The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	咀嚼運動調節機構の生理的特性に関する研究
Author(s)	中村, 隆志
Citation	大阪大学, 1987, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/35340
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

咀嚼運動調節機構の生理的特性に関する研究

中　村　隆　志

（昭和62年 1月 9日受付）

緒言

咀嚼は食物を摂取してからこれを食塊にして嚥下するまでに口腔内で行われる運動であり、顎筋、舌筋、顔面筋の協調活動によって行われている。また咀嚼時の下顎運動は肉食動物、草食動物などそれぞれの動物種に特有のパターンを有するが[1]、どの動物種においても閉口筋と開口筋が交互に収縮することに

よっておこるリズミカルな運動である点で共通しており、その咀嚼リズムや咀嚼筋活動量など咀嚼時の下顎運動パターンは基本的には脳幹部のパターンジェネレーターにおいて構成されている[2]。しかし実際の咀嚼運動においては、咀嚼リズムや筋活動が食物の性状や大きさによって変化するなど、末梢からの感覚入力によって調節されているものと考えられる。また、咀嚼時のリズミカルな下顎運動について、1咀嚼ストロークは上下歯の咬合している状態から開口し、最大開口位に達したのち、再び咬合位に達する過程であると考えることができ、咀嚼リズムを意識的に変化させて、咀嚼ストロークの時間的要素を変えた場合、および咬合を挙上することにより、1咀嚼ストロークの開始点あるいは終止点の空間的要素を変化させた場合、脳幹部のパターンジェネレーターはこれらの変化に対応して、下顎運動や咀嚼筋活動の調節を行うことが考えられる。これまで、咀嚼運動中の下顎

運動や咀嚼筋活動については多数の報告[3-12]がなされているが、パターンジェネレーターが上記の種々な条件の変化に対して、どのように下顎運動パターンを調節するかの生理的機構についてはなお十分に解明されていない。

そこで、本研究はヒトを対象として、1)性状の異なる食物を咀嚼させた場合、2)食物の性状を一定にして、咀嚼リズムを変化させた場合、さらに、3)咬合高径を変化させた場合、どのように中枢のパターンジェネレーターが対応するかを知る目的で以下のような 3種の実験を行い、下顎運動や咀嚼筋活動の変化を分析し、パターンジェネレーターによる下顎運動の調節機序に考察を加えたものである。

実験方法

被験者

顎口腔系にとくに異常の認められない、いわゆる個性正常咬合をもつ健康成人総計29名

（男子23名、女子 6名、平均年齢23.8才）を対象とした。

下顎運動および筋電図記録

3種類の実験のいずれにおいても下顎運動と咀嚼筋筋電図を同時に記録した。このため、被験者を歯科用治療椅子に眼耳平面が床と平行になるように座らせ、用意したテスト用の食物を咀嚼しやすい側で一側性に咀嚼するように指示した。

咀嚼中の下顎運動をマンディブラーキネジオグラフ(K5,Myo-tronics Research Inc.)[13]を用いて記録した。実験終了後、厚さ 4，8，12，16，20mmの 5種類のアクリル板を被験者の口腔内に挿入し、上下顎左側中切歯間で約 5秒間ずつ咬ませた状態で記録を行い、垂直的な開口距離の校正記録とした。

下顎運動と同時に咬筋および顎二腹筋前腹より表面電極（内径 4mm)を用いて、筋活動を両側性に記録した。いずれの筋においても電極を筋腹の中央部に極間距離約20mmで、筋

の走行に沿うように貼布した。また不関電極（内径 8mm)を前額部につけた（図 1・A）。

下顎運動と筋活動を14ch用データレコーダー(UFR-61430,SONY Magnescale)に収録したのち、データ処理を行った。すなわち咀嚼開始からの10咀嚼ストロークについて、下顎運動、咬筋および顎二腹筋の筋電図とそれらの積分波形をオシロペーパー上に再生し（図 1・B）、デジタイザー（MITABLET,GRAPHTEC)とマイクロコンピューター（MZ-2000,Sharp)を用いて以下の項目について分析を行った。

下顎運動については、(1)開口開始からつぎの開口開始までの1咀嚼サイクルの持続時間（Total Cycle Length,TCL)、(2) 1咀嚼サイクルを、開口相（Opening Phase,OP）、閉口相（Closing Phase,C1)、咬合相（OcclusionPhase,C2)の 3相に分けた場合の各咀嚼相の持続時間、(3)最大開口度。

筋活動については、(1)咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間、(2)両筋の 1バ

ースト放電あたりの筋活動量、および(3)両筋バーストの放電タイミング。

実験1　食物の性状と下顎運動および咀嚼筋活動

実験は 9名の被験者（男子 7名、女子 2名）を対象に行った。体積約 2cm³の、硬さ、弾力性、粘着性などの異なる 5種類の食物（マシュマロ、クリスプブレッド、チーズ、ニンジン、スルメ）を用意し被験者に咀嚼させた。これら 5種類の食物の性状を表 1に示した。試料として用いた食物の性状は硬さや弾力性など一つの物理的基準にしたがって定量的に表わすことが望ましいが、実際上、これら 5種類の食物を同一の物理的基準で測定するのが困難なのでTexture Profile[14]を用いて表した。いずれも固形の食物で、マシュマロは軟らかくスポンジ状、チーズは軟らかく粘着性があり、クリスプブレッドはやや硬く破砕

性があり、ニンジンは硬くて線維性、スルメは硬く強靭な食物に分類された。1回のテストではこれらの食物のいずれか一つを選んで嚥下するまで自由に咀嚼させた。5種類の食物を与える順序はランダムとした。

実験で用いた5種類の食物について咀嚼の難易性を感覚的に評価するため、別に20名の被験者を用いて、被験者がスルメを咀嚼した際の咀嚼し難さ（咀嚼難易性）を100%としたときの各食物の咀嚼の難易性を各被験者の感覚による数値で表現する咀嚼難易性感覚テストを行った。

実験2　咀嚼リズムの変化と下顎運動および咀嚼筋活動

10名の被験者（男子 8名、女子 2名）を対象に行った。試料として、義歯用ガム（フリーゾーン、ロッテ）[15] 1枚を用い、あらかじめ口腔内で約1分間咀嚼させ充分に軟化さ

せたのち実験を行った。咀嚼リズムを変化させる手段は音の合図による誘導を行い、被験者に音の合図にあわせて、左右どちらか一側でガムを咬むように指示した。この音の合図はデジタル型スティミュレーターを利用して与え、合図の頻度を1.5，2，3，4，5，6 Hzの 6通りに変化させた。いずれの誘導頻度を用いるかの順序はランダムとし、あらかじめ音の合図を聞かせたあとで、各誘導頻度で約40回ずつ咀嚼させた。

実験３　咬合高径の変化と下顎運動および咀嚼筋活動

実験は10名の被験者（男子 8名、女子 2名）を対象に行い、試料として実験２と同じく義歯用ガム（フリーゾーン、ロッテ）を用いた。咀嚼の頻度は各被験者の固有な咀嚼頻度および音の合図により誘導された 3Hzの咀嚼頻度の 2通りを用い、各々の咀嚼頻度で約40回づ

つ咀嚼させた。

咬合高径を変化させる装置として、上顎の全歯列を覆うタイプのバイトプレーンを温熱重合透明アクリリックレジンによって製作した。バイトプレーンは両側の臼歯部が均等に接触し、しかも咬合挙上量が前歯部で 2，5，8mmとなるように各被験者について 3種類ずつ作製した。バイトプレーンは、下顎臼歯の機能咬頭頂が均等に点接触し、自由に側方運動および前方運動が行えるように咬合面の調整を行った。研磨後、ガムが咬合面に付着するのを防ぐためレジン表面滑沢硬化処理（パーマキュア、ＧＣ）を行った。実験では、バイトプレーンなしでガムを咬ませて記録を行ったのち、3種類のバイトプレーンの各々をランダムな順序で口腔内に挿入して記録を行った。バイトプレーン挿入後、実験開始前に各被験者に30秒から 1分間程度ガムを咬む練習をさせた。実験中にバイトプレーンが動揺するのを防ぐため、シアノアクリレート系接

着剤にてバイトプレーンを上顎歯列に固定した。

上記の実験1,2,3のいずれにおいても疲労による影響を避けるため、各試行の間には約 1分間の間隔をとった。

実験結果

1. 食物の性状と下顎運動および咀嚼筋活動

性状の異なる食物を咀嚼した場合、嚥下するまでの咀嚼回数は各食物間で異なった。下顎運動および咀嚼筋活動の相違も認められた(図 2)。

a)咀嚼回数

5種類の食物間で咀嚼動作に最も著しい相違が認められたのは、食物を摂取してから嚥下するまでの咀嚼回数であった。硬くて強靭なスルメでは嚥下までの咀嚼回数が他のすべての食物に比べて有意に多く($p<0.01$)、また

比較的硬い食物であるニンジンおよび粘着性のチーズを咀嚼するときは、軟らかくスポンジ状のマシュマロ咀嚼に比べて有意に多くなった(図 3・A)。

b)咀嚼筋活動

これら 5種類の食物を咀嚼するとき、咬筋活動量が咀嚼の経過にともなってどのように変化するかを知るため 9名の被験者について、1回目から10回目までの各ストロークの平均活動量を求めた。その結果、各ストロークごとの咬筋活動量の変化は比較的少なかった(図 4・A)。そこで、10ストローク分の平均活動量を、各食物を咀嚼するのに要する筋活動量を代表するものと考え、各食物間で比較した。顎二腹筋についても同様な比較を行った。咬筋および顎二腹筋の 1回の咀嚼ストロークあたりの平均筋活動量を求め，図 3・Bに示した。スルメ咀嚼では咬筋活動量が他の食物に比べて有意に大きく($p<0.01$)、クリスプブレッドやニンジンなどの硬い食物でも、

マシュマロやチーズなどの軟らかい食物に比べやや大きくなる傾向が認められた。したがって、閉口筋の活動量は全般的には食物の硬さや強靱さに対応して変化すると考えられる。一方、顎二腹筋の筋活動量も食物の性状によって相違しスルメ咀嚼時は、チーズ、ニンジン、マシュマロに比べて筋活動は有意に大きくなった($p<0.05$)。他の食物咀嚼時についても、顎二腹筋活動量は咬筋活動の場合と同様な傾向が認められたが、一般に、食物間の差は咬筋活動量の場合ほどには著しくなかった。

以上の結果から、硬い食物や強靱な食物は嚥下までの咀嚼回数が多くなるとともに、咀嚼時の咀嚼筋活動量も増大する傾向が認められたので、つぎに、両者の相関関係を求めた。マシュマロ咀嚼時の筋活動量を100%として表すと、咬筋（図 5・A）および顎二腹筋（図 5・B）においてともに正の相関が認められたが、とくに咬筋において相関が高かった。したがって、嚥下までに多くの咀嚼回数を要

する食物ほど咬筋の筋活動量も大きくなる傾向があるといえる。しかし、これら 2つの変数（咀嚼回数と筋活動量）によって評価した食物の順位は必ずしも一致しない。例えば、チーズ咀嚼では、咀嚼回数はマシュマロやクリスプブレッドより多いが咬筋活動量はこれら 2つの食物より小さくなっている。そこで、これらの食物の咀嚼しやすさの順序を決める指標として1ストローク分の咬筋活動量の平均値と咀嚼回数の平均値を掛け合わせたもの、すなわち各食物を嚥下するまでの咬筋の総活動量が利用できるのではないかと考え、この値を各食物について求めた。その結果、マシュマロ、クリスプブレッド、チーズ、ニンジン、スルメの順に値が大きくなっていた（図 4・B）。そこで、咀嚼回数、 1咀嚼ストロークの咬筋平均活動量および咬筋の総活動量のいずれがもっとも咀嚼の難易性を表す指標として用いられるかを検討するために、20名の被験者を対象に、咀嚼の難易性感覚テスト

を行った。その結果、スルメを100%とした場合、マシュマロ12.8±10.0%、クリスプブレッド15.0±9.0%、チーズ16.2±9.4%、ニンジン30.7±18.0%（図 6）の順に咀嚼し難いと感じており、この順序は咀嚼回数および咬筋の総筋活動量の順と一致した。しかし、咀嚼難易性の感覚テストによるスルメを基準とした各食物の評価（感覚評価値）は、咀嚼回数によって表したものと咬筋の総活動量によって表したものの、ほぼ中間の値を示した。したがって、これら両者はいずれも咀嚼の難易性の順序を示す指標となり得ると考えられるが、感覚評価値とは必ずしも一致しない。しかし、後に考察するように咬筋の総活動量のほうが咀嚼回数より感覚評価値により近いと考えられる。

c)下顎運動と咀嚼筋のバースト放電持続時間および筋活動タイミング

下顎運動のパターンやリズムが食物の性状によってどのように影響されるか、また運動

の背後にある咀嚼筋活動の持続時間やタイミングがどのように影響されるかを調べた。

各食物を咀嚼したときの最大開口度の平均値はマシュマロでは他の食物に比べて有意に小さな値（13.8mm，$p<0.05$)をとるが他の食物間には有意差は認められなかった(図 7・A)。1咀嚼サイクルの持続時間(TCL)の平均、いいかえれば咀嚼リズムの遅さを比較すると、スルメが他の食物に比べて有意に大きな値(830ms,$p<0.05$)を示すが、他の食物間では有意差が認められなかった(図 7・B)。すなわち、スルメは他の食物に比べて咀嚼の速度が遅いといえる。

筋活動について 1咀嚼サイクルあたりの咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間を調べると、咬筋のバースト放電持続時間はスルメ咀嚼時の値がマシュマロ咀嚼の場合に比べて有意に長くなっていた($p<0.01$)(図 7・C)。スルメ以外の食物間では、咬筋のバースト放電持続時間に有意差は認められず、顎二腹筋

のバースト放電持続時間はすべての食物間で有意差が認められなかった。したがって、咀嚼筋のバースト放電の持続時間においても、閉口筋は開口筋に比べて、より鋭敏に食物の性状に対応して変化するといえる。しかしながら、各食物別に平均を求めると、スルメ以外に有意差の認められなかったＴＣＬも、各被験者の個々の咀嚼ストロークにおいては値のバラツキがみられた。そこで、さらに各咀嚼ストロークの筋放電持続時間とＴＣＬの相関関係を求めた。図 8に一例を示すように、咬筋、顎二腹筋のいずれでも、ＴＣＬとバースト放電持続時間との間に高い正の相関($p<0.001$)が認められた。しかし、回帰直線の傾斜は、咬筋の方が顎二腹筋よりも大きくなっていた。このような傾向は、表 2に示す 9名の被験者で計測されたＴＣＬと咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間との間の相関の平均においても認められた。したがって、スルメと他の食物間で認められるような食物の

性状の相違により生ずる咀嚼リズムの違いには閉口筋のバースト放電持続時間が、開口筋のそれよりも大きく影響を与えるといえる。さらに、開口開始時を 1咀嚼ストロークの基準点として咬筋および顎二腹筋の放電開始および終了時のタイミングを調べると図 9に示すように、顎二腹筋のバースト放電の終止と咬筋バースト放電の開始とのインターバル（D－Mインターバル）および咬筋バースト放電の終止と顎二腹筋バースト放電の開始とのインターバル（M－Dインターバル）には異なる食物間で有意差は認められなかった。したがってスルメ咀嚼におけるこのような咀嚼リズムの遅延は主として咬筋のバースト放電持続時間の延長の結果にもとずいていることが明らかとなった。

なお以上のような、スルメ咀嚼における筋バースト放電の持続時間の延長の結果は、下顎運動においては主として閉口相と咬合相の延長として表われ、開口相の延長はわずかで

あった。

2. 咀嚼リズムの変化と下顎運動および咀嚼筋活動

実験1の結果からヒトが食物を咀嚼する場合、食物の性状の相違によって咀嚼リズム、が相違する場合、その差は主として閉口筋のバースト放電持続時間にもとずくことが示された。しかし、食物の性状を一定にして咀嚼リズムのみを変化させた場合にも同様な結果が得られるかどうか、すなわち、咀嚼のパターンジェネレーターの特性として咀嚼リズムとバースト放電持続時間さらに筋活動量との相関が一定不変のものであるか否かは不明である。そこで、次に咀嚼する試料をガムに統一して、咀嚼リズムのみを音の合図にあわせて誘導し、変化させた場合に下顎運動および筋電図活動がどのように変化するかを10名の被験者を用いて分析した。

a)咀嚼筋活動のタイミング

咀嚼リズムを誘導した場合、リズムの変化にともなって、下顎運動および筋電図活動が変化した(図10)。このようなリズムと筋放電タイミングの関係を、各誘導頻度ごとに10サイクル分の平均として求め、開口初めを基準として図11に例示した。図から明らかなように、咀嚼リズムの上昇にともなって、咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間は短くなった。しかし、実験1で示した各種の食物咀嚼の場合とは異なって、閉口筋と開口筋のバースト活動の開始と終止のタイミングも変化した。そこでまず、咀嚼リズムの変化にともなう咀嚼筋のバースト放電タイミングの変化、とくに顎二腹筋バースト放電の終止とそれに続く咬筋バースト放電の開始とのインターバル(D－Mインターバル)、および咬筋バースト放電の終止とそれに続く顎二腹筋バースト放電の開始とのインターバル(M－Dインターバル)の変化を10名の被験者につい

て調べた。図12の黒丸は各個人の値をまた白丸は10名の平均値を表すが、1.5Hzから 3Hzまでは誘導頻度の上昇にともなってD－Mインターバルは急激に短縮するが（図12・A）、それ以上の頻度では短縮は緩やかになった。これに対しM－Dインターバルもまた誘導頻度の上昇にともなって変化していたが、その変化はD－Mインターバルに比べて小さかった（図12・B）。また、比較的高い誘導頻度においては、M－Dインターバルでは、マイナスの値で示されるように両筋のバースト放電に重なりがみられた。

咀嚼リズムを誘導して変化させた場合の咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間の変化を調べた。図13に、TCLと両筋の放電持続時間との相関を求めた一例を示した。TCLと咬筋の放電持続時間との間、またTCLと顎二腹筋の放電持続時間との間には、ともに高度に有意の相関($p<0.001$)が認められたが、回帰直線の傾斜の違いによって示され

るように、顎二腹筋のバースト放電持続時間が咬筋のバースト放電持続時間よりもＴＣＬの変化にともなってより大きく変化していた。この傾向は、表 3に示すように、10名の被験者において求めたＴＣＬと咀嚼筋バースト放電持続時間の相関においても同様に認められた。したがって、食物の性状を一定にし咀嚼リズムのみを変化させた場合には、主として開口筋の放電持続時間とＤ－Ｍインターバルが変化し、この結果は、実験１における結果とは異なっていた。

そこでこのようなバースト放電の持続時間の変化が下顎運動の各咀嚼相にどのような影響を与えているかを　知るため、ＴＣＬと各相の持続時間との相関を求めた。図14に一例を示したように、各相ともにＴＣＬとの間に高い正の相関($p<0.001$)を認めたが、回帰直線の傾斜には差があり、咀嚼リズムが上昇して、ＴＣＬが短縮すると、これらの各相が均等に短縮するのではなく、開口相がもっとも

大きく、ついで閉口相、咬合相の順に影響をうけた。このような傾向は、表 4に示すように10名の被験者における、開口相、閉口相、咬合相の各相とＴＣＬとの相関の平均においても認められた。

このように食物の性状を一定にして咀嚼リズムのみを変化させた場合、閉口筋よりも開口筋のバースト放電持続時間をより大きく変化させ、またＤ－Ｍインターバルをより強く短縮させることによって開口相の持続時間に強く影響を与え、リズム調節を行っているといえる。

b)ガム咀嚼の頻度と咀嚼筋活動量

次に誘導されたガム咀嚼中のＴＣＬと咬筋および顎二腹筋の 1咀嚼サイクルあたりの筋活動量との相関を求めた。図15に例示するように、ＴＣＬと咬筋の筋活動量の間には高い正の相関($p<0.001$)が認められた。すなわち、咀嚼リズムの上昇に比例して咬筋の筋活動量は変化していた。一方、顎二腹筋の場合は明

らかな相関がみとめられず、いずれのリズムでも活動量に大きいバラツキが認められるものの比較的一定した活動を示した。しかし、この事実は顎二腹筋の活動が咀嚼リズムと無関係に調節されていることを必ずしも意味しない。なぜなら、顎二腹筋ではリズム上昇にともなって、バースト放電の持続時間は短縮するが（図10）、単位時間当たりの筋活動量が増大するため、筋活動量は全体として著しく変化しないと考えられる。そこで、ＴＣＬと咬筋および顎二腹筋の単位時間あたりの筋活動量との相関を求めた。図16に一例を示すように、咬筋ではＴＣＬの変化に対して比較的一定した筋活動量を示したが、顎二腹筋ではＴＣＬの減少（すなわちリズムの上昇）にともなって、単位時間あたりの筋活動量が増大した。

これらの結果から誘導咀嚼頻度の変化にともなう咬筋活動量の変化は主として咬筋バースト放電持続時間の変化に基づくこと、また、

顎二腹筋の単位時間当たりの活動量は誘導頻度の上昇とともに増大するといえる。

3.咬合高径の変化と下顎運動および咀嚼筋活動

本実験では、バイトプレーンを入れて咬合挙上量を 2，5，8mmと増大させたが、前頭面および矢状面から見た下顎運動パターンには著しい変化は認められなかった（図17）。

a)開口量

固有な頻度での咀嚼、 3Hzでの咀嚼のいずれの場合でも、咬合挙上量が増えると最大開口度もそれにともなって増大した(図18)。また、最大開口度からバイトプレーンの高さを差し引いた実際の開口量は、8mmの咬合挙上ではやや減少するが全体的には有意の変化が認められなかった。これらの結果から、咬合を挙上しても、挙上量に相当するだけ最大開口位を大きくとることにより実際の開口量に

は著しい変化がないように調節されているといえる。

b)咀嚼筋活動および咀嚼リズム

バイトプレーンの挿入によって咬合を挙上し、被験者に固有な速度で咀嚼を行ったときの咬筋および顎二腹筋の筋電図活動と下顎運動を同時記録すると咬筋の 1バーストあたりの筋活動量は、咬合挙上にともなって減少していくが、顎二腹筋では逆に筋活動量が増加する傾向がみられた（図19)。このような筋活動量の変化を10名の被験者における 1バーストあたりの咬筋および顎二腹筋の筋活動量の平均値として図20に示した。固有な速度の咀嚼では挙上量が増大するのに伴って咬筋の筋活動量が、バイトプレーン挿入前に比べて有意に減少($p<0.01$)したが、顎二腹筋では逆に 8mmの挙上の場合、有意に増加($p<0.05$)した（図20・Ａ）。また 3Hzでの誘導咀嚼においても変化量は少ないものの同様の傾向を示した（図20・Ｂ）。

次に、咬合の挙上が咀嚼リズムに対しどのような影響を及ぼすかを分析した。固有な速度での咀嚼における10名の被験者のＴＣＬ値の平均値を図21に示した。咬合挙上を行わない場合 680±97ms（平均値±標準偏差）であるが、 2mmの挙上では 656±104ms，5mmの挙上では 660±105ms，8mmの挙上では 643±50msと咬合挙上を行ってもＴＣＬの値すなわち固有の咀嚼リズムには有意の変化は認められなかった。また 3Hzの音の合図による誘導咀嚼の場合、被験者は咬合挙上を行っても 3Hzの誘導頻度に 1：1の比率で追従し咀嚼することが可能であった。なお固有な頻度での咀嚼について、ＴＣＬを開口相、閉口相、咬合相にわけ、各相の持続時間が各挙上量で異なるか否かを検討したが、有意差は認められなかった。咬筋と顎二腹筋のバースト放電の持続時間およびタイミングにおいても、咬合挙上前と咬合挙上時で有意差は認められなかった。

以上の実験結果より咬合挙上により咀嚼時の上下顎間距離を変化させても咀嚼の時間的な要素に変化がみられなかったが、咬筋および顎二腹筋の筋活動量は有意に変化した。

考察

咀嚼時の下顎運動は歩行[16]や呼吸[17]と同じく、開口と閉口が交互に出現するリズミカルな運動の一つである。従来そのリズム発現メカニズムは、Sherrington[18]以来、末梢の反射によりおこなわれるとする末梢説と、中枢神経系に内在するリズム発生器によって行われるとする中枢説の 2通りの仮説が提唱されていた。咀嚼のリズム形成については、Sumi[19],Dellowら[20],Nakamuraら[21]は、筋弛緩薬の投与によって動物の非動化を行い末梢からの感覚入力に変化がない状態で皮質咀嚼野を連続電気刺激した場合なお咀嚼筋支配運動神経にはリズミカルな遠心性発射が誘発さ

れることを認め、脳幹部に咀嚼リズムの調節を行うパターンジェネレーターが存在することを示した。

したがって、咀嚼時の下顎運動のリズムやパターンは基本的にはパターンジェネレーターによって構成されるものと考えられるが実際に食物を咀嚼するときには口腔顔面領域に存在する種々の感覚受容器からの感覚入力、例えば筋紡錘、歯根膜圧受容器、顎関節受容器、顔面皮膚機械受容器[22)-25)]など末梢からの感覚入力によって影響を受けるものと考えられる。

本実験ではヒトを対象として 1)性状の異なった種々の食物を咀嚼した場合、 2)咀嚼リズムを誘導して変化させた場合、および、3)咬合を挙上して咬合時の下顎位を変化させた場合、下顎運動や咀嚼筋活動に生ずる変化を分析して、ヒトにおけるこのようなパターンジェネレーターの生理的な特性を調べた。

なお試料咀嚼中の咀嚼側は、被験者の習慣

的咀嚼側を用いて行ったが、これはPerry[26]らが習慣的咀嚼側と非習慣的咀嚼側における咀嚼運動を分析し、正常者においても非習慣的咀嚼側で咬むと、不正咬合者と同様な咀嚼筋活動がみられたことを報告していることを考慮したためである。

1.食物の性状の変化による影響

ヒトが日常咀嚼する食物は種々の物理的性状を有している。たとえば豆腐やマシュマロのように軟らかいものから、センベイのように咬み割らなければならない硬いものやスルメのように強靭なものがある。本実験ではさまざまな食物性状の相違による咀嚼運動の変化に注目するため、体積をできるだけ一定（約 2cm^3)とした 5種類の固形の食物を用いた。試料としては Texture Profileのできるだけ異なった食物を選んだ。すなわち日常で咀嚼する食物のうちでもっとも硬い食物の一つであるスルメと、逆にもっとも軟らかい食物の一つであるマシュマロ、硬くて破砕性

をもったクリスプブレッド、硬くて線維性のニンジン、軟らかくて粘着性をもったチーズの 5種類の食物を用いた。他の試料として、ガムやピーナツもよく用いられるが[5,9,10]、ガムは嚥下が不可能なため咀嚼回数を測定することができず、ピーナツは体積の規定が困難であるので実験1では除外した。

食物の性状は圧縮強さ、粘弾性など同一の物理的基準ですべての食物を表すことが望ましいが、食物の種類によって性状の差が大きすぎるため実際に測定するのが困難である。ヒトが食物を咀嚼する場合、硬さ、弾力性、強靱さなど種々に物理的な性状が異なっていても、各個人が嚥下閾をもっており食物に応じてほぼ一定回数咀嚼したあとこれを嚥下する[27,28]。この際、咀嚼に要する閉口筋活動量もほぼ食物の性状に対応していると考えられる。事実、本実験ではスルメのように強靱な食物の咀嚼回数はマシュマロのように軟らかい食物咀嚼に比べてはるかに多く、また閉

口筋活動量も有意に大きかった。そこで本研究において、咀嚼し難さを［咀嚼回数］×［1ストロークあたりの咬筋平均活動量］すなわちこれらの食物を摂取してから嚥下するまでの咬筋の総活動量として表現することを試みた。咀嚼難易性の感覚テストによる評価（感覚評価値）はやはり食物の咀嚼し難さを表す一つの基準としてあげられるが、被験者の主観によるところが大きいものと考えられる。しかしながら、咀嚼回数、咬筋平均活動量および咬筋の総活動量は客観的な数値といえる。食物の咀嚼し難さについて、感覚評価値と、咀嚼回数、咬筋平均活動量あるいは咬筋の総活動量とを比較した。後者すべての変数においてスルメ咀嚼時の値を100とし、感覚評価値との相違を比較すると、まず咬筋の平均活動量については順序および量ともに感覚評価値と異なる点が多かった。一方、咀嚼回数と咬筋の総活動量については、感覚評価値と順序においては一致したが、量について

は、咀嚼回数は感覚評価値より値が高く、一方、咬筋の総活動量は逆に低かった。しかし、いずれもかなり感覚評価値に近い値を示した。ただし、咬筋の総活動量を求める際利用した咬筋の平均活動量は、咀嚼の最初の10ストロークについて分析を行ったためスルメにおいて咀嚼回数が他の食物に比べてとくに多く、嚥下直前には、咬筋活動量が減少していることが考えられる。すなわち、本実験で基準として用いたスルメ咀嚼時の咬筋の総活動量は、実際の値よりも大きくなっている可能性が高い、この点を考慮すれば、咬筋の総活動量は咀嚼回数よりも感覚評価値により近い値を得るものと考えられる。また、硬い食物を咀嚼させたときに咀嚼回数が増加するという結果はネコにおけるThextonら[29]の実験やウサギにおけるMorimotoら[30]の実験の結果と一致していた。閉口筋の中でもとくに咬合力を発揮するのに重要である咬筋[31]の 1バーストあたりの筋活動量もまた硬い食物ほどその値

の増大がみられ、この結果はNeumann[3]がチーズ咀嚼よりもニンジンやクリスプブレッド咀嚼のときに咬筋筋電図の振幅が大きくなることを述べた結果や、Pleshら[32]のガムの硬さによって咬筋活動量が変化した実験結果と一致していた。しかし、本実験では咬筋活動量の変化は咀嚼回数の変化に比べると小さかった。Lund and Lamarre[33]は、ヒトの歯に局所麻酔を行ったときの咬合力の低下から、歯根膜の固有受容器から咬筋のmotoneuronへのpositive feedbackが存在することを提唱しているが、今回の実験においてみられた硬い食物を咀嚼したときの咬筋活動量の増大も、このpositive feedbackの機構が関与しているものと思われる。また硬い食物において咬筋活動量が大きくなる傾向がみられたため、咀嚼回数と咬筋活動量の相関を求めた結果、両者の間に正の相関が認められ一般に硬い食物ほど咬合力を発揮して、しかも嚥下までに多くの咀嚼回数が必要であることが示された。

食物の体積は最大開口度に影響をおよぼすことが知られており[29]、そのため今回は、体積をできるだけ一定として実験を行った。本実験で、マシュマロにおいては最大開口度が他の食物より小さくなっていたが、それ以外の食物では大きな差は認められなかった。この結果は、食物の体積だけではなく、食物の性状もまた開口度に影響し得るが、その影響は必ずしも大きくないことを示している。また一咀嚼サイクルの持続時間（ＴＣＬ）は、5種類の食物間で比較すると、スルメのみが他の食物にくらべ有意にＴＣＬが大きくなっており、いいかえればスルメの咀嚼リズムのみが、有意に遅くなっていた。この結果は桑原ら[34]のスルメ咀嚼のＴＣＬが、マシュマロ、チーズ咀嚼のＴＣＬより有意に大きくなった報告と一致していた。またLuscheiら[35]は、サルにおいて硬い食物ほど咀嚼速度が遅くなると報告しており、Pleshら[32]も硬いガムのほうが、軟らかいガムを咀嚼するときよ

りも咀嚼リズムが有意に遅くなることを述べている。しかし、実験では、硬いニンジン咀嚼より軟らかく粘着性のチーズ咀嚼のＴＣＬが長くなる傾向があり、必ずしも硬さの順にしたがって、ＴＣＬが影響を受けるとは限らないといえる。さらにすべての食物についてＴＣＬの変化、すなわち咀嚼リズムの変化と咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間との相関を求めた結果、両筋ともにＴＣＬとの間に正の相関を認めたが、とくに咬筋においてその相関が高かった。したがって、一般に意識せずにさまざまな食物を咀嚼する場合、その咀嚼リズム調節には、閉口筋のバースト放電持続時間が開口筋のそれよりも強く影響をおよぼしていることが示唆された。

以上のことから食物の性状が異なると、パターンジェネレーターは食物性状に対応して閉口筋の活動量だけでなく嚥下までの咀嚼回数を大きく変化させ、さらに閉口筋のバースト放電持続時間の変化により咀嚼リズムを調

節することにより咀嚼を行うことが示唆された。

2．咀嚼リズムの変化による影響

咀嚼リズムは動物種間で相違するが、各動物種においては咀嚼リズムはほぼ一定している[1]。ヒトの咀嚼リズムについて、Ahlgren[5]はニンジン咀嚼時のＴＣＬについて0.58s(1.7Hz)の値を報告し、Hedegård[36]はtoffee咀嚼時のＴＣＬが1.1s(0.9Hz)であると述べている。今回の実験１におけるＴＣＬの平均値は、咀嚼リズムのもっとも速いニンジン咀嚼で0.62s(1.6Hz)、もっともリズムの遅いスルメ咀嚼で0.8s(1.2Hz)であった。日常ヒトが摂取する食物の硬さや強靭さは、軟らかいマシュマロから硬くて強靭なスルメに至るまでの今回用いた食物の範囲に入ると思われるので、通常の生理的な咀嚼のリズムはほぼ上記の範囲内にあると考えられる。一方、手や足など四肢のリズミカルな運動では歩行から疾走にいたるまで、生理的にもそのリズムは広汎に

変化し最高では 5～ 6Hzに達することが知られている[37]。さらに、このようなリズムの変化は、1歩行ストローク中の遊脚相（Swing Phase)を変えることなく、着地相（Stance Phase)の持続時間を短くすることによって行われている[38]。咀嚼運動においては、Rughら[39]はピーナツ咀嚼時、通常の速さの咀嚼におけるＴＣＬが、被験者に意識的に速く咬ませることによって 28%減少することを述べており、またMorimotoら[40]は誘導なしに被験者がガムを咀嚼することのできる最大の速度でのＴＣＬは平均350ms(2.9Hz)であることを報告している。今回は、咀嚼リズムを音の合図の誘導により人為的に変化させた場合の、下顎運動および咀嚼筋活動がどういった変化を示すかを調べる目的で実験を行ったが、やはり 3Hzの誘導頻度までは 1:1の比率で追従し咀嚼していた。しかし誘導を行うことによって 3Hz以上の頻度でも咀嚼することが可能であった。

咀嚼の各相については、実験２において咀嚼試料をガムに統一して咀嚼リズムを誘導した場合、閉口相や咬合相の持続時間よりも開口相の持続時間の変化が咀嚼リズムの変化により強く影響を与えることが明らかとなった。実験１において各々の食物を咀嚼させた場合には、開口相よりも閉口相と咬合相の持続時間の合計が変化することによって咀嚼リズムが変化しており、実験２の場合とは異なっていた。この結果はJemtら[11]がヒトについてパンを咀嚼させた実験や、Morimotoら[30]がウサギを用いて行った実験の結果と一致している。Thextonら[29]もネコを用いた実験でＴＣＬとSlow Opening Phaseの間に相関を認めている。さらに咀嚼リズムと筋活動量の関係についてみるとPleshら[32]は、被験者に硬さの異なるガムを咬ませた場合、咀嚼リズムは硬いガムを咬むときのほうが、軟らかいガムを咬むときに比べて有意に遅く、またこのとき咬筋のバースト放電持続時間も有意に延長

することを報告している。しかし、顎二腹筋などの開口筋については記録をしていない。今回、実験２において、咀嚼する試料をガムに定めて、咀嚼リズムのみを誘導した場合には、咬筋と顎二腹筋のバースト放電持続時間はともにＴＣＬとの間に正の相関を認めたが、とくに顎二腹筋のバースト放電持続時間とＴＣＬの間の相関が高くなっていた。一方、実験１において、性状の異なる食物を咀嚼させた場合は実験２とは異なり、咬筋のバースト放電持続時間は、顎二腹筋のそれよりも強くＴＣＬの長さに影響を与えていた。これらの実験１と実験２の結果から考えると、試料として用いた食物の性状が一定であれば、咀嚼時の末梢感覚受容器からの感覚入力も咀嚼リズムによって著しくは変化しないと思われ、本来、咀嚼のパターンジェネレーターは咀嚼リズムを変化させるために、顎二腹筋のバースト放電持続時間を咬筋のそれよりも、より大きく変化させる生理的特性をもつものと思

われる。しかし実験1のように食物の性状が異なると歯根膜や咀嚼筋受容器からの中枢への感覚入力が食物間で異なりこの感覚入力がパターンジェネレーターに作用して咬筋のバースト放電持続時間により強く影響をおよぼすのであろう。また咬筋と顎二腹筋の放電タイミングを調べるとD－Mインターバル（顎二腹筋バースト放電の終止とそれに続く咬筋バースト放電の開始とのインターバル）がとくに誘導頻度の上昇にともなって短縮していた。Ahlgren[5]は、下顎運動速度が上昇すると咬筋の放電開始時期が速くなり場合によっては閉口相の開始よりも前から咬筋の放電が始まることを報告したが、この実験でも咀嚼頻度が上昇すると咬筋の放電が、閉口相の開始より以前に始まっており結果としてD－Mインターバルの短縮につながったものと考えられた。したがって、咀嚼リズムを速くするためには、開口筋の放電が終ってからできるだけ速く閉口筋の放電を開始することが必要

であると思われた。

1バーストあたりの咬筋の筋活動量は誘導頻度の上昇とともに減少が認められたが顎二腹筋ではあまり変化がなく、逆に単位時間あたりの筋活動量は咬筋ではあまり変化がなく顎二腹筋では増加をみせた。この結果は、ヒトの顎二腹筋の筋活動量が速い開口時に増加したMunro[41]の実験結果と一致しており放電持続時間が短くても単位時間あたりの筋活動量を増加させることにより速い開口を可能にしたと思われた。

以上のことから咀嚼リズムのみを人為的に速くすると本来パターンジェネレーターは、閉口筋よりも開口筋のバースト放電持続時間を変化させ、またD－Mインターバルをより強く短縮させることにより、開口相の持続時間を短縮し、リズム調節を行うことが示唆された。

3.咬合高径の変化による影響

咬合を挙上することにより、咀嚼ストロー

クの開始点あるいは終止点を変化させた場合の下顎運動および咀嚼筋活動の変化を調べる目的で実験を行った。咬合挙上を行う方法としては、製作が容易で、臼歯部全体を均等に接触させ、さらに前方および側方の顎運動を自由に行えるように調整が可能な、アクリリックレジン製のバイトプレーンを用いた。

咀嚼時の開口量は、結果としてほとんど変らず、咬合高径を増やした分だけ最大開口度を大きくとっていることが明らかとなった。この結果は、ある食物を咀嚼するには開口開始点がいずれの位置にあってもある一定量の開口量を確保する必要があることを示している。

咬合挙上と下顎運動リズムとの関係について、丸山[42]は中心咬合位からの高径が増すとともに急速反復運動（平均 5Hzのタッピング）の周期が長くなると述べている。今回の実験において 3Hzの誘導咀嚼では咬合挙上を行っても、被験者は音の合図に遅れることな

く、1:1の比率で追従して咀嚼していた。また、被験者に固有な速度の咀嚼におけるTCLも、咬合挙上によっては有意の変化を示さないことから、咀嚼リズムは今回用いた咬合の高さの範囲では、咬合挙上の影響をうけないといえる。

咬合挙上と筋電図活動の関係について、とくに8mmの咬合挙上を行った場合、1バーストあたりの咬筋活動量の有意の減少と逆に顎二腹筋活動量の有意の増加が認められた。顎二腹筋活動量については、開口筋の単位時間あたりの筋活動量を増大させることによって最大開口度を増大させて、咀嚼に必要な下顎の開口度を確保したものと思われる。咬筋活動については、津留[43]は基準義歯より前歯部で2mm高い高義歯を用いて咀嚼する時には、筋電図の振幅が減少することを報告しているが、この結果は、今回の実験結果と一致する。このように咬合を挙上すると咀嚼時の咬筋活動量が減少したが、安静時の筋活動量につい

ては、Garnickら[44]は開口量11.1mmにおいて、Mannsら[45]は開口量10mmにおいて、咬筋活動量が最小となることを報告した。Christensen[46]はバイトプレーン挿入後の10秒間の最大咬みしめにおいて咬筋活動量が約 8%減少することを報告した。Carlssonら[47]はバイトプレーン挿入直後では最大咬みしめの咬筋活動量が減少するが、 1週間後の測定では、咬合挙上前よりも咬筋活動量が増加したと報告し、またこの筋活動量の減少がゴルジ腱受容器からの閉口筋に対する抑制効果であろうと推察している。今回の実験は実験時にバイトプレーンを口腔内に挿入しており急激な咬合高径の変化のために適応が充分でなく咬筋活動量の減少がみられた可能性も否定はできないが、以下に述べる理由でこの咬筋活動量の減少を考察した。

Huxley[48]は筋収縮の機構として、アクチンとミオシンフィラメント間で生ずる滑り現象を本質とした Sliding 説をとなえたが、

これにもとずく張力・長さ曲線によると筋の活動張力は生理長の付近で最大であるといわれている[49]。Boos[50]は下顎安静位において最大の咬合力を発揮することをとなえこれを咬合高径の判定基準としたが、Boucherら[51]は最大咬合力を指標として求めた咬合高径は臨床的な下顎安静位の高径よりも高い位置にあるすなわちより開口位にあることを述べている。また、平林[52]、Mackennaら[53]は、垂直的な開口量がそれぞれ10.4mm、17mmのときに最大の咬合力があらわれたと報告している。今回、実験で用いた挙上量は最大で 8mmであり、咬筋が生理長よりも短い状態の範囲内であると思われる。Milesら[54]は開口量が増大して咬筋の長さが長くなるのにともなって咬筋の長さを短くする、すなわち閉口を促進する力が働くことを述べ、Storey[55]、Mannsら[56]は咬合高径が増加すると増加にともなって同じ咬合圧を維持するのに必要な咬筋の筋活動量が減少することを報告した。したがっ

て、今回の実験において咬合挙上により咬筋活動量が減少しても、挙上量が増大すると咬筋の生理長により近くなり、さらに、閉口を促進する力が働くため筋活動量が減少しても、咬筋は効率的に咀嚼圧を発揮することができ、ガムを咀嚼するのに必要な咀嚼圧は確保されているものと思われた。

実験２において同一食物について咀嚼リズムを変化させた場合では、ＴＣＬと咬筋活動量の間に正の相関が認められたが、実験１のように性状の異なった食物を咀嚼させたり、この実験のように咬合高径を変化させてもＴＣＬと咬筋活動量の間には必ずしも相関は認められなかった。Grillnerら[57]はセントラルパターンジェネレーターは運動のパターンを決定するもので、そのうちのあるニューロンはリズムを決定するのに役立っており、他のものはまた異なった役割を果たすと述べているが、ヒトの咀嚼運動においてもパターンジェネレーターのなかにはＴＣＬすなわち咀

嚼リズムとは別個に筋活動量を調節しうる機構が存在するものと思われる。

咬合挙上を行ってもＴＣＬには有意の変化がなく、開口相、閉口相、咬合相の持続時間や咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間やタイミングに変化がみられないことから、パターンジェネレーターは咬合挙上により下顎咬合位が変化しても、その変化に対応して働き、固有の咀嚼リズムを変えることなく咀嚼を行うことが可能であると考えられる。

結論

1.咀嚼時の下顎運動および咀嚼筋筋電図について、食物の性状の相違により、咀嚼回数、咬筋および顎二腹筋の筋活動量、最大開口度、咀嚼リズム、咬筋バースト放電持続時間、閉口相と咬合相の持続時間が影響されることが明らかにされた。このうち、もっとも影響されるのは嚥下までの咀嚼回数であり、強靱な

あるいは硬い食物では、閉口筋活動量も変化するが、それ以上に咀嚼回数を増加させることによって咀嚼運動を調節していた。

2.咀嚼の難易性を評価するのに、嚥下までの咀嚼回数、1咀嚼ストロークあたりの咬筋活動量、咬筋の総活動量の3種類の指標が考えられたが、咀嚼難易性の感覚評価値を考慮すると、咬筋の総筋活動量を用いるのが適当であると考えられる。

3.咀嚼リズムを人為的に変化させると、開口相の持続時間、顎二腹筋のバースト放電持続時間、顎二腹筋および咬筋のバースト放電間のインターバル（D－Mインターバル）が著明に変化した。すなわち、性状の異なった食物を咀嚼する場合、咀嚼リズムの変化は咬筋のバースト放電持続時間に強い影響をうけるが、同一食物について咀嚼リズムのみを変化させると、咬筋より顎二腹筋のバースト放電持続時間により強い影響をうけていた。

4.咬合高径を増大させると、それにともな

って最大開口度が増大するため、咀嚼運動中の実際の下顎の開口量には大きな変化がなく、また咀嚼リズムや各咀嚼相の持続時間、筋放電のタイミング等にも著明な変化は認められなかった。

5.一般に同一食物について咀嚼リズムを変化させた場合では、咀嚼リズムと咬筋活動量のあいだには有意の相関が認められるが、性状の異なった食物を咀嚼させたり、同一食物について咬合高径を変化させると、咀嚼リズムと筋活動量との関係は、咀嚼リズムを変化させた場合とは異なることから咀嚼リズムとは別個に筋活動量を調節しうる機構が存在すると考えられる。

以上の結果より中枢のパターンジェネレーターは咀嚼時の末梢からの感覚入力をうけて咀嚼リズムと咀嚼筋活動を変化させて適切な下顎運動パターンの調節を行っていることが示唆された。

稿を終えるにあたり、本研究を行う機会を与えていただき、さらに研究遂行に御配慮してくださいました大阪大学歯学部歯科補綴学第一講座丸山剛郎教授ならびに大阪大学名誉教授河村洋二郎先生、さらに終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました同学部口腔生理学講座森本俊文教授に心から感謝致します。

また本研究を進めるにあたり種々御協力いただいた大阪大学歯学部歯科補綴学第一講座ならびに口腔生理学講座の教室員各位に厚くお礼申しあげます。

Modulation of Jaw Movements and Jaw Muscle Activities in Human Mastication

Takashi NAKAMURA

1st Department of Prosthetic Dentistry
Osaka University Faculty of Dentistry
1-8, Yamadaoka, Suita, Osaka 565, Japan

Key words : Jaw movements, Electromyograms, Food properties, Chewing rate, Vertical dimension

This study aims to analyse how jaw muscle activities and jaw movements during mastication are modulated by varying properties of food, chewing rate and vertical dimension. Jaw movements were monitored by a mandibular kinesiograph and electromyograms were simultaneously recorded from masseter and digastric muscles in a total of 29 young adults

The results were as follows ;

1) The number of the chewing strokes and the masseter muscle activities increased with the hardness or toughness of food. However, the number of the chewing strokes was more susceptible to the change in food properties.

2) The duration of opening phase, the duration of digastric bursts and interval between the end of a single digastric burst and the onset of the following masseter burst shortened with increase in the chewing rate.

3) The maximum opening degree increased and the activities of the masseter muscle significantly decreased with raising the vertical dimension. However, there were no significant changes in other factors.

4) The duration of both masseteric and digastric bursts were correlated with the duration of a single masticatory cycle. When chewing various properties of food, the duration of masseteric bursts was more susceptible than that of digastric bursts.

文献

1)Hiiemae,K.(1975):Mammalian mastication;A review of the activity of the jaw muscles and the movements they produced in chewing.P.M.Butler and K.A.Joysey(Ed.) Development,Function and Evolution of Teeth. Academic Press,London,359-398.

2)中村嘉男(1984):咀嚼運動の神経・筋メカニズム(3);咀嚼運動のリズム形成とコントロール，歯界展望,63,477-492,昭和59.

3)Neumann,H.H.(1950):Electrical action currents during mastication;Measurement of the effort exerted in chewing various foods. J.Dent.Res.,29,463-468.

4)Murphy,T.R.(1963):The timing and mechanism of the human masticatory stroke. Archs oral Biol.,10,981-993.

5)Ahlgren,J.(1966):Mechanism of mastication. Acta Odontol.Scand.,24,

Suppl.44,1-109.
6)Ahlgren,J.(1967):Kinesiology of the mandible;An EMG study. Acta Odontol. Scand.,25,593-611.
7)Mφller,E.(1966):The chewing apparatus; An electromyographic study of the action muscles of mastication and its correlation to facial morphology. Acta Physiol.Scand.,69,Suppl.280,1-229.
8)Brown T.(1975):Mandibular movements. Monogr.oral Sci.,4,126-150.
9)Hannam,A.G.,Scott,J.D. and De Cou,R.E. (1977):A computer-based system for the simultaneous measurement of muscle activity and jaw movement during mastication in man. Archs oral Biol.,22,17-23.
10)Hannam,A.G.,De Cou,R.E.,Scott,J.D. and Wood W.W.(1977):The relationship between dental occlusion,muscle activity and associated jaw movement in man.

Archs oral Biol.,22,25-32.
11)Jemt,T.,Karlsson,S. and Hedegård,B. (1979):Mandibular movement of young adults recorded by intraorally placed light-emitting diodes. J.Prosthet.Dent., 42,669-673.
12)Mongini,F.,Tempia-Valenta,G. and Benvegnu,G.(1986):Computer-based assessment of habitual mastication. J.Prosthet.Dent.,55,638-649.
13)Jankelson,B.,Swain,C.W.,Crane,P.F. and Radke,J.C.(1975):Kinesiographic instrumentation;A new technology. JADA, 90,834-839.
14)Sherman,P.(1969):A texture profile based upon well-defined rheological properties. J.Food Sci.,34,458-462.
15)山本克之，植松秀紀，他(1984)：義歯用チューインガムの付着性に関する研究．補綴誌 28,532-537,昭和59.

16)Grillner,S.(1975):Locomotion in vertebrates;Central mechanisms and reflex interaction. Physiol.Rev.,55,247-304.
17)Feldman,J.L. and Grillner,S.(1983): Control of vertebrate respiration and locomotion;A brief account. Physiolosist, 26,310-316.
18)Sherrington,C.S.(1917):Reflexes elicitable in the cat from pinna, vibrissae and jaws. J.Physiol.,51,404-431.
19)Sumi,T.(1970):Activity in single hypoglossal fibers during cortically induced swallowing and chewing in rabbits. Pflügers Arch.,314,329-346.
20)Dellow,P.G. and Lund,J.P.(1971): Evidence for central timing of rhythmical mastication. J.Physiol.,215,1-13.
21)Nakamura,Y.,Kubo,Y.,Nozaki,S. and Takagi,M.(1976):Cortically induced

masticatory rhythm and its modification by tonic peripheral inputs in immobilized cats. Bull.Tokyo Med.Dent.Univ.,23, 101-107.
22)Goodwin,G.M. and Luschei,E.S.(1974): Effects of destroying spindle afferents from jaw muscles on mastication in monkeys. J.Neurophysiol.,37,967-981.
23)Appenteng,K.,Lund,J.P. and Séguin,J.J. (1982):Intraoral mechanoreceptor activity during jaw movement in anesthetized rabbit. J.Neurophysiol.,48,27-37.
24)阿部勝也(1974):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,昭和49.
25)Appenteng,K.,Lund,J.P. and Séguin,J.J. (1982):Behavior of cutaneous mechanoreceptors recorded in mandibular division of gasserian ganglion of the rabbit during movements of lower jaw.

J.Neurophysiol.,47,151-166.
26)Perry,H.T. and Harris,S.C.(1954):Role of neuromuscular system in functional activity of the mandible. JADA,48,665-673.
27)Kawamura,Y. and Nobuhara,M.(1957): Studies on masticatory function II; The swallowing threshold of persons with normal occlusion and malocclusion. Med.J.Osaka Univ.,8,241-246.
28)Vinton,P. and Manly,R.S.(1957): Masticatory efficiency during the period of adjustment to dentures. J.Prosthet.Dent.,5,477-480.
29)Thexton,A.J.,Hiiemae,K.M. and Crompton,A.W.(1980):Food consistency and bite size as regulators of jaw movement during feeding in cat. J.Neurophysiol., 44,456-474.
30)Morimoto,T.,Inoue,T.,Nakamura,T. and

Kawamura,Y.(1985):Characteristics of rhythmic jaw movements of the rabbit. Archs oral Biol.,30,673-677.
31)Dubner,R.,Sessle,B.J. and Storey,A.T. (1978):The neural basis of oral and facial function. Plenum,N.Y.,311-347.
32)Plesh,O.,Bishop,B. and McCall,W.(1986) :Effect of gum hardness on chewing pattern. Exp.Neurol.,92,502-512.
33)Lund,J.P. and Lamarre,Y.(1973): The importance of positive feedback from periodontal pressoreceptors for voluntary isometric contraction of jaw closing muscles in man. J.Biol.Buccale,1,345-351.
34)桑原隆男，丸山剛郎,他(1986):咀嚼運動に関する臨床的研究；各種食品の影響について．下顎運動機能とEMG論文集，顎口腔機能研究会,87-92,昭和61.
35)Luschei,E.S. and Goodwin,G.M.(1974): Patterns of mandibular movement and jaw

muscle activity during mastication in the monkey.J.Neurophysiol.,37,954-966.
36)Hedegård,B.,Lundberg,M. and Wictorn,L.(1970):Masticatory function ;A Cineradiographic study. Acta Odontol.Scand.,28,859-865.
37)問田直幹，内薗耕二，伊藤正男，富田忠雄(1982):新生理学，医学書院，1020-1023，昭和57.
38)Stuart,D.G.,Witney,T.P.,Wetzel,M.C. and Goslow,G.E.Jr.(1973): Time constraints for inter-limb co-ordination in the cat during unrestrained locomotion; Control of posture and locomotion,(Ed.) R.B.Stein, K.G.Pearson,R.S.Smith and J.B.RedFord, Plenum Press,N.Y.,537-560.
39)Rugh,J.D.(1972):Variation in human masticatory behavior under temporal constraints. J.Comp.Physiol.Psychol.,80,

169-174.
40)Morimoto,T.,Inoue,T.,Nakamura,T. and Kawamura,Y.(1984):Frequency-dependent modulation of rhythmic human jaw movements. J.Dent.Res.,63,1310-1314.
41)Munro,R.R.(1972):Coordination of activity of two bellies of the digastric mucsle in basic jaw movements. J.Dent.Res.,51,1663-1667.
42)丸山雅昭(1974):種々な下顎位における下顎の急速開閉運動に関する研究. 補綴誌,17,308-332.昭和49.
43)津留宏道(1956):義歯機能に関する生理学的研究;Ⅰ.咬合の高さと義歯機能との関係.日口腔会誌,8,482-496.昭和31.
44)Garnick,J. and Ramfjord,S.P.(1962): Rest position;An electromyographic and clinical investigation.J.Prosthet.Dent., 12,895-911.
45)Manns,A.,Miralles,R. and Guerrero,F.

(1981):The changes in electrical activity of the postural muscles of mandible upon varying the vertical dimension. J.Prosthe.Dent.,45,438-445.
46)Christensen L.V.(1980):Effects of an occlusal splint on integrated electromyography of masseter muscle in experimental tooth clenching in man. J.Oral Rehabil.,7,281-288.
47)Carlsson,G.E.,Ingervall,B. and Kocak, G.(1979):Effect of increasing vertical dimension on the masticatory system in subjects with natural teeth. J.Prosthet.Dent.,41,284-289.
48)Huxley,A.F.(1957):Muscle structure and theories of contraction. Prog. Biophys.Biophysical chem.,7,255-318.
49)Gordon,A.M.,Huxley,A.F. and Julian, F.J.(1966):The variation in isometric tension with sarcomere length in

vertebrate muscle fibers. J.Physiol.,184, 170-192.
50)Boos,R.H.(1952):Occlusion from rest position. J.Prosthet.Dent.,2,575-589.
51)Boucher,L.J. and Zwemer,T.J.(1959): Can biting force be used as a criterion for registering vertical dimension? J.Prothet.Dent.,9,594-599.
52)平林健彦(1975):種々な下顎位における咬合力に関する研究. 補綴誌,18,337-360.昭和50.
53)Mackenna,B.R. and Türker,K.S.(1983): Jaw separation and maximum incising force. J.Prosthet.Dent.,49,726-730.
54)Miles,T.S.,Nordstrom,N.A. and Türker, K.S.(1986):Length-related changes in activation threshold and wave form of motor units in human masseter muscle. J.Physiol.,370,457-465.
55)Storey,A.T.(1962):Physiology of a

changing vertical dimension.
J.Prosthe.Dent.,12,912-921.
56)Manns,A.,Miralles,R. and Palazzi,C.
(1979):EMG,bite force,and elongation
of the masseter muscle under isometric
voluntary contractions and variations
of vertical dimension.
J.Prosthet.Dent.,42,674-682.
57)Grillner,S. and Wallen,P.(1985):
Control pattern generators for
locomotion with special reference to
vertebrates.Ann.Reb.Neurosci.,8,233-261.

脚注

大阪大学歯学部歯科補綴学第一講座
（主任：丸山剛郎教授）

本論文の要旨は、第32回JADR総会（昭和59年11月、新潟）、第33回JADR総会（昭和60年11月、岐阜）、第34回JADR総会（昭和61年12月、東京）において一部発表した。

図および表の説明

図 1

本実験における筋電図記録および解析方法

A：表面電極の貼布位置

B：筋電図および下顎運動記録の測定部位

a:バースト放電持続時間，b:最大開口度，c:開口相持続時間(OP),d:閉口相持続時間(C1),e:咬合相持続時間(C2),f: 1咀嚼サイクルの持続時間(TCL)

表 1

Sherman's Texture Profileによって示した各食物の性状

図 2

5種類の食物を咀嚼したときの筋電図および下顎運動を同時記録した一例

図 3

A：咀嚼開始から嚥下までの平均咀嚼回数

B：咬筋および顎二腹筋の 1バーストあたりの平均筋活動量（被験者 9名）

図中の＊、＊＊印はマシュマロとの間の有意差を示す(paired t-test)

図 4

A：咀嚼の進行にともなう咬筋活動量の変化

B：各食物の咬筋総活動量（被験者 9名）

図 5

各被験者のマシュマロ咀嚼時の筋活動量を100%としたときの咬筋および顎二腹筋の筋活動量と咀嚼回数との相関（被験者 9名）

図 6

スルメ咀嚼の難易性を100%としたときの各食物の咀嚼難易性を各被験者の感覚で表現した咀嚼難易性の感覚評価値（被験者20名）

図 7

A：最大開口度

B： 1咀嚼サイクルの持続時間(TCL)

C：咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間

（被験者 9名）図中の＊、＊＊印はマシュマロとの間の有意差を示す(paired t-test)

図 8

ＴＣＬと咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間との相関を求めた一例

表 2

ＴＣＬと各筋のバースト放電持続時間との間の回帰直線の傾斜と相関係数の平均値（被験者 9名）

図 9

開口始めを基準とした各咀嚼相と咬筋および顎二腹筋の放電タイミング（被験者 9名）

図10

6種類の誘導頻度での筋電図と下顎運動を同時記録した一例

図11

開口初めを基準として各咀嚼相と咬筋および顎二腹筋の放電タイミングを示した一例

図12

A：顎二腹筋バースト放電の終止とそれに続く咬筋バースト放電の開始とのインターバル（D－Mインターバル）

B：咬筋バースト放電の終止とそれに続く顎二腹筋バースト放電の開始とのインターバル（M－Dインターバル）

図中の黒丸は各個人の値を白丸は10名の平均値を示す

図13

ＴＣＬと咬筋および顎二腹筋のバースト放電持続時間との相関を求めた一例

表 3

ＴＣＬと各筋のバースト放電持続時間との間の回帰直線の傾斜と相関係数の平均値（被験者 10名）

図14

ＴＣＬと咀嚼の各相（開口相、閉口相、咬合相）の持続時間との相関を求めた一例

表 4

ＴＣＬと咀嚼の各相の持続時間の間の回帰直線の傾斜と相関係数の平均値（被験者10名）

図15

ＴＣＬと咬筋および顎二腹筋の 1バーストあたりの筋活動量との相関を求めた一例

図16

ＴＣＬと咬筋および顎二腹筋の単位時間あたりの筋活動量との相関を求めた一例

図17

咬合挙上を行ったときの実際の前頭面および矢状面の顎運動を示した一例

図18

咬合挙上による最大開口度および実際の開口量（Gape)の変化（被験者10名）

図19

固有な速度で咀嚼したときの筋電図と下顎運動を同時記録した一例

図20

Ａ： 1バーストあたりの平均筋活動量の変化

Ｂ：単位時間あたりの筋活動量の変化

（被験者10名）＊、＊＊印は挙上前の値との

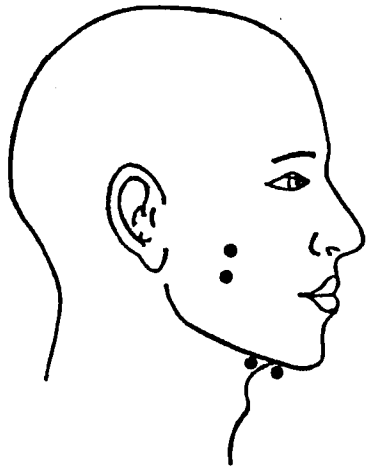
有意差を示す(paired t-test)

図21

咬合挙上を行った際のＴＣＬの変化

（被験者10名）

A



B

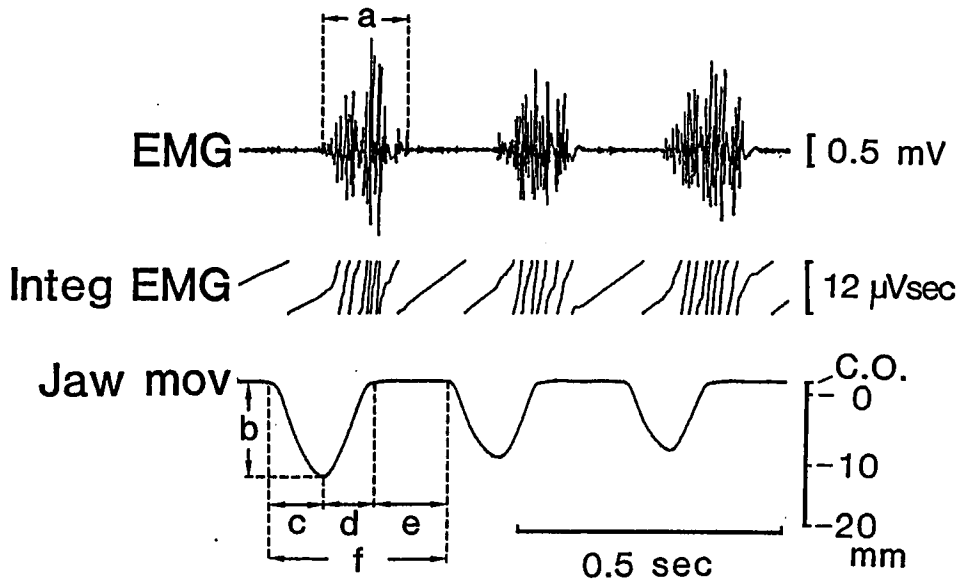


図 1

Marshmallow	soft	spongy
Crispbread	hard	crisp
Cheese	soft	tender
Carrot	hard	fibrous
Dried Cuttlefish	hard	tough

Sherman's Texture Profile

表 1.

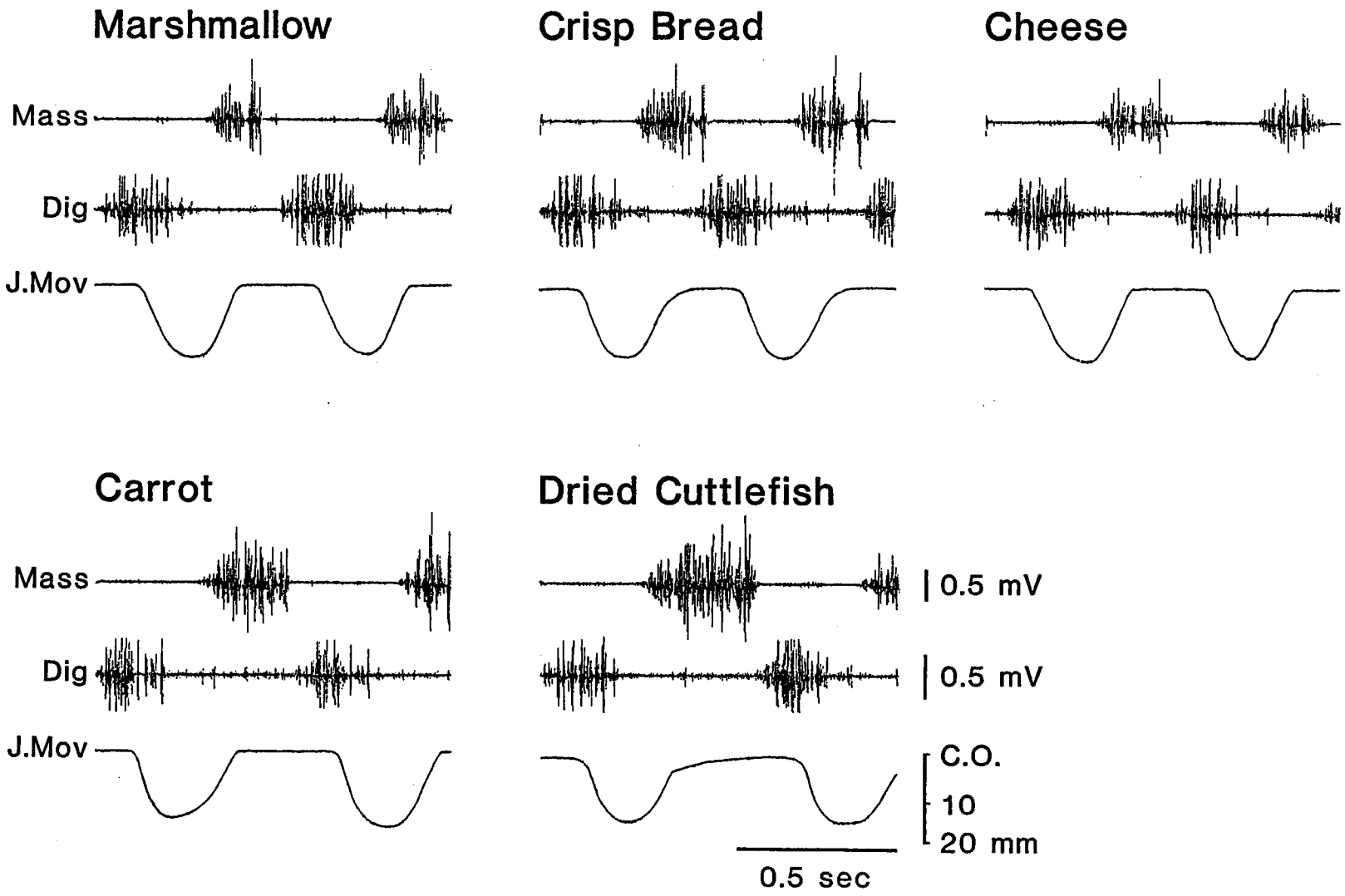

Marshmallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish
Mass
Dig
J.Mov
0.5 mV
0.5 mV
C.O.
10
20 mm
0.5 sec

図 2.

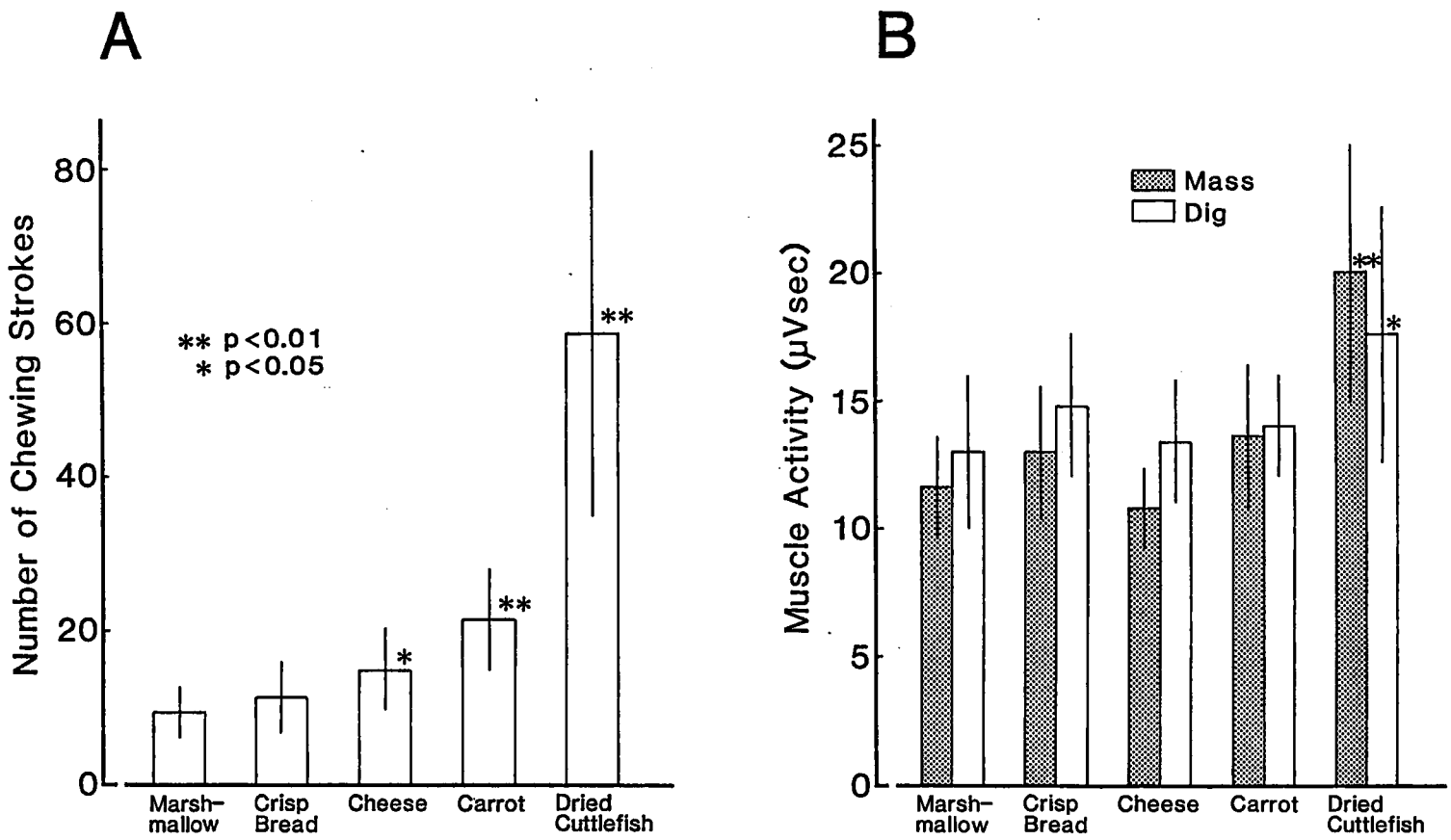

A
Number of Chewing Strokes
80
60
40
20
0
** p<0.01
* p<0.05
**
**
*
Marsh-mallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish
B
Muscle Activity (μVsec)
25
20
15
10
5
0
Mass
Dig
**
*
Marsh-mallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish

図 3.

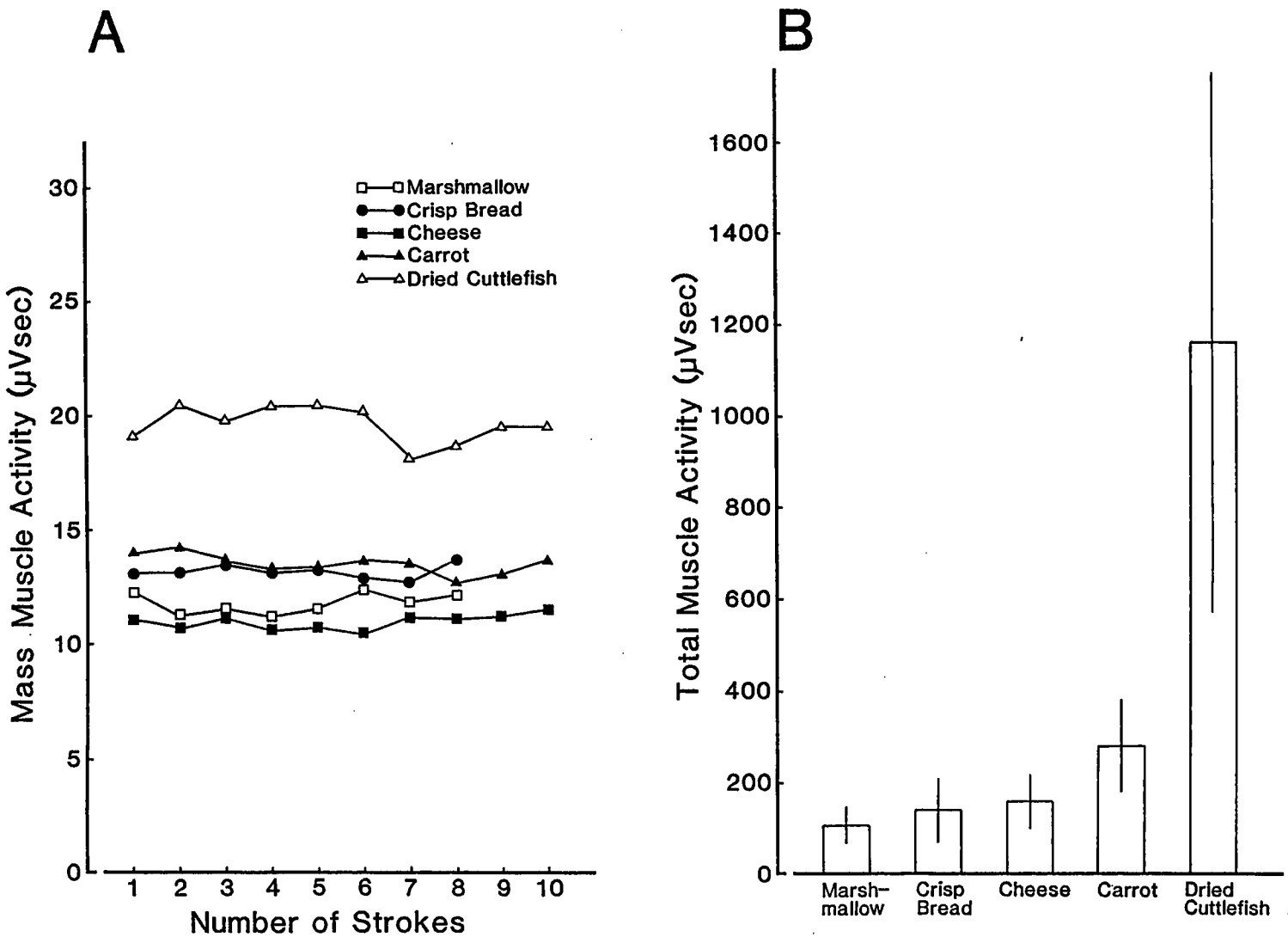
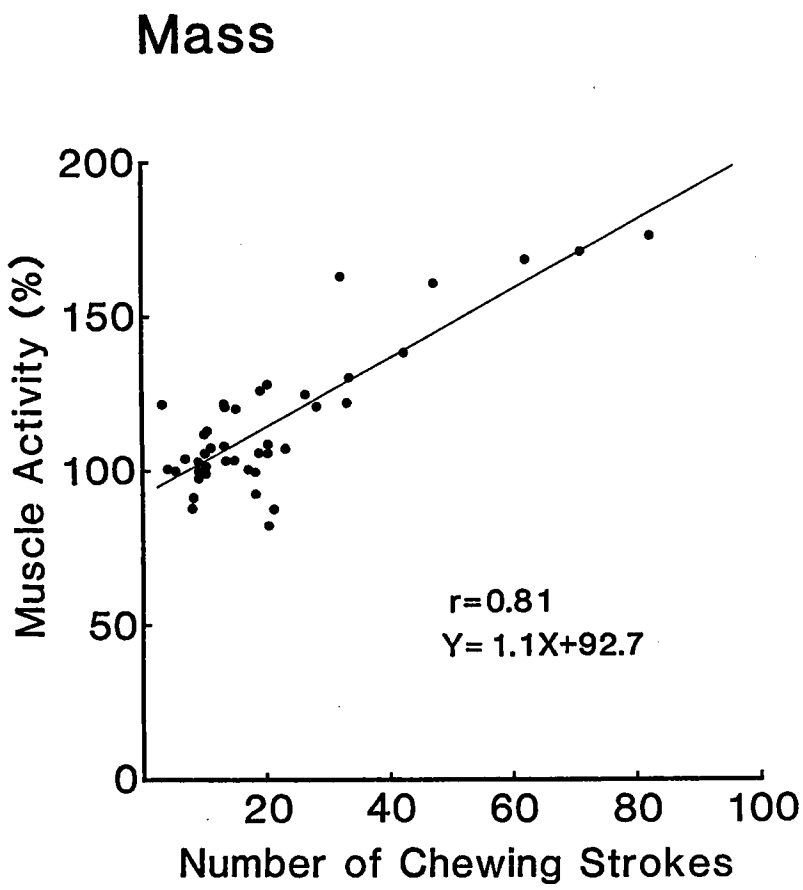

A
Marshmallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish
Mass Muscle Activity (µVsec)
0
5
10
15
20
25
30
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Number of Strokes
B
Total Muscle Activity (µVsec)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
Marsh-mallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish

図 4.


Mass
Muscle Activity (%)
200
150
100
50
0
20
40
60
80
100
Number of Chewing Strokes
r=0.81
Y= 1.1X+92.7

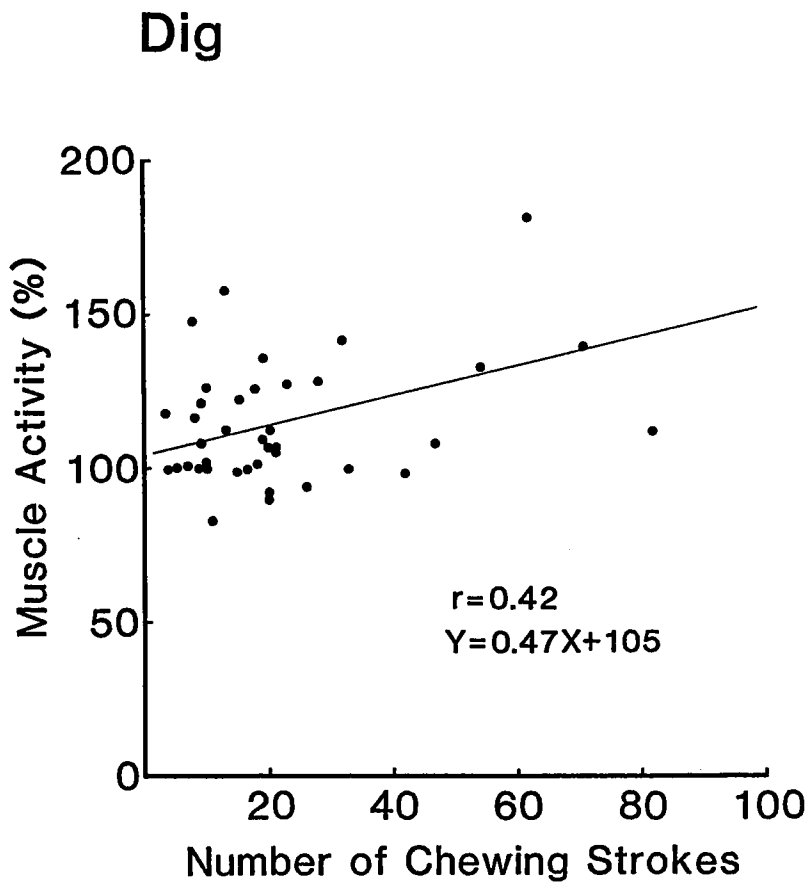

Dig
Muscle Activity (%)
200
150
100
50
0
20
40
60
80
100
Number of Chewing Strokes
r=0.42
Y=0.47X+105

図5.

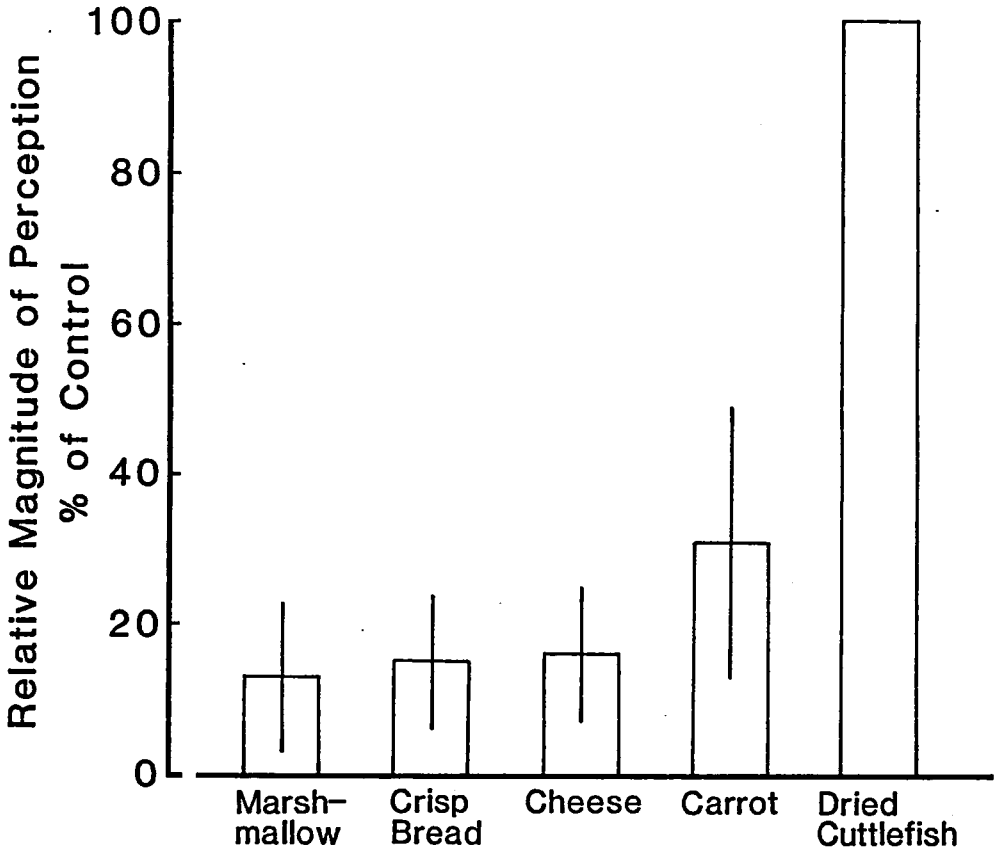

Relative Magnitude of Perception
% of Control
100
80
60
40
20
0
Marsh-
mallow
Crisp
Bread
Cheese
Carrot
Dried
Cuttlefish

図 6

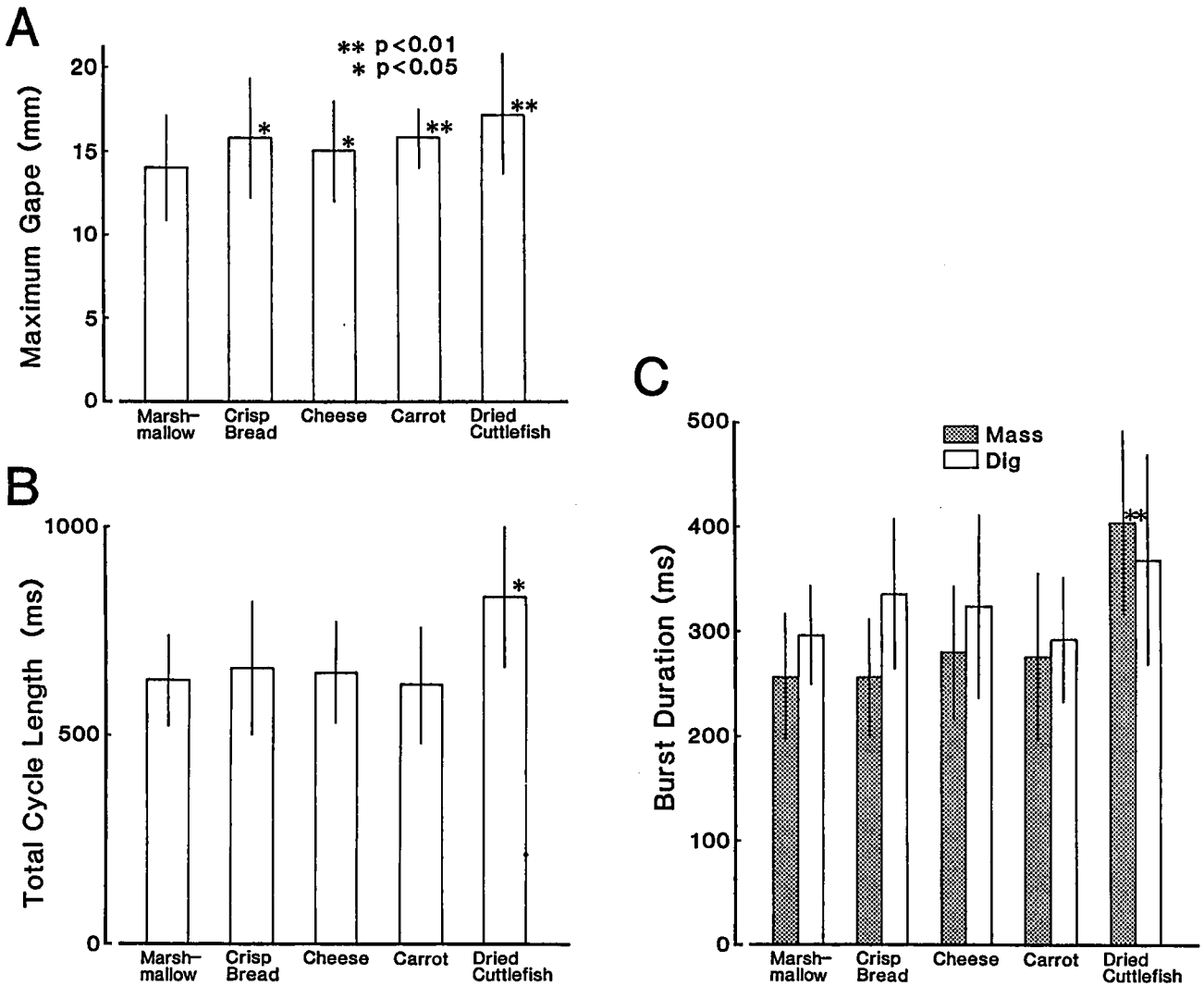
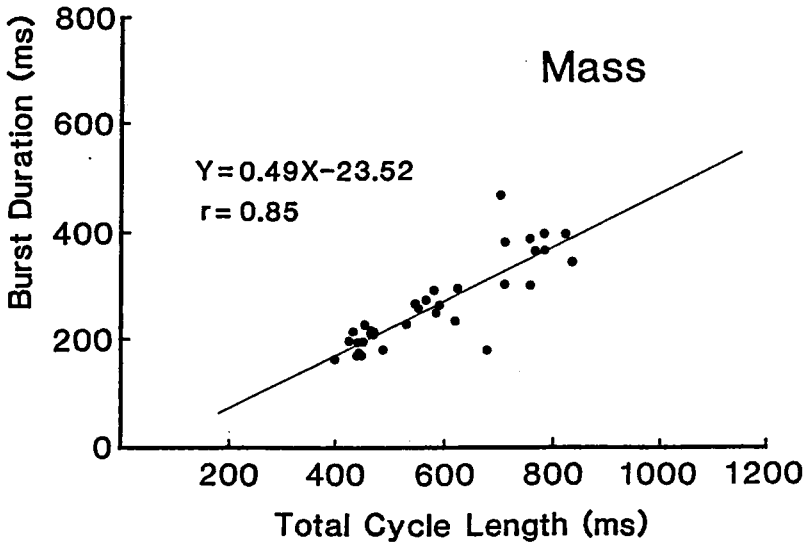

A
** p<0.01
* p<0.05
Maximum Gape (mm)
20
15
10
5
0
Marsh-mallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish
B
Total Cycle Length (ms)
1000
500
0
Marsh-mallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish
C
Mass
Dig
Burst Duration (ms)
500
400
300
200
100
0
Marsh-mallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish

図 7.



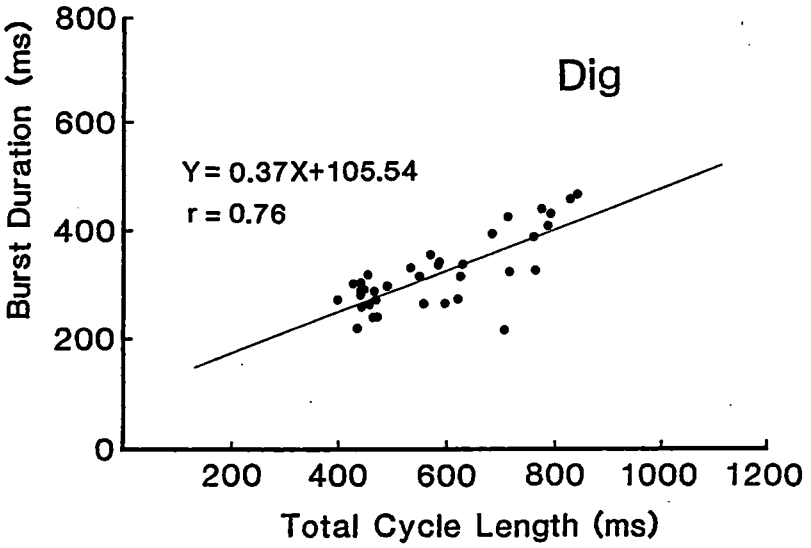


図 8.

TCL — Burst Duration	Slope	Correlation Coefficient
TCL — Mass	0.49 (±0.11)	0.76* (±0.12)
TCL — Dig	0.37 (±0.14)	0.66* (±0.24)

*p<0.001

表 2.

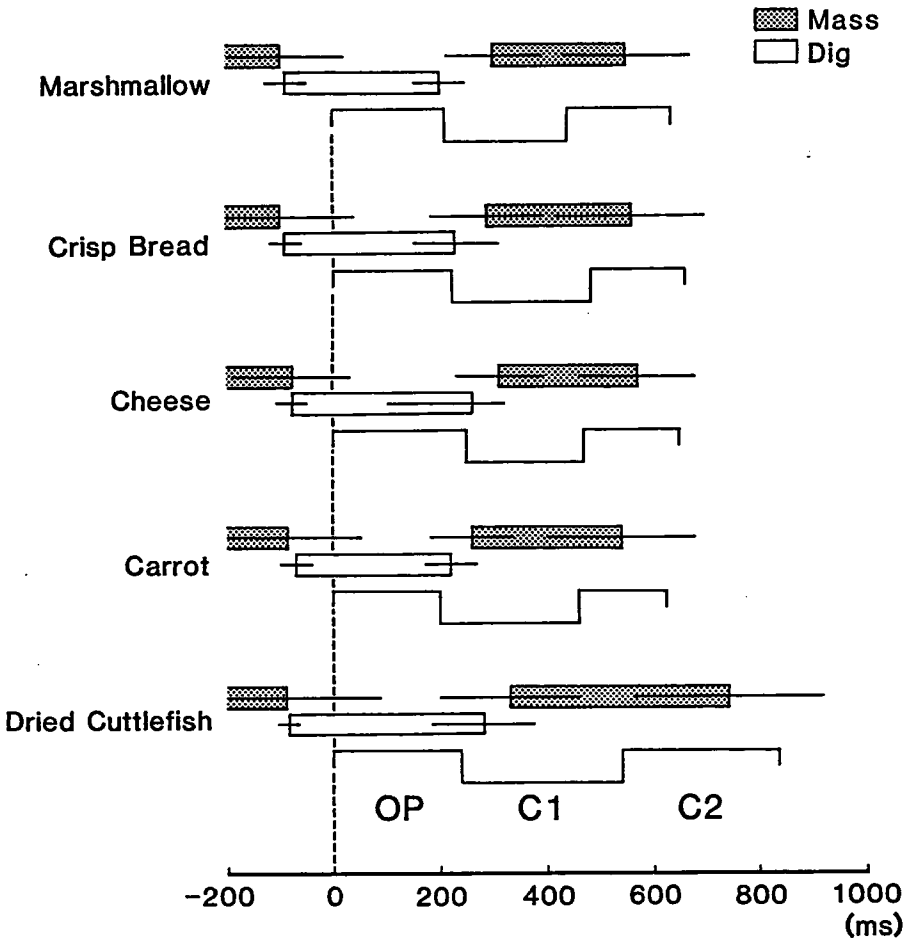

Mass
Dig
Marshmallow
Crisp Bread
Cheese
Carrot
Dried Cuttlefish
OP
C1
C2
-200
0
200
400
600
800
1000
(ms)

図 9.

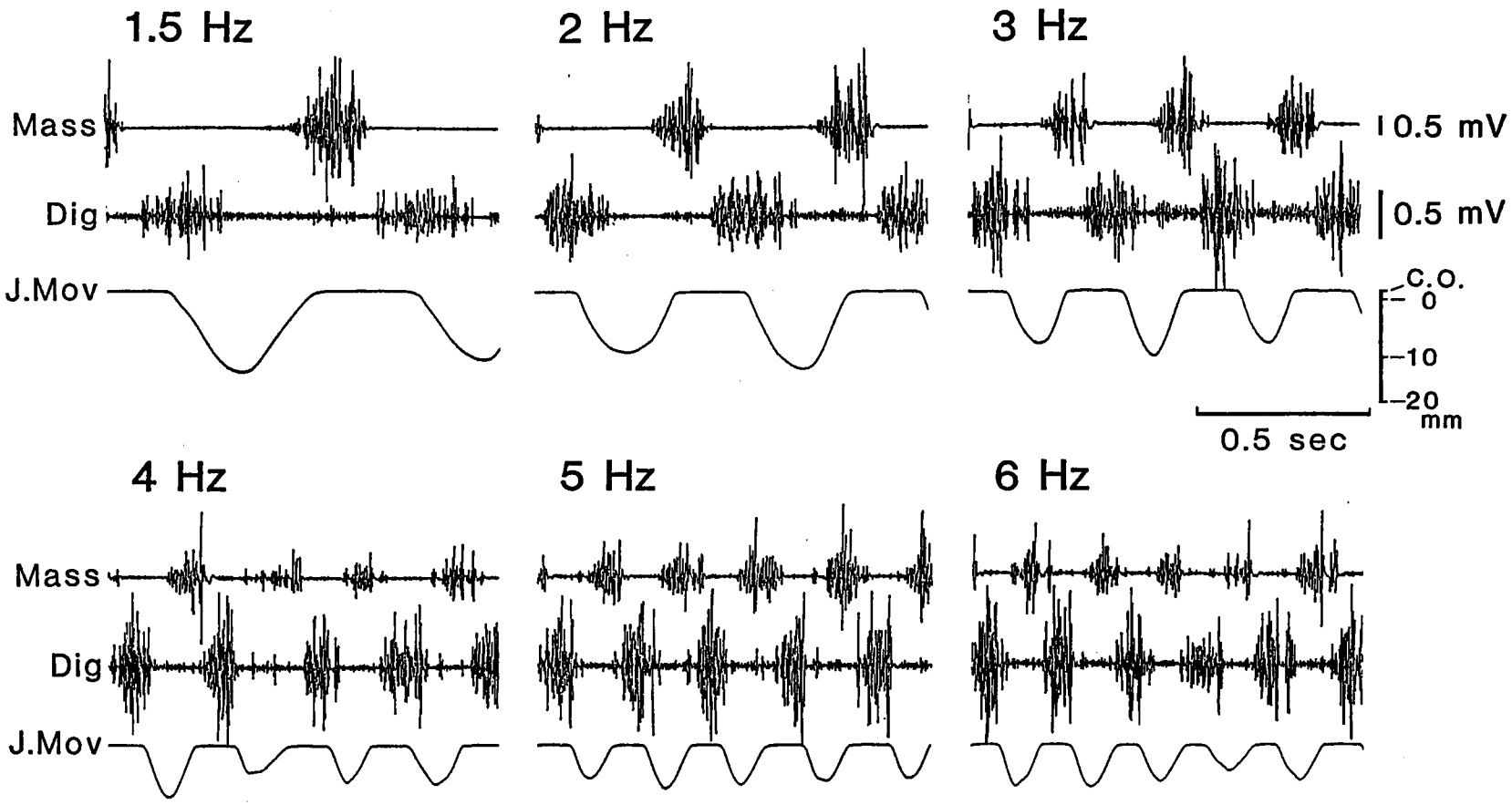

1.5 Hz
2 Hz
3 Hz
Mass
Dig
J.Mov
0.5 mV
0.5 mV
C.O.
0
10
20
mm
0.5 sec
4 Hz
5 Hz
6 Hz
Mass
Dig
J.Mov

図10.

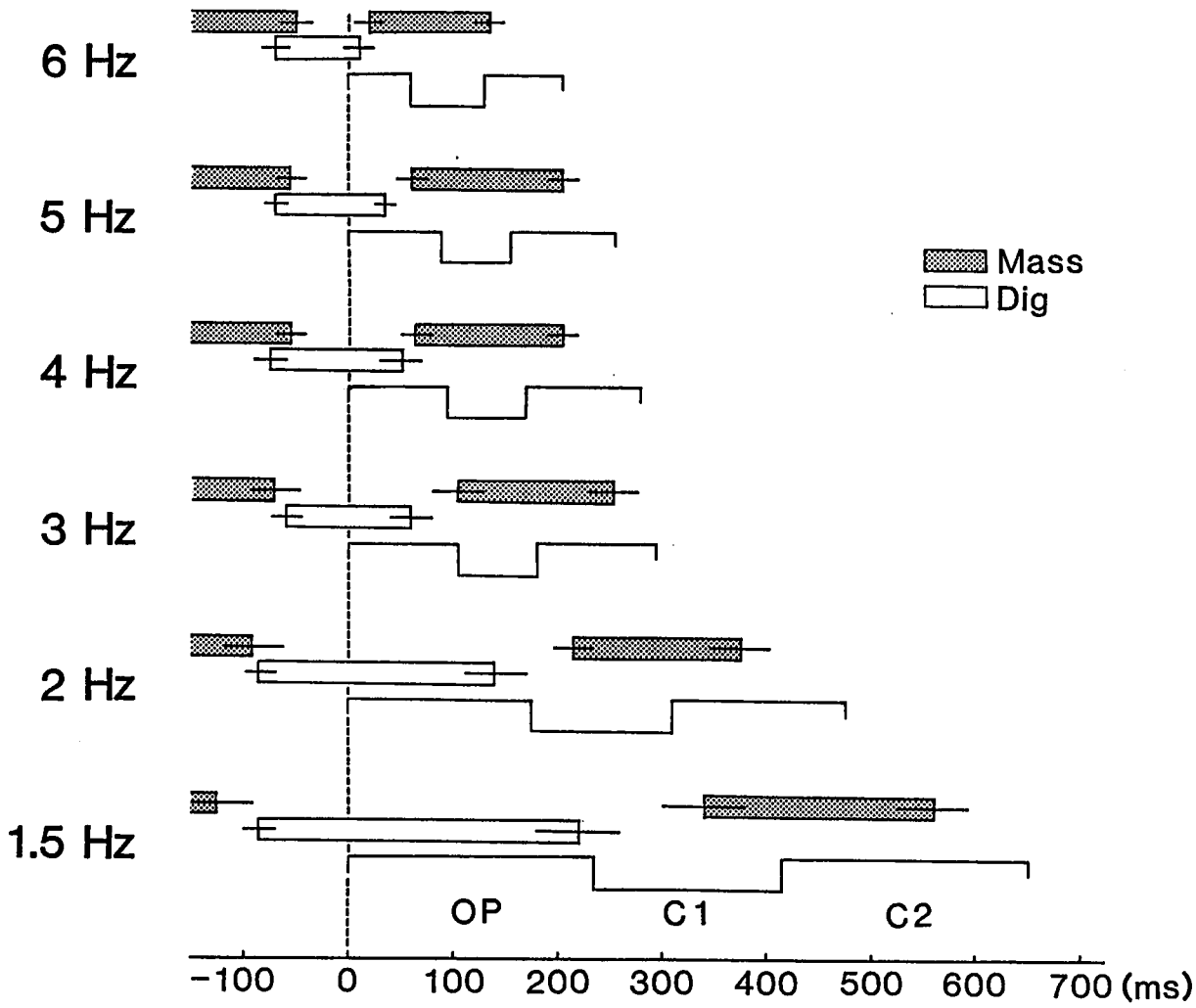

6 Hz
5 Hz
4 Hz
3 Hz
2 Hz
1.5 Hz
Mass
Dig
OP
C1
C2
−100
0
100
200
300
400
500
600
700 (ms)

図 11.

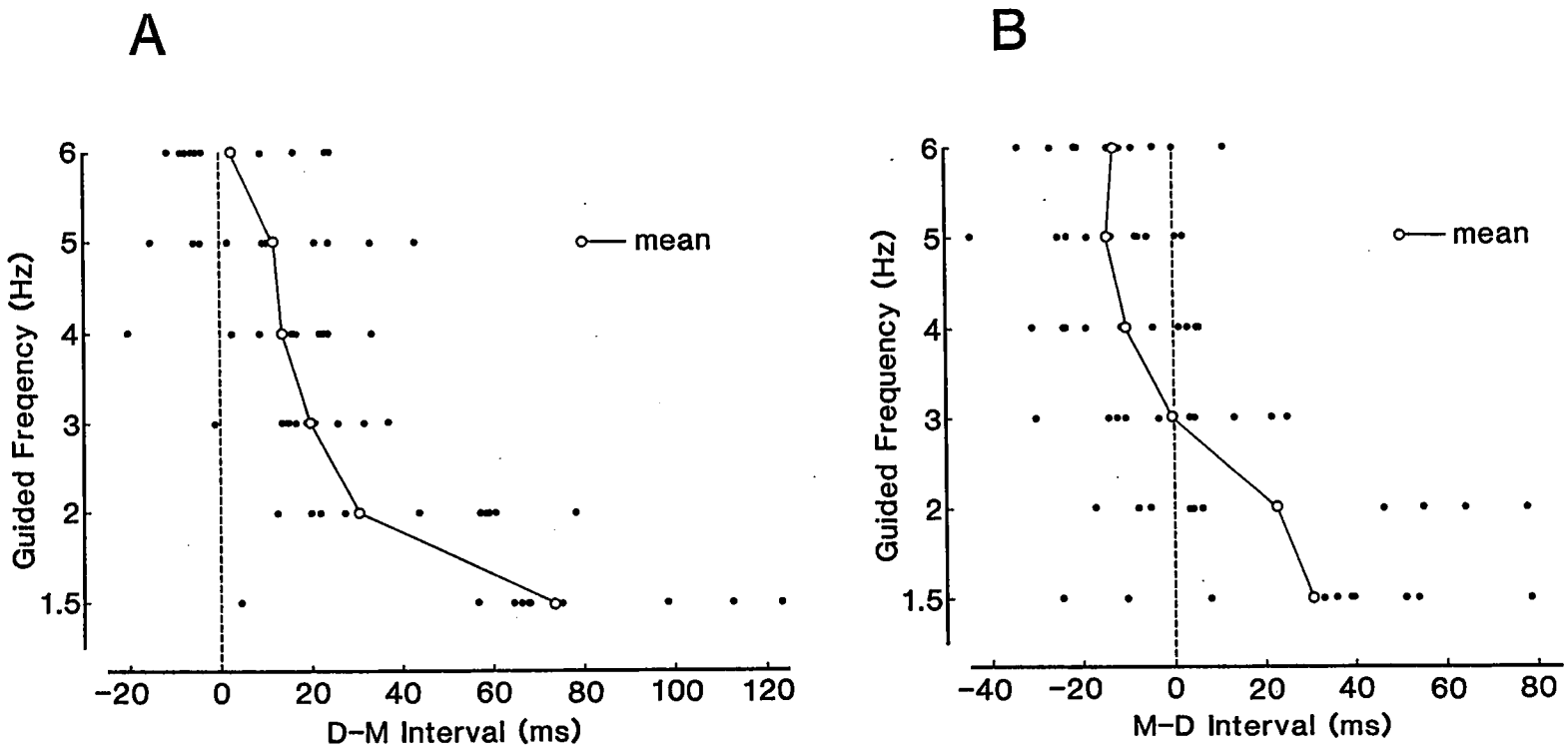
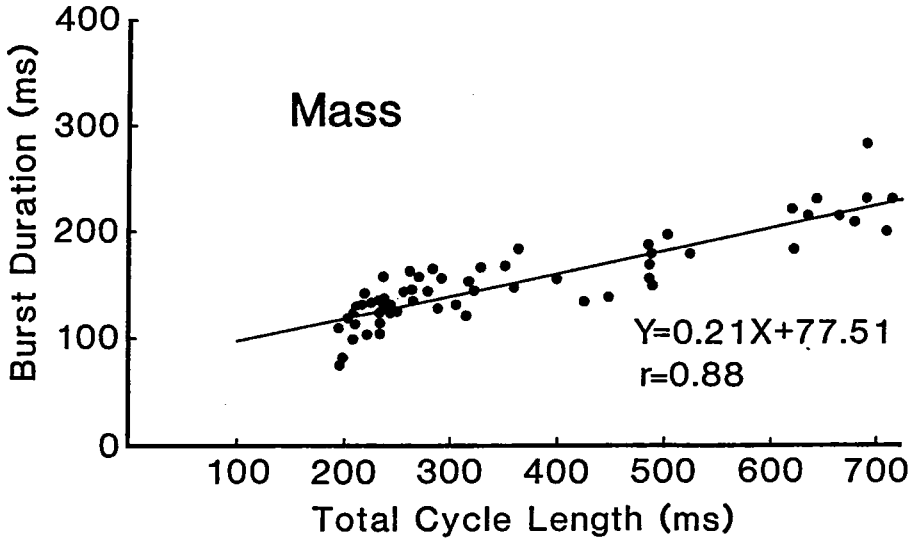

A
B
Guided Freqency (Hz)
Guided Frequency (Hz)
mean
mean
D-M Interval (ms)
M-D Interval (ms)
6
5
4
3
2
1.5
-20
0
20
40
60
80
100
120
-40
-20
0
20
40
60
80

図 12.



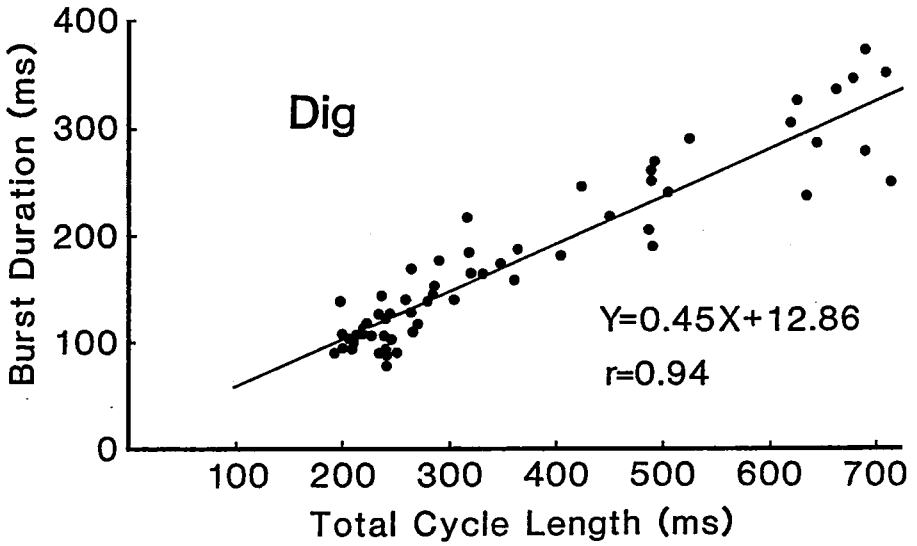
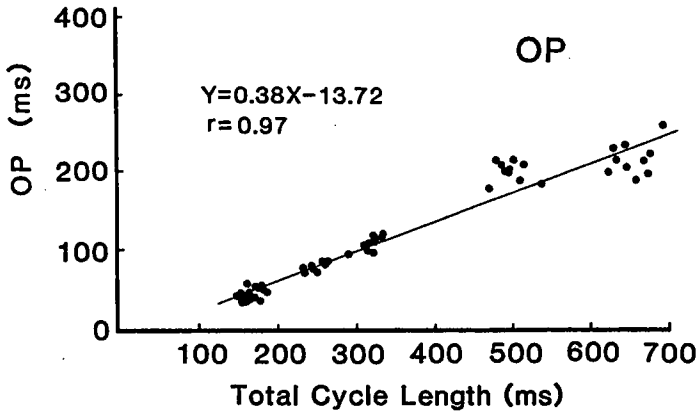


図 13.

TCL — Burst Duration	Slope	Correlation Coefficient
TCL — Mass	0.28 (±0.05)	0.89 * (±0.04)
TCL — Dig	0.46 (±0.09)	0.92 * (±0.05)

* $p<0.001$



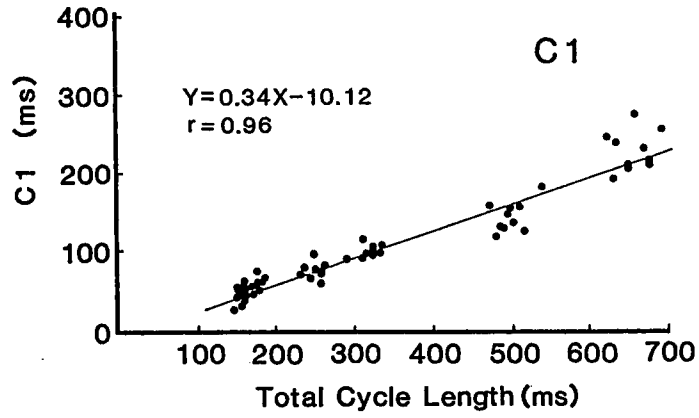
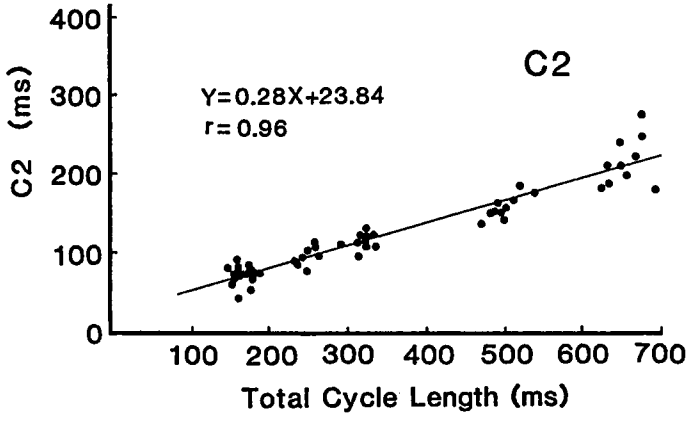


図 14.



	Slope	Correlation Coefficient
TCL−OP	0.38 (±0.05)	0.98 * (±0.02)
TCL−C1	0.33 (±0.06)	0.98 * (±0.02)
TCL−C2	0.29 (±0.07)	0.95 * (±0.02)

* $p<0.001$

表 4

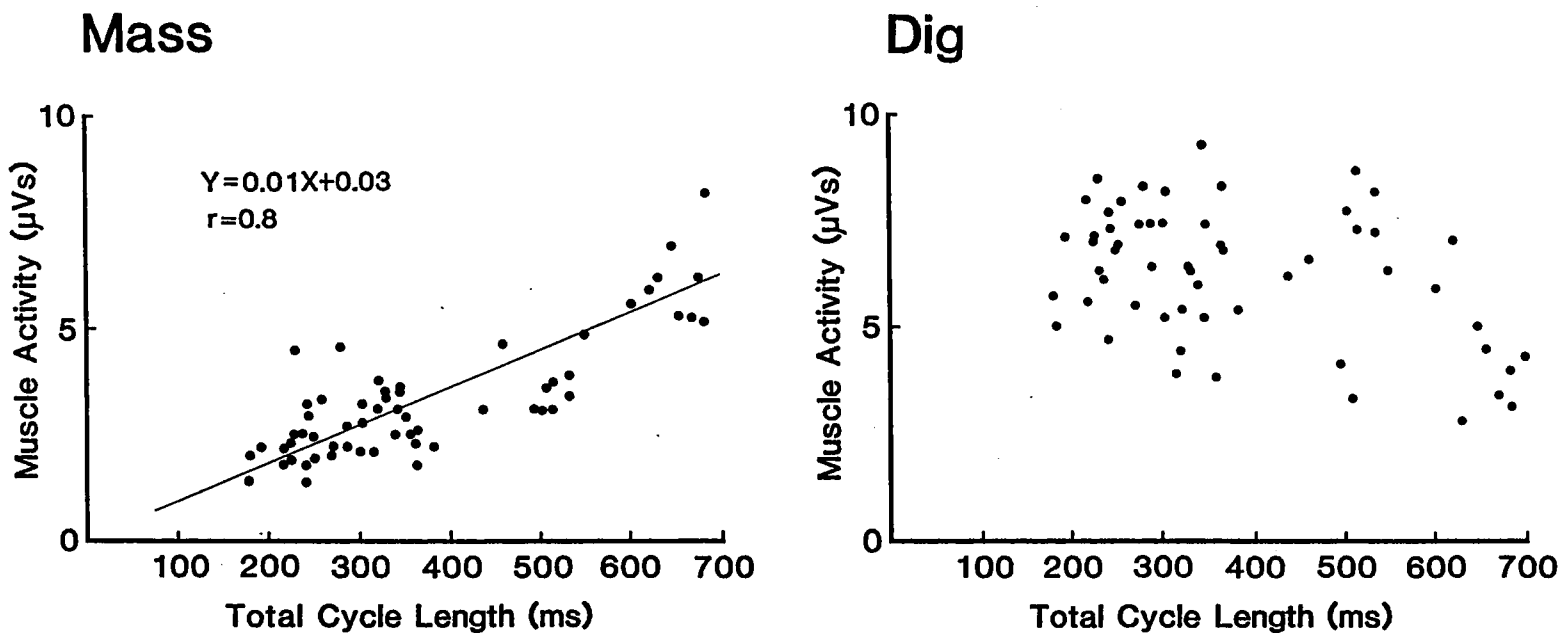
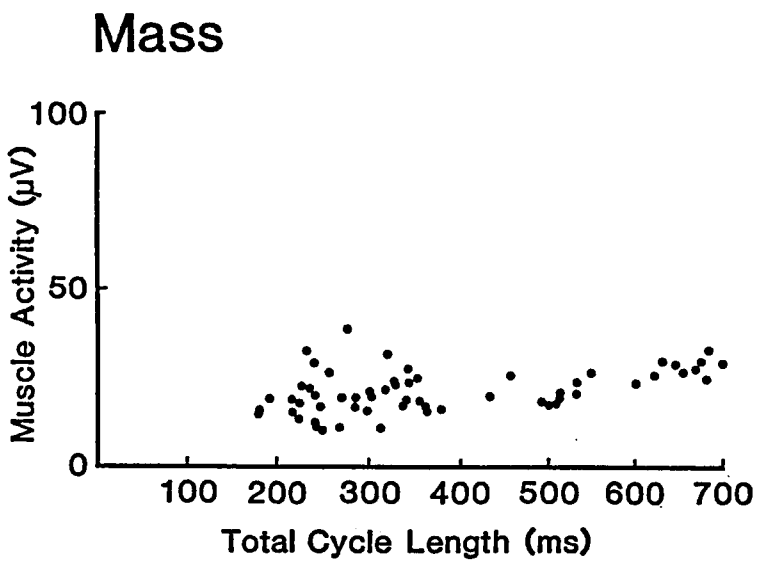
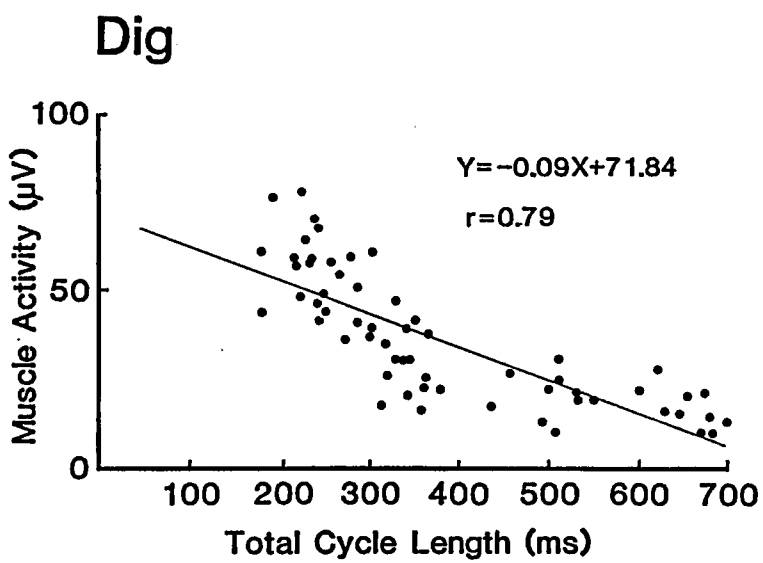

Mass
Dig
Y=0.01X+0.03
r=0.8
Muscle Activity (μVs)
Total Cycle Length (ms)
0
5
10
100
200
300
400
500
600
700

図 15


Mass
100
50
0
Muscle Activity (µV)
100 200 300 400 500 600 700
Total Cycle Length (ms)


Dig
100
50
0
Muscle Activity (µV)
Y=-0.09X+71.84
r=0.79
100 200 300 400 500 600 700
Total Cycle Length (ms)

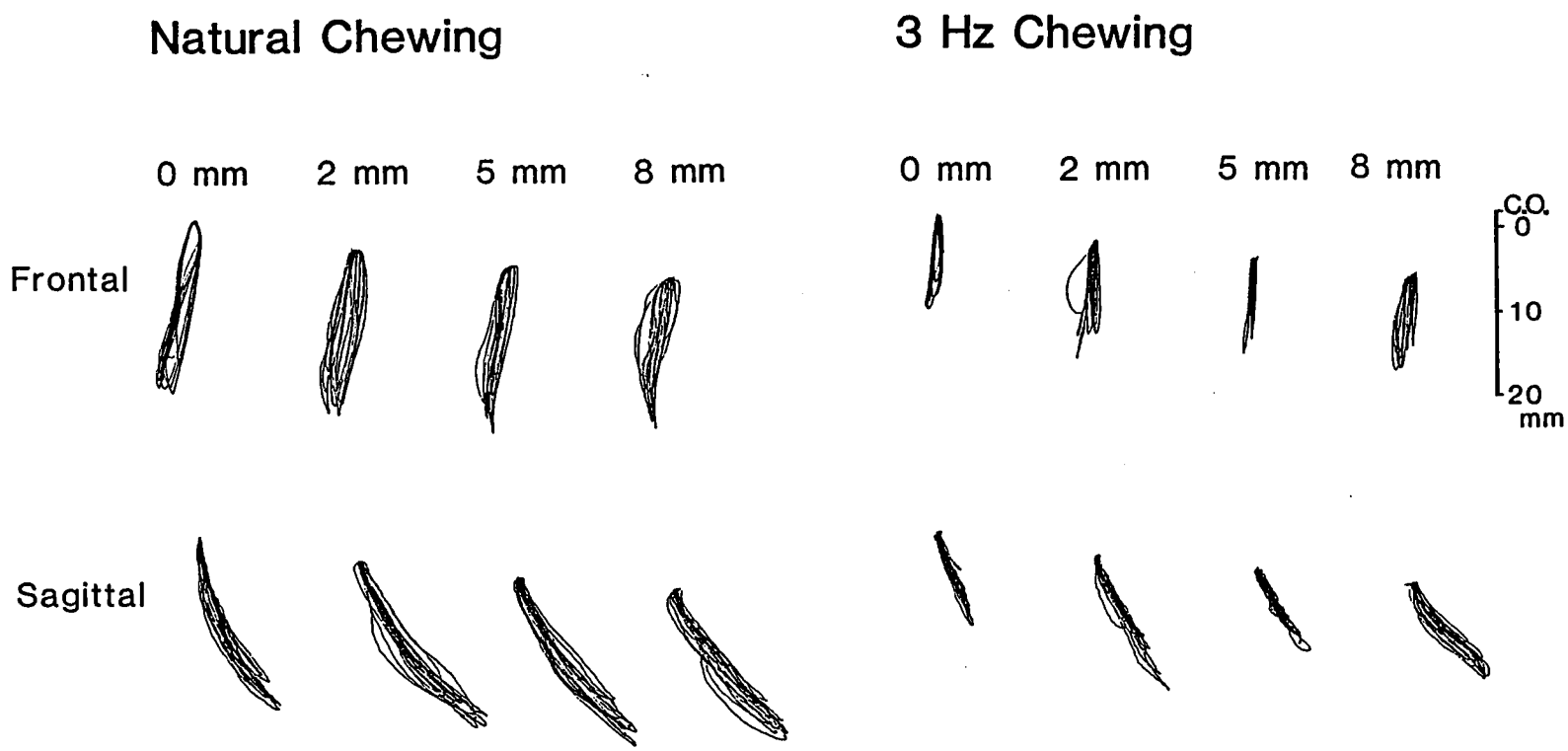

Natural Chewing
3 Hz Chewing
0 mm
2 mm
5 mm
8 mm
0 mm
2 mm
5 mm
8 mm
Frontal
Sagittal
C.O.
0
10
20
mm

図 17

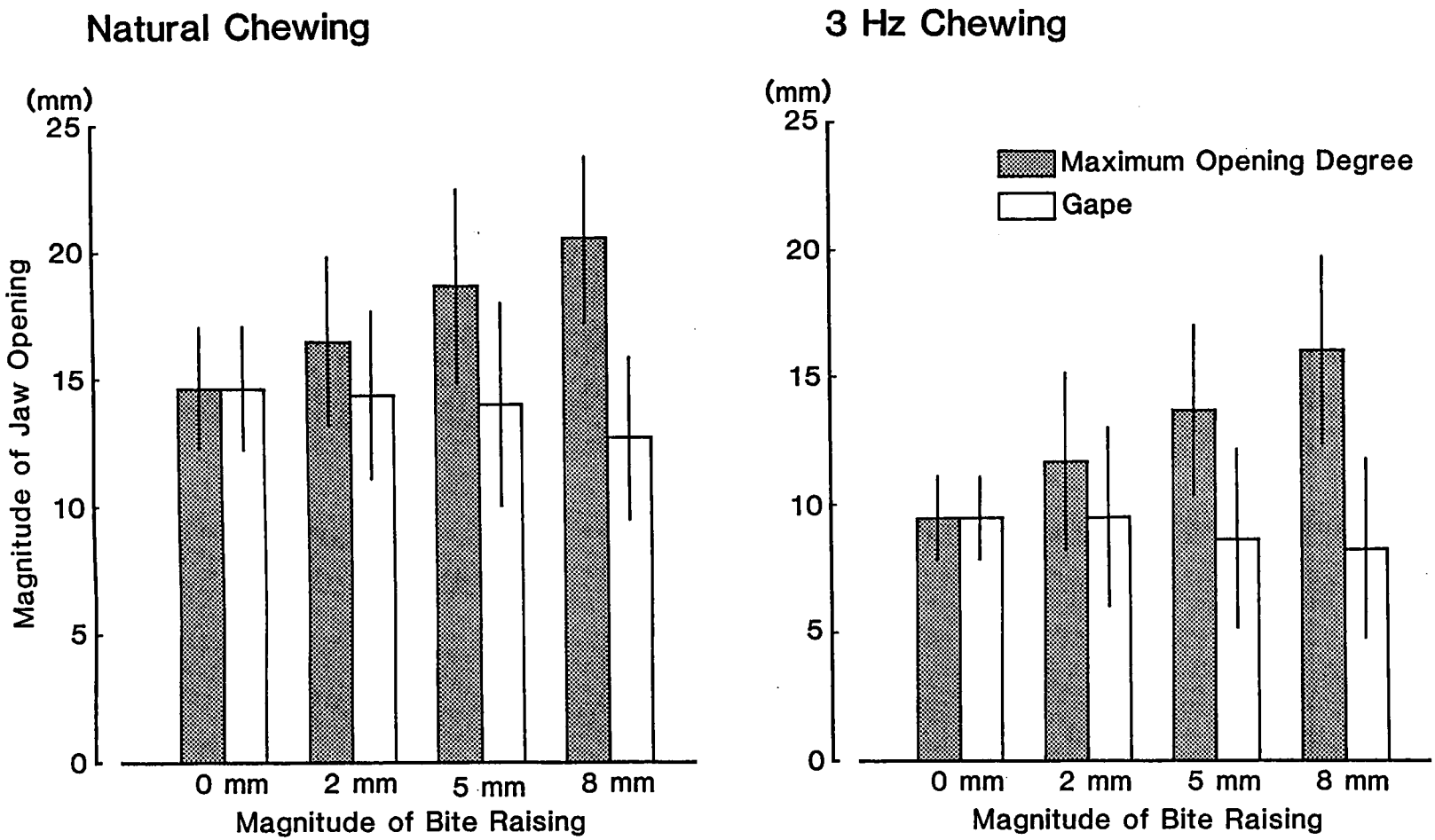

Natural Chewing
3 Hz Chewing
(mm)
25
20
15
10
5
0
Magnitude of Jaw Opening
Maximum Opening Degree
Gape
0 mm
2 mm
5 mm
8 mm
Magnitude of Bite Raising

図 18.

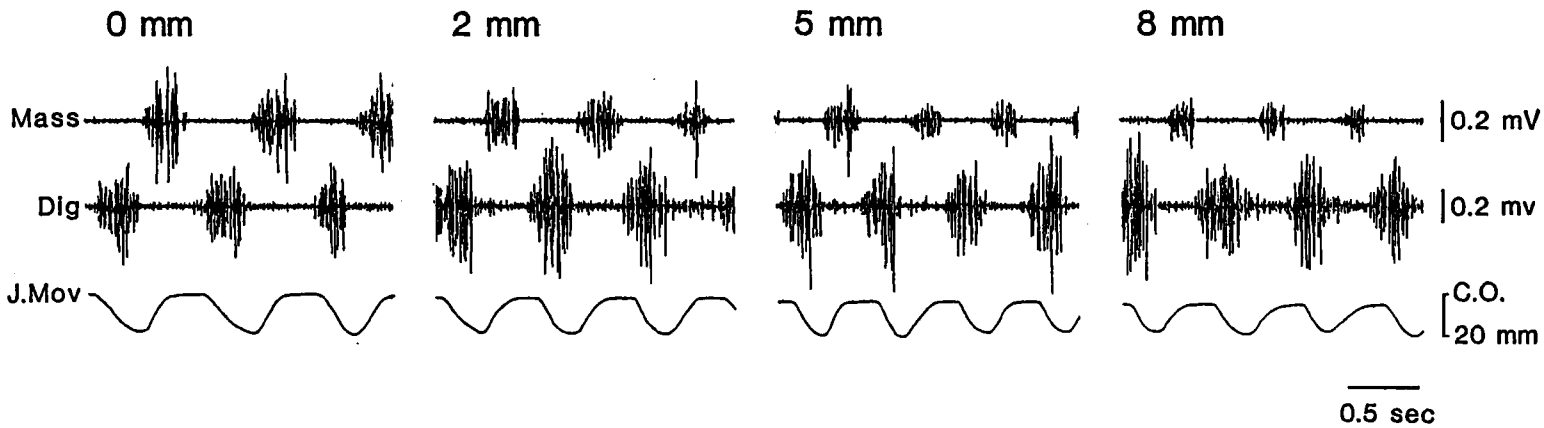


図 19

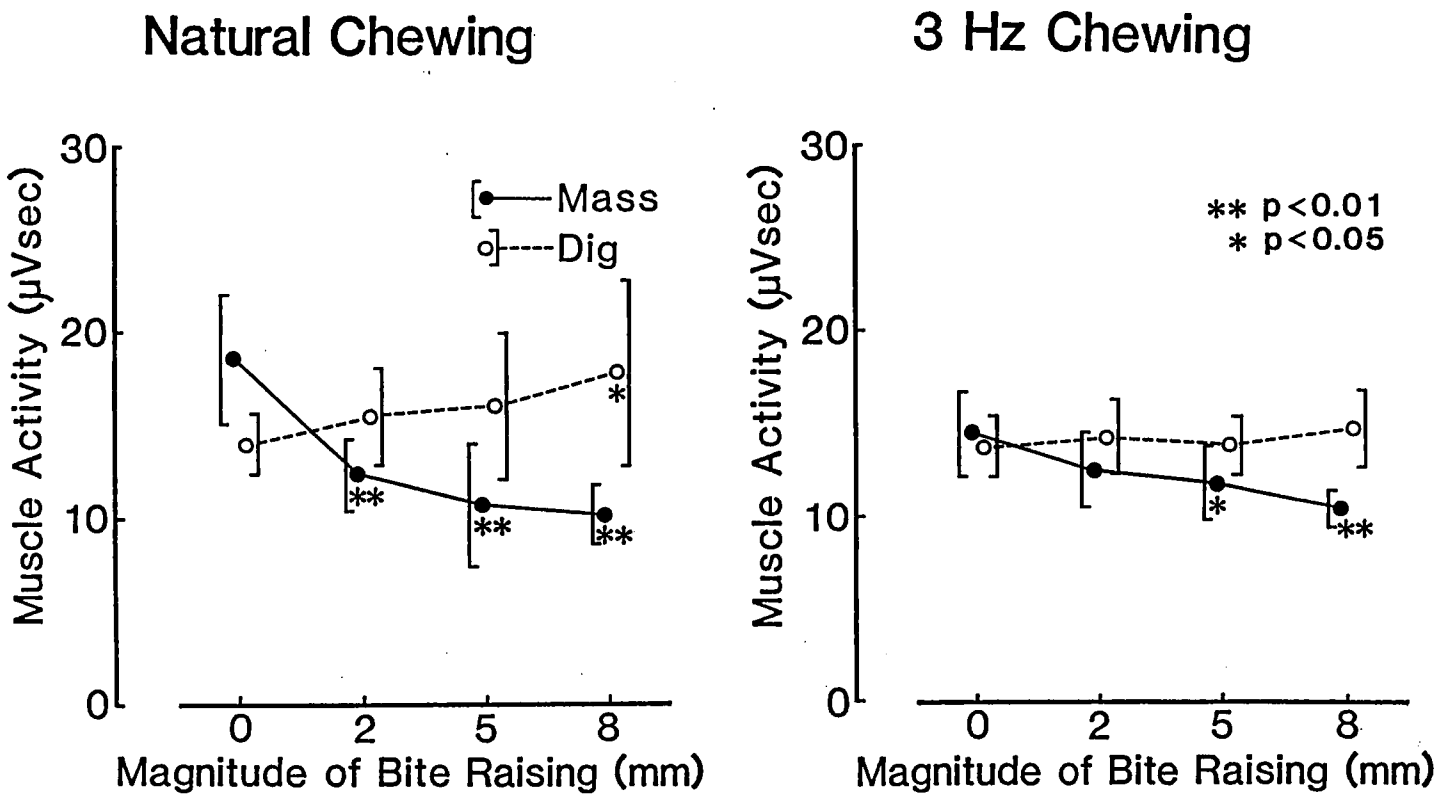

Natural Chewing
3 Hz Chewing
Muscle Activity (μVsec)
30
20
10
0
Mass
Dig
** p<0.01
* p<0.05
0
2
5
8
Magnitude of Bite Raising (mm)

図 20

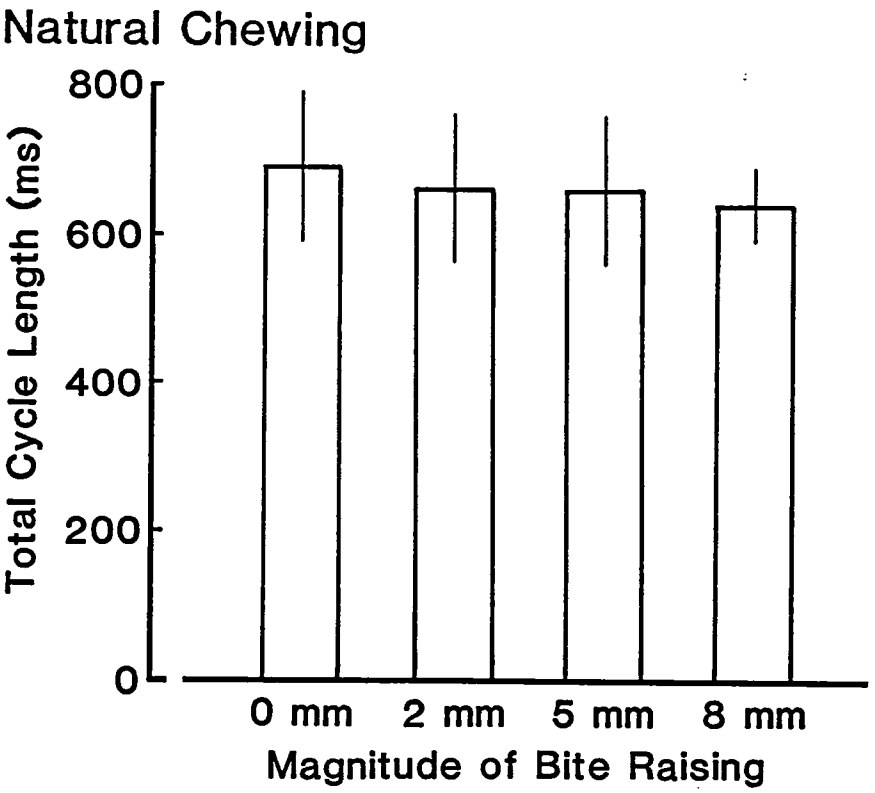

Natural Chewing
800
600
400
200
0
Total Cycle Length (ms)
0 mm
2 mm
5 mm
8 mm
Magnitude of Bite Raising

図21.