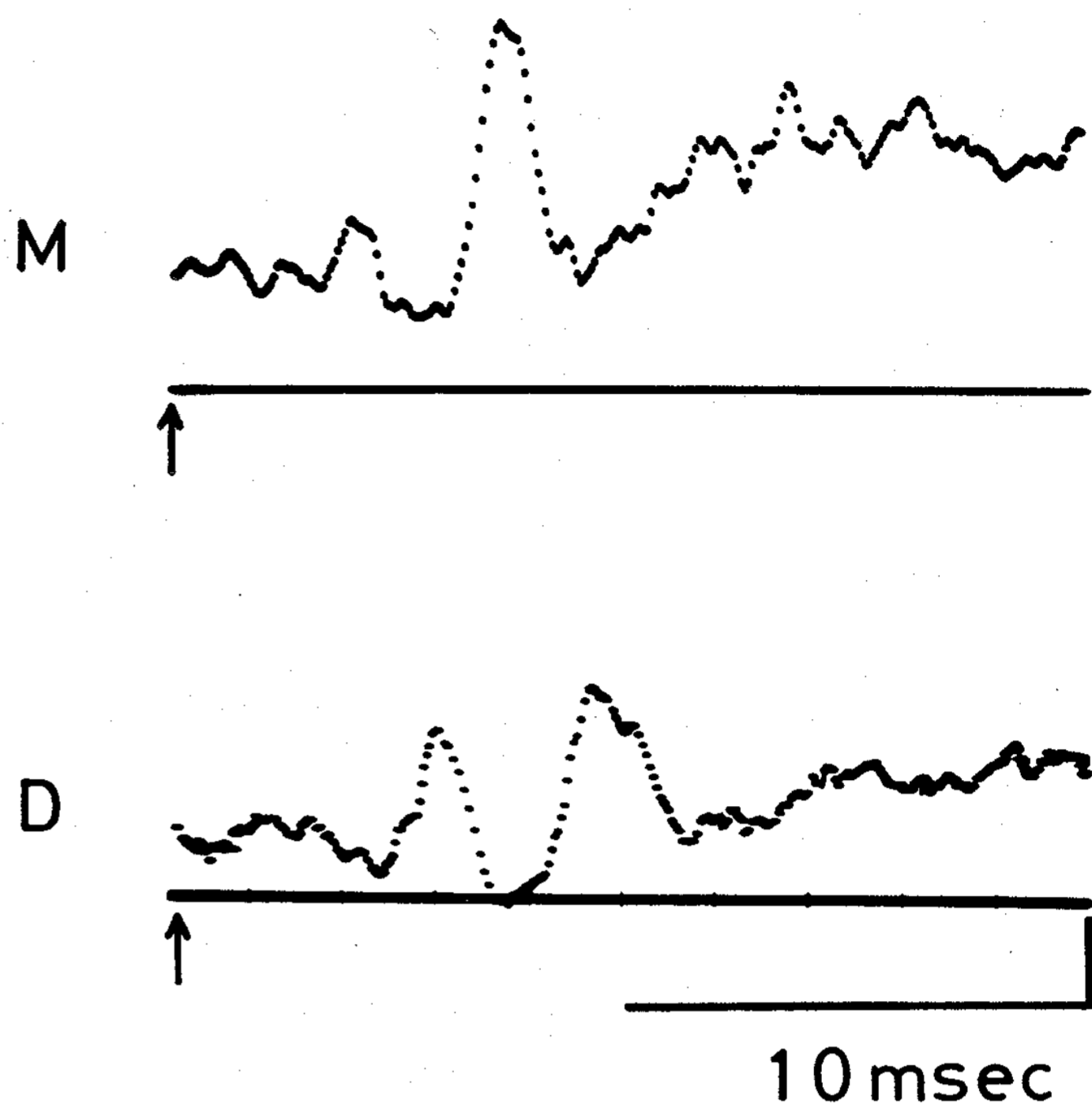


図6 咬合初期の咬筋と顎二腹筋活動

図5と同様にして記録。サンプリング時間は80 μsec 。電圧のスケールは咬筋に対しては300 μV , 顎二腹筋に対しては25 μV 。

動の出現する直前の浅い麻酔深度でなければ誘発されなかった。これより少し麻酔を深くして誘発刺激を与えると舌運動を伴ったなめるような運動が出現するが, 上下の切歯の咬合にまでは至らなかった。

2. 周期性と末梢からの入力

誘発された反射性周期性顎運動は上下の切歯間に薄い金属板を入れて咬合を容易にすると数分間持続するが, 金属板を取り除くと切歯の接触が困難となり, 運動は持続しなかった。このことから反射性周期性顎運動における上下の切歯の咬合の必要性が予測された。そこで咬合の度合を変化させることにより, この反射性周期性顎運動にどのような変化が出現するか検討した。

第一に上下の切歯の歯冠部を $\frac{1}{3}$ 切断することにより, 切歯の接触を困難にしたうえで誘発刺激を与えた(図7・B)。誘発刺激により咬筋活動が活発となり, 顎が挙上した。しかし上下の切歯が接触するに至らず咬筋活動は2~3 sec間持続した

後消失した。そして顎は緊張性の顎二腹筋活動を伴った開口位で停止した。結果としてかなりゆっくりとした顎運動が一回だけ誘発されたことになる。このときにも咬筋と顎二腹筋は相反性に活動していた。

切断した切歯間に, 切断された歯冠部を補うように金属片を挿入して誘発刺激を加えると, この金属片を介して切歯が接触し咬合が可能となり, 反射性周期性顎運動が切歯の切断前と同様に誘発された(図7・C)。

以上のことから, この反射性周期性顎運動には切歯の咬合が必要であることが明らかとなり, 歯根膜の関与が考えられた。そこで次に切歯の接触による歯根膜への刺激を片顎だけに与えた場合, あるいは片側だけに与えた場合で検討した。

上下の切歯間に挿入した金属板を上顎の切歯から少し離して固定した。顎の挙上により下顎の切歯と金属板は接触するが, 上顎の切歯はこれらと接触せず離れたままであった。すなわち上下の切

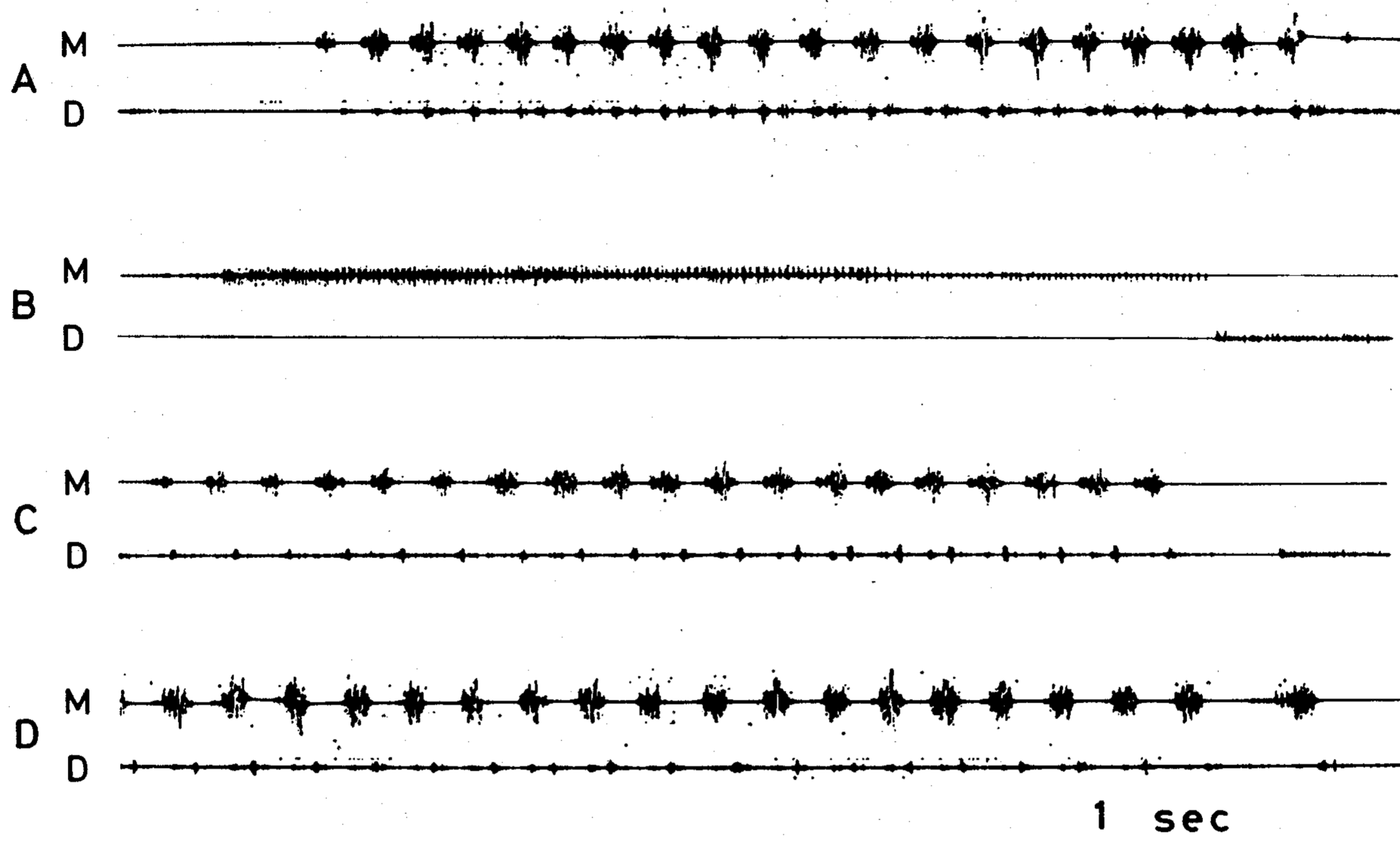


図7 上下の切歯の切断による周期的運動の変化

- A: コントロール (切断前)
 B: 上下・両側の切歯の歯冠部を $\frac{1}{3}$ 切断
 C: 切断された歯冠部を金属で補う
 D: 切断された歯冠部をゴムで補う
 MおよびDはそれぞれ左側の咬筋および顎二腹筋活動。

歯の接触は不可能ではあるが、下顎の切歯には咬合の時と同じ機械的刺激が加わるようにして誘発刺激を与えると、咬筋活動が活発となり顎が挙上して下顎の切歯が金属板と接触した。接触後数十 msec の間咬筋活動は持続し、その後消失し、緊張性の顎二腹筋活動を伴った開口位で運動は停止した。このように片顎の歯根膜刺激だけでは周期性顎運動は誘発されなかった。

片側の切歯を上下共に歯冠部 $\frac{1}{3}$ の所で切断して反対側の切歯だけが咬合可能な状態で誘発刺激を加え、左右の顎二腹筋活動を観察した(図8)。すると、切断されずに接触可能な側の切歯が咬合して、反射性周期性顎運動はコントロールと何ら変化なく誘発された。

結局、咬合による歯根膜刺激が上下同時に起これば、片側の咬合だけでも反射性周期性顎運動を持続させ得るが、片顎のみの歯根膜刺激では周期的運動は持続できないことが明らかとなった。

片側でも切歯の咬合があれば反射性周期性顎運

動は持続し、運動自体には両側咬合時に比較して何の変化も認められなかった。そこで上下の切歯の咬合による歯根膜への刺激量を変化させることにより、誘発される運動にどのような変化が出現するか検討した。このために上下の切歯間にやわらかいゴム管を挿入して、歯根膜に急激な刺激が加わらないようにして誘発刺激を与えた。結果は図7・Dのごとく正常咬合時に比べ何の変化も認められなかった。さらに、もっとやわらかい小さな綿球を挿入して咬合させ、歯根膜刺激を和らげたが、周期性運動の発現には何の変化も観察されなかった。

結局、この反射性周期性顎運動には上下の切歯の咬合が必要であり、かつ咬合が少しでもあれば一定の周期で運動が持続することが明らかとなった。

3. 周期性顎運動時の口腔粘膜の刺激効果

周期的運動時に口唇および口腔粘膜に機械的刺激を加えると、運動の停止が観察された。そこで

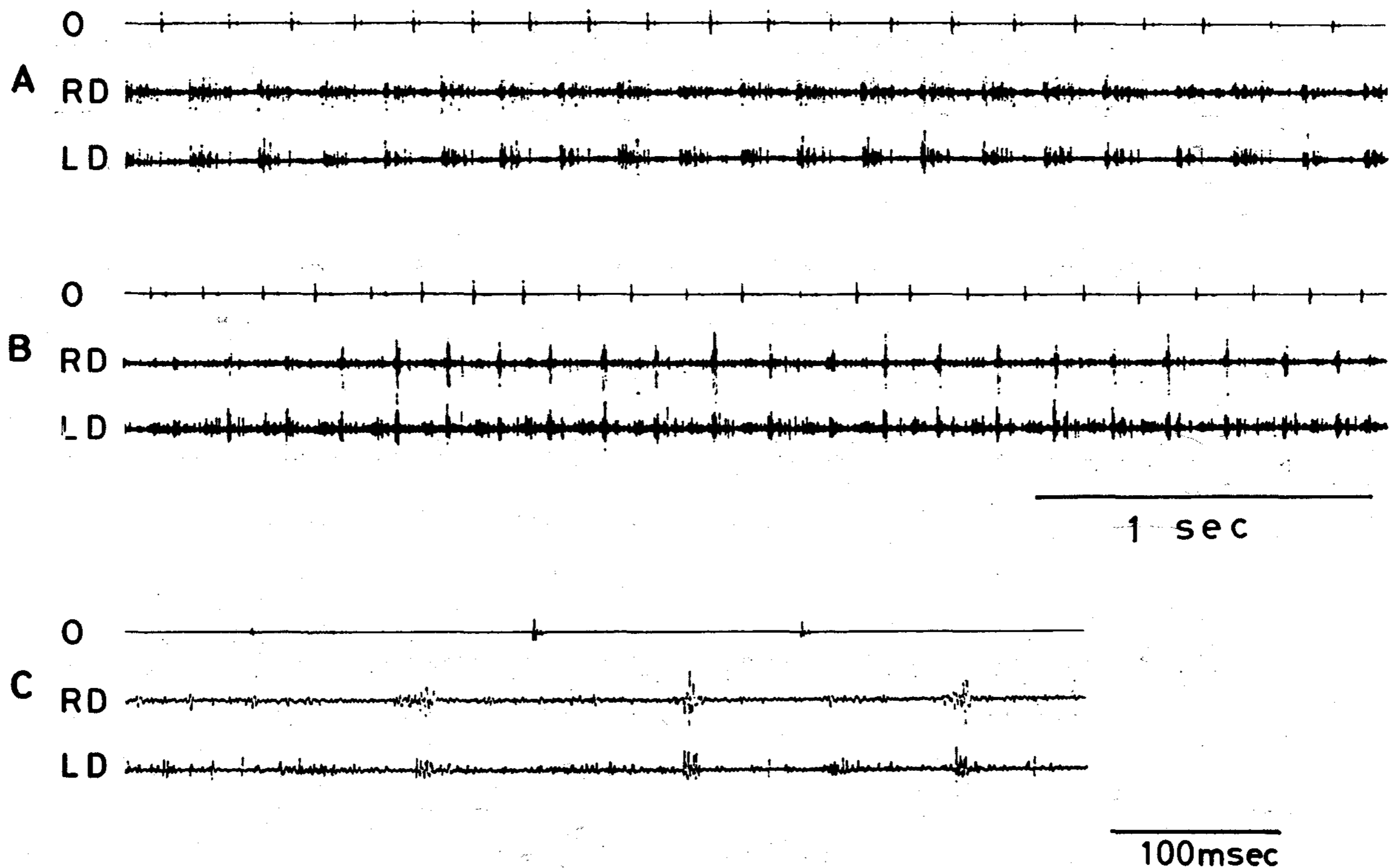


図8 片側だけの咬合による周期性顎運動

A: コントロール

BおよびC: 右側上下切歯歯冠部 $\frac{1}{3}$ 切断

Oは咬合の時点, RD および LD はそれぞれ右側および左側の顎二腹筋活動。

口腔粘膜の機械的刺激や味覚刺激が周期性顎運動にどのような影響を及ぼすか検討した。

誘発刺激により周期性顎運動を起こしておき、停止期に流動パラフィンスポットで口腔内へ投与したが、顎の周期的運動は活発とはならなかった。周期的運動期に流動パラフィンを投与すると、その瞬間運動は停止する。しかし、そのまま放置すると約5~6 sec 後には再び運動が始まった。

味覚刺激として $\frac{1}{4}$ M, $\frac{1}{2}$ M および 2 M の種々の濃度のショ糖溶液を使用した。これらのショ糖をスポットで口腔内へ投与したが、停止期および周期的運動期のいずれにおいても流動パラフィンと同様の結果を得た。図9には2 M のショ糖を投与した場合の周期的運動の変化を示した。

結局、口腔粘膜に流動物による機械的刺激が加わると、かなり弱い刺激であっても周期性顎運動は一時的に停止することが明らかとなった。ま

た、味覚刺激は周期性顎運動に一般の液体としての刺激以外には、味覚刺激としての特別な効果はなにも与えなかった。

4. フィードバック刺激

反射性周期性顎運動の誘発には咬合が必要であるが、このことは咬合による歯根膜の興奮が必要ということであろう。そこで次に、咬合による歯根膜の適正刺激の代りに電気刺激で周期的運動が誘発されるかどうか検討した。

顎運動を変位計で記録しておき、顎が挙上して上下の切歯が接触する位置で上下の切歯の歯根部に電気刺激が加わるような装置を考案した(図10)。この装置を上下の切歯の歯冠部 $\frac{1}{3}$ を切断して周期性顎運動が誘発されなくなったラットに應用すると、顎の挙上に同期して歯根膜は電気刺激され、咬合がなくとも自然の咬合と同じような興奮をする。すなわち、人工的な咬合状態が作り出される。このような刺激法を歯根膜のフィードバ

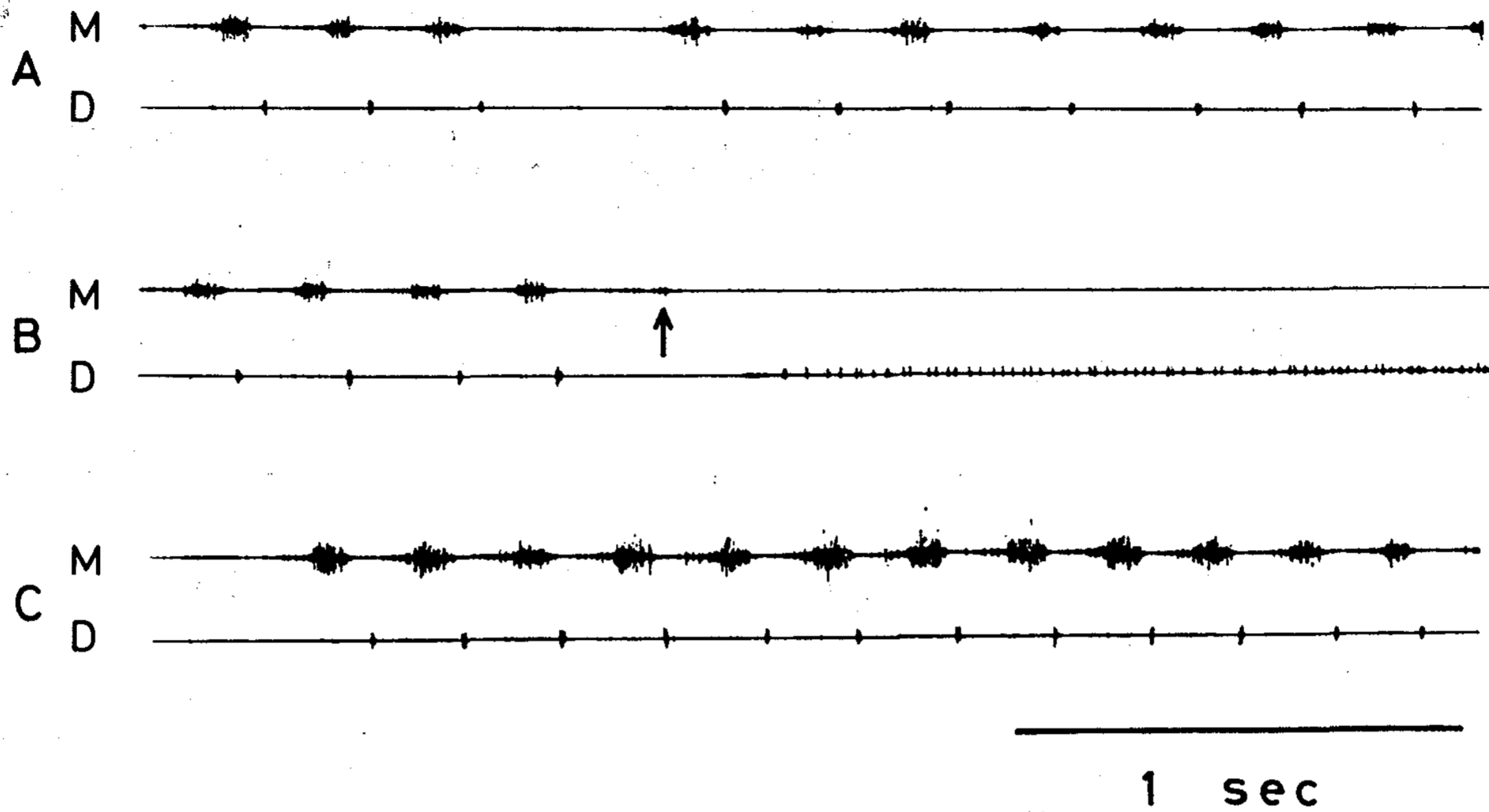


図9 周期性顎運動に対する口腔粘膜刺激の影響

- A: 刺激前
 - B: 2 M ショ糖の投与 (矢印)
 - C: 投与後約 6 sec
- MおよびDはそれぞれ左側の咬筋および顎二腹筋活動。

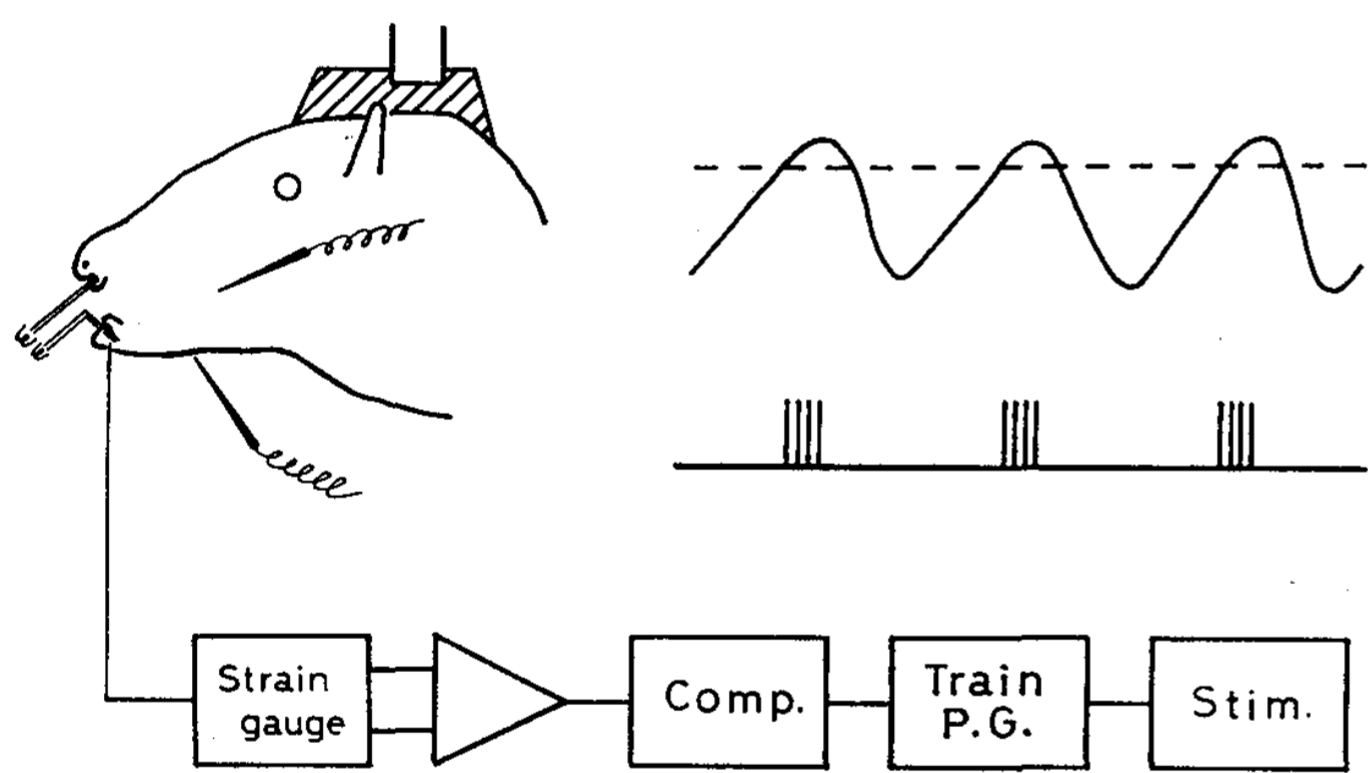


図10 フィードバック刺激のブロックダイアグラム (本文参照)

ック刺激と呼ぶことにする。電気刺激は、強さ 4.0 V, 間隔 10 msec のパルスで、一回の人工的咬合あたり 4 発を上下の切歯唇側 歯根部に与えた。

上記の条件下で誘発刺激を与えると、自然の咬合が可能な場合と同様、誘発刺激に対抗するように咬筋活動が活発となり顎が挙上した。続いて、本来ならば上下の切歯が接触する顎の位置で歯根部に電気刺激が加わり歯根膜が興奮して、人工的な咬合状態となる。すると、反射的に顎二腹筋は活動し、咬筋は抑制されて顎は開口した。しばらくすると咬筋活動が復活し、再び顎が挙上して同

じ動作をくり返えし、反射性周期性顎運動が人工的な咬合により誘発された。

しかしながら、歯根膜のフィードバック刺激による周期性顎運動は自然の咬合の場合と少し異なっていた。誘発刺激により咬筋活動が活発となり顎が挙上するところまでは自然の咬合による周期的運動と同じであった。しかし、咬筋は自然の咬合時には咬合の時点から約 50 msec 後まで活動が持続したが、人工的な咬合の場合には、咬合の時点より約 10 msec しか持続せず、次の運動の開始まで約 100 msec の間抑制されたままであった。一方、顎二腹筋の活動は人工的な咬合の時点より約 10 msec の潜時で 10 msec 持続するだけで、自然の咬合時に観察された約 80 msec の潜時を持つ活動は出現しなかった。結局、人工的な咬合の場合には自然の咬合時と比較して咬筋においては抑制の、顎二腹筋においては興奮の出現するまでの咬合時点からの潜時が共に著しく短くなっていることがわかった。さらに、人工的な咬合時には周期的運動の頻度は漸次長くなり、顎二腹筋活動には減衰が観察された (図11)。

フィードバック刺激による周期性顎運動の頻度は次第に低下していた。この原因として咬筋活動

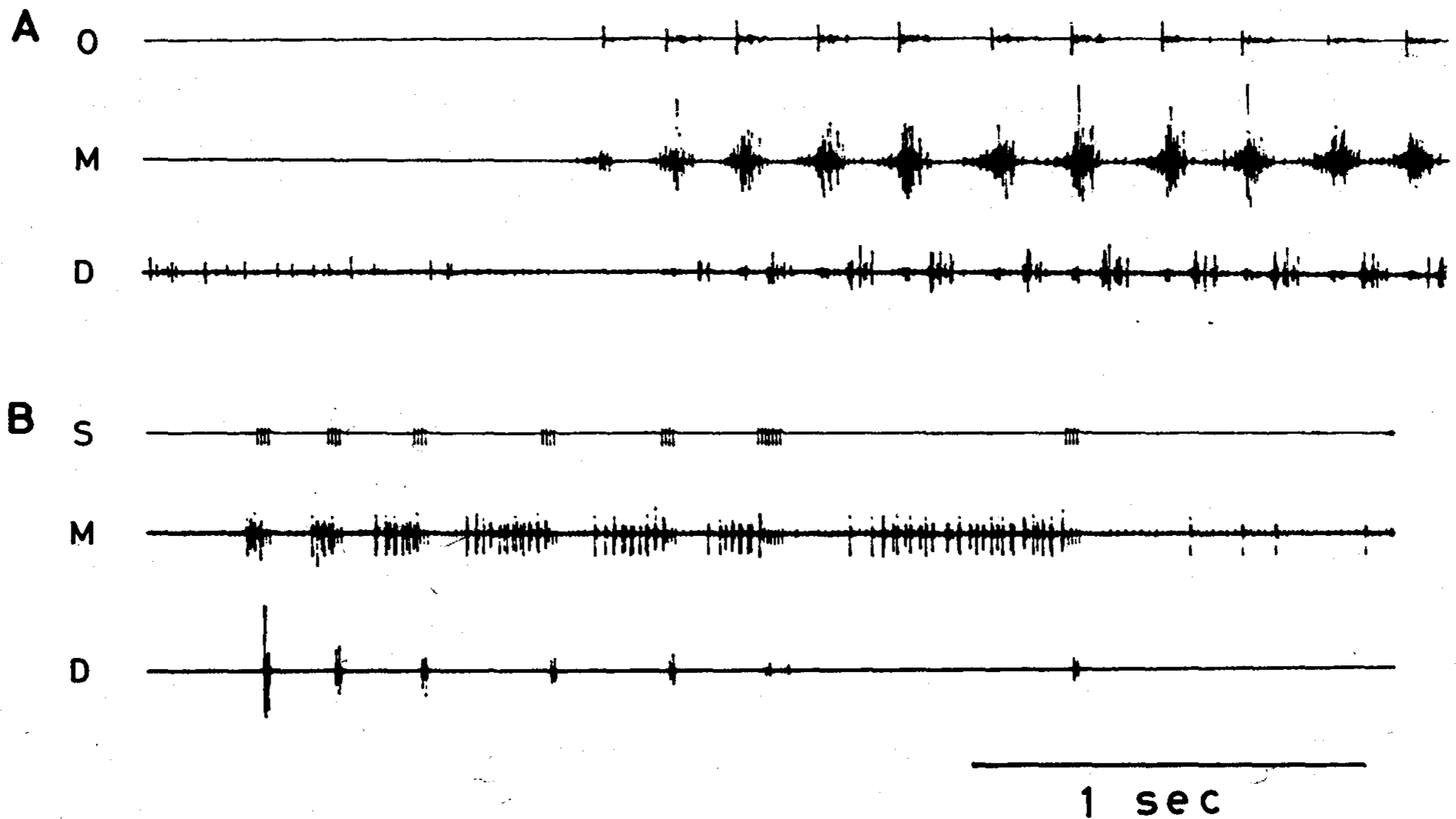


図 11 自然の咬合による周期性顎運動とフィードバック刺激による顎運動

A: 自然の咬合

B: フィードバック刺激

Oは咬合の時点を, Sは歯根部に与えた刺激の時点を示す。

MおよびDはそれぞれ咬筋および顎二腹筋活動を示す。

の開始から電気刺激の開始に至るまでの時間, すなわち顎の挙上に要する時間の延長が考えられた。そこでこの時間と, この咬筋活動に先行する顎二腹筋活動の大きさとの関係を求めると図12に示すようになり, これら両者間には反比例の関係が存在すると考えられる。

自然の咬合の場合には, 片顎の歯根膜刺激だけでは周期的な顎運動は持続できなかった。しかし, 歯根膜のフィードバック刺激による人工的な咬合の場合には, 閾値がかなり高いものの, 片顎の歯根部の電気刺激でも周期的な顎の開閉運動が誘発できた。しかし, この運動を詳細に観察して自然の咬合による周期性顎運動や, 上下顎の歯根部を同時刺激したフィードバック刺激時の運動と比較すると次のような差違が観察された。片顎の電気刺激の場合には刺激直後に顎二腹筋活動は認められるが, 顎の挙上に際し咬筋活動はまったく観察されなかった。さらに顎運動の頻度は常に10 Hzであり, 通常誘発される運動の頻度よりかなり速かった。

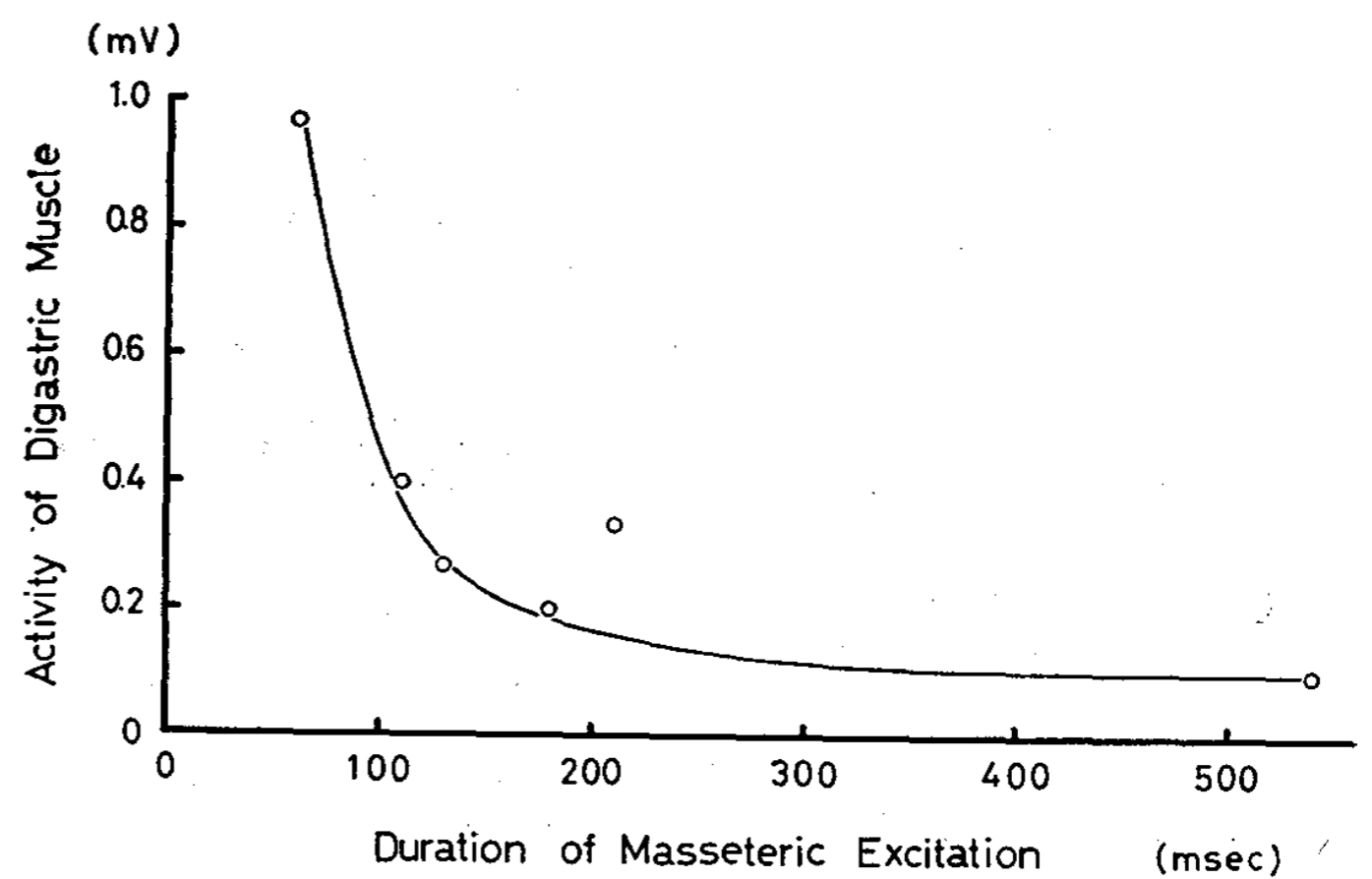


図 12 フィードバック刺激時の顎二腹筋活動と顎の挙上時間との関係

このような顎の開閉運動の機序は次のように説明される。片顎の歯根部の電気刺激の強さを大きくすれば顎二腹筋活動が大きく出現し, 顎は大きく開口する。このためリバウンドによる開口力も大きく, 咬筋活動がなくとも正常時の咬合位, すなわち電気刺激の加わる位置まで顎が挙上し, 10 Hz という速い頻度で運動が持続したものと考えられる。すなわち, 片顎の歯根膜の興奮だけで

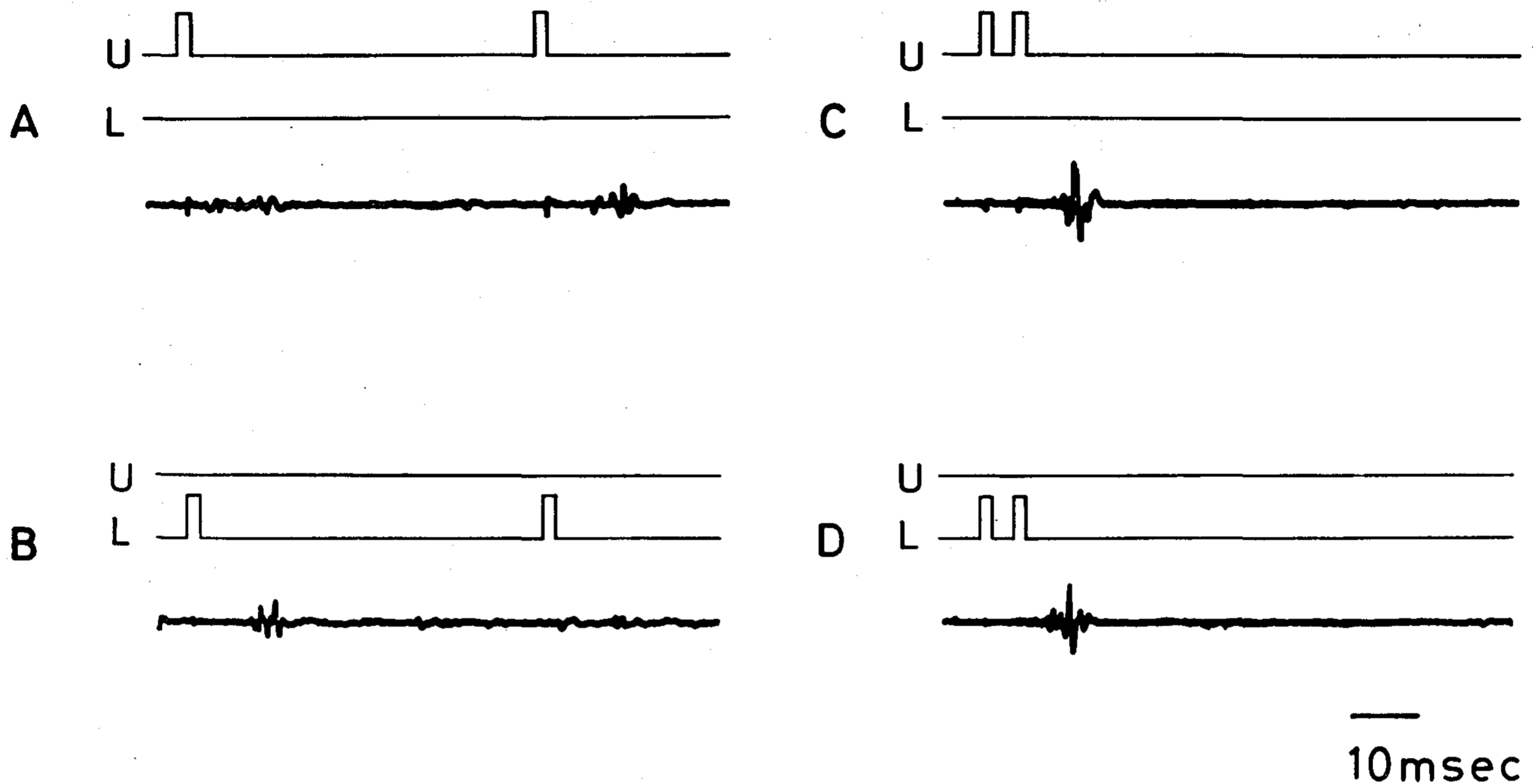


図 13 切歯歯根部の電気刺激に対する顎二腹筋の反応
(時間的加重)

AおよびC：上顎だけに刺激

BおよびD：下顎だけに刺激

UおよびLはそれぞれ上顎および下顎に加えた刺激の時点。

は周期的運動は起こらないと思われる。

5. 歯根膜入力による時間的・空間的加重

反射性周期性顎運動に上下の歯根膜からの同時の入力が必要であることから、上下の歯根膜刺激による加重が考えられた。そこで歯根部に電気刺激を与え、歯根膜からの加重現象について顎二腹筋のEMGで観察した。

図13では片顎からの時間的加重を示す。上顎または下顎の歯根部を別々に50 msecの時間間隔で2発刺激すると(図13・AおよびB)、それぞれ約10 msecの潜時で小さな顎二腹筋活動が観察された。この刺激の時間間隔を10 msec以内にするると図13・CおよびDに示すようにそれぞれに加重効果が認められた。

次に上下顎からの空間的加重について検討した。上下顎の歯根部を同時に刺激すると(図14・C)、上下別々に刺激した時より(図14・AおよびB)加重により大きく反応した。しかも刺激の時間間隔を10 msec以内で2発刺激するとその加重効果は著しく出現した(図14・D)。

これらのことから、上下の歯根膜からの入力は

時間的・空間的加重が著明であることが明らかとなった。

考 察

中枢の電気刺激により顎の開閉運動が誘発されることはかなり以前からよく知られ多くの報告がある。この中枢の電気刺激では中枢性の周期的活動が誘起され、顎の開閉運動に際して上下の歯牙は接触しなくともよい。さらに、刺激の強さを増せば運動の中心は開口方向に移動し、運動の振幅は小さくなる。Thexton (1971)²⁷⁾により末梢性に誘発される周期性の顎運動が報告されている。しかし、彼の報告によればその周期性顎運動は口腔粘膜の機械的刺激により誘発される舌運動を伴ったなめるような開閉運動であり、この運動でも咬合を必要とせず、やはり自然の咀嚼運動とはかなり異なっている。

今回報告する反射性周期性顎運動は、中枢を直接刺激せず正常に保ったままで末梢の受容器、特に咬合による歯根膜刺激により誘発された点で前述の2つの周期性顎運動と著しく異なっている。

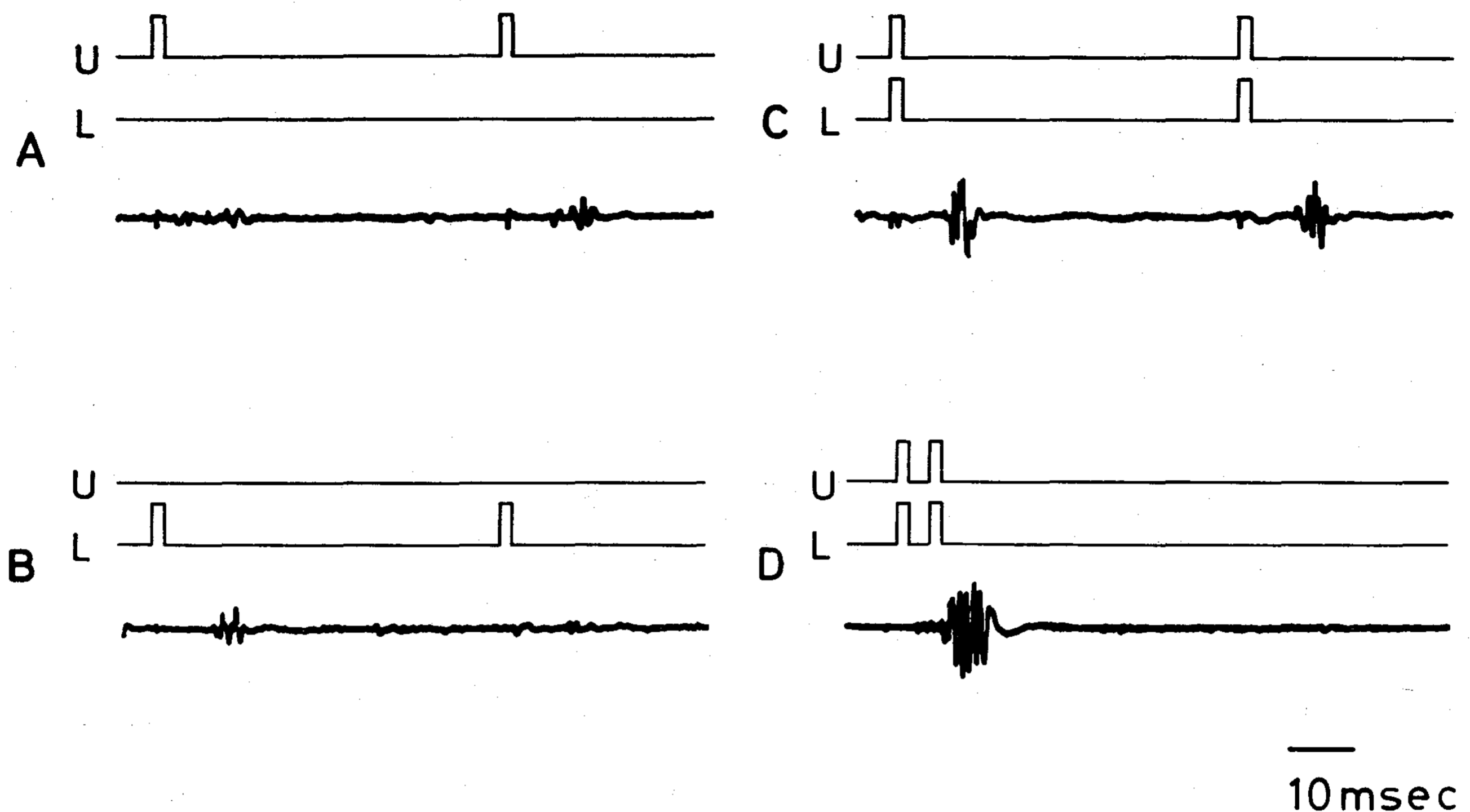


図 14 切歯歯根部の電気刺激に対する顎二腹筋の反応
(上下顎同時刺激による時間的・空間的加重)

- A : 上顎だけに刺激
 B : 下顎だけに刺激
 CおよびD : 上下顎同時刺激
 UおよびLは図13に同じ

1. 周期性顎運動

反射性周期性顎運動の誘発には下顎を後下方に押す必要があった。そしてこの誘発刺激により咬筋活動および顎二腹筋活動が相反性を保ちつつ共に活発となった。このように咬筋および顎二腹筋が活性化されている時に、上下の切歯が咬合すると初めて反射性周期性顎運動が誘発できると考えられる。咬筋活動および顎二腹筋活動の活性化を起こす誘発刺激が有効になるためには、下顎に加える力の方向が重要であった。このことから、閉口筋中の筋紡錘からの求心性入力だけでなく顎関節に存在する受容器からの求心性入力も咀嚼筋の活性化に重要な役割を持っていると考えられよう。

反射性周期性顎運動が誘発刺激の後、長時間持続するためには上下の切歯が咬合する必要があった。さらに、切歯の機械的刺激による歯根膜の興奮が片顎だけでは周期性顎運動は持続できなかった。しかも、ゴムや小綿球のようなやわらかいものをかませて歯根膜刺激を和らげても、周期性顎

運動は持続できた。以上のことから、咬合により少しでも上下の歯根膜が興奮すれば周期性顎運動が誘発され、持続できることが明らかとなった。

歯根部の電気刺激による顎二腹筋の反射活動に時間的・空間的加重が著しい点も、周期性顎運動の誘発と密接な関係があるろう。

結局、反射性周期性顎運動は、バックグラウンドに活性化された咬筋と顎二腹筋の活動が必要であり、咬合による歯根膜入力により制御された結果出現したものと考えられよう。

反射性周期性顎運動の持続条件として、咬合による上下顎の歯根膜の興奮による中枢の活性化と制御が考えられるが、電気刺激を用いた歯根膜のフィードバック刺激の場合にも同様なことが当然当てはまる。しかし、電気刺激時には周期的運動は約1 secしか持続できなかった。この理由として次のことが考えられる。すなわち、歯根膜刺激として使用された電気刺激が適正刺激でなく、歯根膜の動き受容器以外に痛みの受容器や、さらには歯肉などの口腔粘膜に存在する多くの受容器を

同時に刺激するため、バックグラウンドに存在した咬筋と顎二腹筋の活動が速かに減衰することが原因となっていると考えられる。このことは、周期性顎運動中に流動物で口腔粘膜を少し刺激するだけで運動が停止したことからも明らかである。

2. 顎運動の周期

顎運動の周期性に関しては、中枢の電気刺激による多くの研究から、Chewing-center²⁶⁾の存在が考えられて来ている。そして中枢性の顎運動の頻度は3~7 Hz 付近であり^{4,25)}、Thexton (1971)²⁷⁾により報告された周期的運動も4 Hzであった。本研究で明らかにされた歯根膜を介して持続する反射性周期性顎運動の周期も他の周期的運動とほぼ同じく3~7 Hz であり、Chewing-center との関連も考えられる。

歯根膜のフィードバック刺激による周期性顎運動においては周期が次第に延長するという事実があった。自然の咬合による周期的運動と人工的な咬合による周期的な運動との大きな違いは、開口力となる顎二腹筋活動に認められた。すなわち、咬合の時点より開口までの潜時が、前者では80 msec、後者では10 msec と著しく異なっている。しかし、これらの潜時はそれぞれの条件下では一定しており、フィードバック刺激の場合に周期が次第に延長した原因とはならない。

歯根膜のフィードバック刺激による人工的な咬合においては、顎二腹筋活動から次の咬筋活動の開始時点までの時間は約100 msec で一定していた。結局、人工的な咬合の場合で運動の周期を次第に延長させている原因として、咬筋活動の出現する時点から正常の咬合位まで下顎が挙上するに要する時間が考えられる(図11)。しかも、この時間の延長は図12から明らかなように顎二腹筋活動の減衰と一致している。

顎二腹筋の電気刺激に対する反応に関しては、Hannam (1973)¹⁶⁾の報告などがあり、歯根膜を連続刺激すると減衰することが知られている。しかし、本実験で認められた減衰はゆっくりとしており、上記の報告に比べると時間経過に相違がある。

フィードバック刺激による咬筋活動の減衰は、

電気刺激により歯根膜の動き受容器以外の受容器も興奮することが原因であると考えられる。

3. 咬合時にみられる EMG の変化

反射性周期性顎運動の際に上下の切歯の咬合の初期に図6に示すような咬筋および顎二腹筋活動に相反性の興奮と抑制が観察された。咬合時から6 msec の時点で咬筋活動の抑制と顎二腹筋活動の興奮が観察され、続いて8 msec の時点では大きな咬筋活動と顎二腹筋活動の完全な抑制があり、そして10 msec の時点で咬筋活動の抑制と顎二腹筋活動の興奮があった。この後約75 msec まで続く顎二腹筋活動の変化は、顎運動に伴う電極の動きが加算されたものと考えられる。

咬合の初期に観察される活動のうち、最初に出現する6 msec の時点の活動は現在まで報告がない。これに続く8 msec の時点の活動と同様の結果はGoldberg (1971)⁹⁾が人間で観察し、Periodontal-masseteric reflex と名付けて報告している。彼の報告によれば、臼歯部に木片をかませて咬筋にバックグラウンド EMG を誘発しておき、切歯に機械的刺激を加えるかまたは切歯の近くの歯肉を電気刺激すると、通常観察される咬筋活動の抑制^{8,14)}の直前に興奮が観察される。彼はさらにネコやサルでも同様のことを観察し報告している^{10,11)}。

10 msec の潜時で出現する最後の反応は、咬筋の Silent period^{1,2,12)}あるいは Silent EMG^{28,29)}として多くの報告があり、臨床的にも注目されている^{3,21,22)}。この咬筋の Silent period もバックグラウンドな活動がないと出現しない^{6,7,13,15)}。

Kawamura & Fujimoto (1958)¹⁸⁾はウサギとネコでこの Silent period を観察している。これによれば、閉口筋を収縮させておき口腔粘膜に電気刺激を加えると約6 msec の潜時で顎二腹筋の一過性の活動とこれに相反性に咬筋の抑制が出現し、抑制は約10 msec 持続するという。今回の実験結果は潜時や持続時間に多少の違いはあるものの、ほぼ同じ傾向を示している。

周期性顎運動の咬合の初期には、咬筋活動が活発であり、さらに顎二腹筋も興奮しやすくなっているため強い相反性の活動が出現したのと考え

られる。

要 約

浅く麻酔したラットで観察された反射性周期性顎運動に関して検討し、以下のことが明らかとなった。

1. 下顎を後下方に押したのち力をゆるめると、咬筋および顎二腹筋活動が活発となる。この時上下の切歯が咬合すると3~7 Hzの反射性周期性の顎運動が誘発された。

2. この周期性顎運動には咬合による歯根膜からの求心性入力が必要であり、下顎の挙上が十分に上下の切歯が咬合すればこの運動は容易に持続した。

3. 一側の切歯の咬合による極めて弱い歯根膜刺激でもこの運動は持続したが、片顎の歯根膜刺激だけでは持続しなかった。

4. 咬合による歯根膜刺激の代わりに顎の挙上に同期した電気刺激で上下の歯根膜を同時に刺激すると、咬合がなくとも周期的運動は再現できた。

5. 上下の切歯が咬合すると、その直後に咬筋および顎二腹筋はそれぞれ多相性の活動を示し、両者の間には著しい相反性の関係が認められた。

稿を終るに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜った島田久八郎教授に対し衷心より謝意を表し、併せて本実験を行うにあたり種々御指導、御協力を戴いた口腔生理学教室諸兄に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) Ahlgren, J. : Kinesiology of the mandible. An EMG study. *Acta odont. scand.* **25**: 593-611, 1967.
- 2) Ahlgren, J. : The silent period in the EMG of the jaw muscles during mastication and its relationship to tooth contact. *Acta odont. scand.* **27**: 219-227, 1969.
- 3) Bremnam, H. S., Black, M. A. and Coslet, J. G. : Interrelationship between the electromyographic silent period and dental occlusion. *J. Dent. Res.* **47**: 502, 1968.
- 4) Dellow, P. G. and Lund, J. P. : Evidence

for central timing of rhythmical mastication. *J. Physiol.* **215**: 1-13, 1971.

- 5) Frontera, J. G. : Some results obtained by electrical stimulation of the cortex of the island of reil in the brain of the monkey (*Macaca Mulatta*). *J. Comp. Neurol.* **105**: 365-394, 1956.
- 6) Gillings, B. R. D. : Inhibition of masticatory muscle activity after stimulation. *J. Dent. Res.* **53**: 141, 1974.
- 7) Gillings, B. R. D. and Klineberg, I. J. : Latency and inhibition of human masticatory muscles following stimuli. *J. Dent. Res.* **54**: 269-279, 1975.
- 8) Goldberg, L. J. and Nakamura, Y. : Lingually induced inhibition of masseteric motoneurons. *Experientia (Basel)*. **24**: 371-373, 1968.
- 9) Goldberg, L. J. : Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man. *Brain Reserch.* **32**: 369-381, 1971.
- 10) Goldberg, L. J. : The effect of jaw position on the excitability of two reflexes involving the muscle in man. *Archs oral Biol.* **17**: 565-576, 1972.
- 11) Goldberg, L. J. : An excitatory component of the jaw opening reflex in the temporal and masseter muscles of cats and monkeys. *Experimentia.* **28**: 44-46, 1972.
- 12) Griffin, C. J. and Munro, R. R. : Electromyography of the jaw-closing muscles in the open-close-clench cycle in man. *Archs oral Biol.* **14**: 141-149, 1969.
- 13) Hannam, A. G. and Matthews, B. : Reflex jaw opening in response to stimulation of periodontal mechanoreceptors in the cat. *Archs oral Biol.* **14**: 415-419, 1969.
- 14) Hannam, A. G., Matthews, B. and Yemm, R. : Changes in the activity of the masseter muscle following tooth contact in man. *Archs oral Biol.* **14**: 1401-1406, 1969.
- 15) Hannam, A. G., Matthews, B. and Yemm, R. : Receptors involved in the response

- of the masseter muscle to tooth contact in man. *Archs oral Biol.* **15**: 17-24, 1970.
- 16) Hannam, A. G. : The effect of repetitive stimulation on the jaw-opening reflex in the cat. *Archs oral Biol.* **18**: 155-163, 1973.
- 17) Jerge, C. R. : The neurologic mechanism underlying cyclic jaw movements. *J. Pros. Den.* **14**: 667-681, 1964.
- 18) Kawamura, Y. and Fujimoto, J. : A study on the jaw opening reflex. *Med. J. Osaka Univ.* **9**: 377-386, 1958.
- 19) Kawamura, Y. and Tsukamoto, S. : Analysis of jaw movements from the cortical jaw motor area and amygdala. *Jap. J. Physiol.* **10**: 471-488, 1960.
- 20) Lund, J. P. and Dellow, P. G. : The influence of interactive stimuli in rhythmical masticatory movements in rabbits. *Archs oral Biol.* **16**: 215-223, 1971.
- 21) Matthews, B. and Yemm, R. : A silent period in the masseter electromyogram following tooth contact in subjects wearing full dentures. *Arch oral Biol.* **15**: 531-535, 1970.
- 22) McNamara, D. C. : Electrodiagnosis at median occlusal position for human subjects with mandibular joint syndrome. *Archs oral Biol.* **21**: 325-328, 1976.
- 23) Morimoto, T. and Kawamura, Y. : Properties of tongue and jaw movement elicited by stimulation of the orbital gyrus in the cat. *Archs oral Biol.* **18**: 361-372, 1973.
- 24) Sherrington, C. S. : Reflexes elicitable in the cat from pinna vibrissae and jaws. *J. Physiol., London.* **51**: 404-431, 1917.
- 25) Sumi, T. : Some properties of cortically-evoked swallowing and chewing in rabbits. *Brain research.* **15**: 107-120, 1969.
- 26) Sumi, T. : Modification of cortically-evoked rhythmic chewing and swallowing from midbrain and pons. *Jap. J. Physiol.* **21**: 489-502, 1971.
- 27) Thexton, A. J. : Experimentally elicited cyclic jaw movement. *J. Dent. Res.* **50**: 696-697, 1971.
- 28) Yemm, R. : The response of the masseter and temporal muscles following electrical stimulation of oral mucous membrane in man. *Archs oral Biol.* **17**: 23-33, 1972.
- 29) Yemm, R. : Reflex jaw opening following electrical stimulation of oral mucous membrane in man. *Archs oral Biol.* **17**: 513-523, 1972.