The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	モルモットにおける咬合高径の維持に関する生理学的研究
Author(s)	八木, 孝和
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3169315
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

学位論文

モルモットにおける咬合高径の維持に関する生理学的研究

大阪大学大学院歯学研究科歯学臨床系専攻
（歯科矯正学）

八　木　孝　和

緒言

歯科臨床において、咬合高径を過度に高くした場合には、頭痛や歯ぎしり、咀嚼筋の圧痛、筋疲労、運動時の誘発痛、顎関節部の疲労感や圧痛等の障害が生じることが報告されている[1)]。一方、咬合高径が過度に低い場合に、聴覚障害や、不眠、注意力の散漫を招くことが報告されている[2)]。さらに、ヒトについて、咬合高径の変化は咬合力と咀嚼筋活動に影響を与えることが明らかにされている[3,4)]。これらの報告から、天然歯列の咬合高径は、咀嚼等の口腔機能を遂行する上で適切な高さに維持されていると推察できる。一方、動物実験において咬合挙上装置を装着して、ある期間、高い咬合高径を維持すると、下顎骨の形態、筋付着部位および筋線維の組成などに変化が認められると報告されている[5~12)]。前記の研究結果は、人為的に咬合高径を短期的あるいは長期的に変化させることは生体にとって不都合であり、もし咬合高径を変化させた状態が長期にわたって維持されるなら、顎顔面形態はその状態に適合するように変化することを示している。しかし、これらの動物実験において、人為的に設定された咬合高径は装置により付与されたものであり、常に装置が上下歯間に介在しているため、動物自らの力だけで咬合高径を容易に変化させることはできなかった。したがって、装置の介在をなくして、動物自らの力だけで咬合高径を

変えることができるようにした場合、動物が人為的に与えられた新しい咬合高径を受け入れるのか、あるいは元の咬合高径へ戻そうとするのかについては不明である。

一方、モルモットは絶えず歯が萌出し続ける動物[13,14]であり、切歯部に咬合挙上装置を装着すると臼歯は萌出し、短期間に咬合高径の高い状態で臼歯部は咬合することが知られている[10~12]。

本研究の目的は、モルモットを用い、人為的に高く設定された場合の咬合高径が、その後どのように変化するのかについて明らかにするとともに、その変化に関与する行動生理学的反応を検討することである。すなわち、咬合高径を実験的に挙上したモルモットについて、咬合挙上装置を撤去した後、咬合高径がどのように変化するのかを経時的に調べた。また、咀嚼筋活動について、咬合挙上前の状態を対照として、咬合挙上装置を撤去した後の経時的変化を調べた。

実験材料および実験方法

実験１：挙上された咬合高径の経時的な変化

実験には４週齢から５週齢の雄性 Hartley 系モルモット 10 匹を用いた。咬合

挙上を行なった5匹を実験群とし、咬合挙上を行わない5匹を対照群とした。これらの動物を、午前7時から午後7時までを明環境下とした室温25℃の実験用ケージ内で、1週間にわたって馴化させた。なお、1ゲージについて2匹を収容し、水と固形飼料を自由に摂取させた。

1）咬合挙上装置の作製、装着および撤去

Paikら[10~12]の方法にしたがって、間接法により咬合挙上装置を作製した。このため矯正用メッシュ板（mesh gauze、トミー（株）、東京）、歯科用即時重合レジン（UNIFASTⅡ、（株）ジーシーデンタルプロダクツ、春日井）および矯正用バンド（roll band、0.10×4.6 mm、トミー（株）、東京）を用いた。装置上面が咬合平面に対して平行になるように調節し、臼歯部において上下歯の間に約3 mm の間隙が生じるように設定した。また、装置の磨耗を最小限に抑え、顎間距離の経時的な変化を防ぐために、装置咬合面には4×4mmのステンレス製金属板を使用した。装置の装着は、ペントバルビツレートナトリウム（30mg/kg i.p.、ネンブタール、大日本製薬（株）、大阪）および1mg アトロピン （1mL/100gm、Atropine sulfate、田辺製薬（株）、大阪）を腹腔内に投与後、下顎切歯部に歯科矯正用ボンディング剤（Unite、3M ユニテック（株）、東京）を用いて行った（図1A 矢印）。予備実験では約3mmの咬合挙上を行うと、新たな上下臼歯の対咬関係が獲得されるのに約5日間を要した。そこで10日間の装置装着後、側面位頭

部Ｘ線規格写真（後述）にて、臼歯部で咬合が挙上され十分に咬合していることを確認し、ペントバルビツレートナトリウム（30mg/kg　i.p.）による全身麻酔下にて装置を撤去した。

２）側面位頭部Ｘ線規格写真法による計測と分析

動物の咬合状態および経時的な頭蓋骨の変化を調べるため、側面位頭部Ｘ線規格写真を撮影した。Ｘ線発生装置には軟性Ｘ線発生装置（HA-80R type、ハイテックス（株）、大阪）を用いた。撮影条件は、二次電圧を 40kV、二次電流を 10mA および曝射時間を 4.0 秒とし、Ｘ線用フイルムには歯科用オクルーザルＸ線フイルム（Ektaspeed plus　EO-42p、57×76mm、Eastmen Kodak Co.、Rochester、U.S.A.）を用いた。頭部は頭部固定装置によって常に一定の条件下に保持されるようにした。Ｘ線発生装置からフイルム面までの幾何学的条件については、Hanada[15] の方法を用いて、焦点からイヤーロッド間の中心までを 250 mm、イヤーロッド間の中心からフィルム面までを 25 mm とした。撮影は、装置装着前、装置装着中および装置撤去後（1～7 日目までの毎日、10 日目、15 日目、20 日目、25 日目、30 日目）に、エーテル（ジエチルエーテル、ナカライテスク（株）、京都）による麻酔下で行った（図 1A、B）。

得られたＸ線写真をスキャナ（GT-9500、セイコーエプソン（株）、諏訪）を用いてパーソナルコンピューター（Compaq5180、Compaq Co.、Houston、USA）

に画像として取り込んだ。画像データは画像処理プログラム（Photo shop Ver.4.0、Adobe systems inc.、東京および Corel draw Ver.8、（株）メディアビジョン、東京）を用いて、24 倍に拡大した。前記の操作で、骨格線がより鮮明となった画像上において、解剖学的に基準[16]となる 9 箇所の点（図 1C）を同定して計測した（表 1）。

計測誤差については、So 点を原点とし、X 軸を A-E 線分に対して平行に設定した各計測点の X 成分と Y 成分に対して、100 分の 1mm 単位で 1 ヶ月間隔に 2 度計測し、Dahlberg[17] の誤差式

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{2(N-1)}}$$

（N：レントゲン写真数、d：各点の同定時における偏位量）

を用いて評価した。また、同一個体について、1 時間毎に連続 10 回の設定および撮影を行ったデータから設定時の誤差を算出した。

実験 2：咬合挙上前後における自由行動下での咀嚼筋筋活動の測定

実験には 4 週齢から 5 週齢の雄性 Hartley 系モルモット 5 匹を用いた。咬合挙上の方法は実験 1 と同様とした。

1）咀嚼筋活動の測定

筋電図の記録電極には、先端被膜を約 2mm 剥離した直径 200μm の一対のテ

フロンコーティングステンレス線を使用し、ペントバルビツレートナトリウム（30mg/kg　i.p.）による麻酔下で、咬筋および顎二腹筋前腹に極間距離約 1cm で、電極を刺入した。テフロンコーティングステンレス線の他端は、皮下を通して、頭部のコネクターに接続した。頭部のコネクターから行動を制限しないように、スリップリングを介して生体信号増幅器（AB-621、日本光電（株）、東京）へ接続し、自由行動下で咬筋と顎二腹筋の筋電図を記録した（時定数、0.03s）。行動様式の変化に関する筋電図の解析と、より詳細な咀嚼運動に関する筋電図の解析のために、筋電図を 2 種類の方法で同時に記録した。行動様式の変化に関する筋電図を解析するために、午前 9 時から午後 3 時までの 6 時間分の筋電図を、サンプリング周波数 2kHz で生体信号記録・解析システム（Signal – Basic Light、日本 GE マルケットメディカルシステム（株）、東京）へ取り込み、全波整流および平滑化（カットオフ周波数、 44.3Hz）したデータをハードディスク上に保存した。一方、咀嚼運動に関する詳細な筋電図の解析には、午前 9 時から午前 11 時までの 2 時間分の筋電図を、全波整流および平滑化せずに、データレコーダ（208-A、ソニー（株）、東京）を用いて、磁気テープ（DAT120、ソニー（株）、東京）上に記録し、オフライン分析に用いた。また、筋電図の記録と同時に、ビデオカメラ （Hyper HAD™ SSC-DC20/25、ソニー（株）、東京） でモルモットの行動をビデオ用磁気テープに記録し、モルモットの行動解析に用

いた。なお、記録中も給餌箱からの摂食と吸水瓶からの飲水は自由に行わせた。筋電図を記録した後、エーテル麻酔下で側面位頭部X線規格写真を撮影した。

筋電図の測定は、装置装着2日目前、1日目前、装置撤去後1日目、3日目、5日目、7日目、10日目および15日目に行った。側面位頭部X線規格写真の撮影は、装置装着前、装置撤去後7日目までの毎日、装置撤去後10日目および15日目に行った。

2）筋電図の分析

モルモットの咀嚼運動は左右に大きく振れる8の字型を描くため、咬筋と顎二腹筋のそれぞれの筋電図活動には、大きなバーストと小さなバーストが交代性に出現する（図3、文献18）。本実験における咬筋と顎二腹筋の筋電図が、このような変動を示している期間を咀嚼様運動期間とした。1回の記録（総記録時間：6時間）のうち、咀嚼様運動を行っている期間と、それ以外の運動を行っている期間に分け（図2）、それぞれの累計時間を計測した。なお、後者の運動については咬筋活動が主体のもの（図2C）や顎二腹筋が主体となるもの（図2D）があったが、本分析中ではこれらの運動を区別しなかった。咬筋については、それぞれの運動を行っている期間の積分活動量を、生体信号記録・解析システムのハードディスク上に記録されたデータから計算した。

次に、咀嚼運動の特徴を知るために、ビデオ映像より明らかに咀嚼運動を行っ

ている期間の筋活動を分析した。データレコーダに記録された筋電図データを用い、以下の項目を分析した。なお、1 咀嚼サイクルを、咬筋筋電図の大きなバースト開始から次の大きなバースト開始までとした。1）1 咀嚼サイクルの持続時間（TCL）、2）咬筋筋電図の大きなバーストの終了から、顎二腹筋筋電図の大きなバーストの開始までの時間（Interval A）、3）顎二腹筋筋電図の大きなバースト終了から、咬筋筋電図の大きなバーストが開始までの時間（Interval B）、4）各筋における大きなバーストの持続時間、および５）各筋筋電図の大きな活動の積分活動量、を計測した（図 3）。これら咀嚼運動に関与する筋電図の分析には、波形処理ソフトウェア（spike 2、Cambridge Electronic Design Limited、Cambridge、UK）を用いた。記録の序盤 40 分、中盤 40 分および終盤 40 分のそれぞれから、咀嚼運動中の安定した連続 10 ストロークを選び、これらを合わせた 30 ストロークについて平均を求めて、その記録の代表値とした。

３）統計検定

以上の実験結果に対して、分散の均一性を Bartlett 検定により判定し、正規分布に従うという仮説が受け入れられることを χ^2 検定により確認した後、実験 1 に対する群間の差は、二元配置分散分析法を用いて検定を行った。また、実験 2 に対する経日的な変化による群内の差は、繰り返しのある一元配置分散分析法を用いて検定を行った。さらに、有意差が認められた場合には、Tukey の HSD

法を用いて多重比較検定を危険率 5%および 1%で行なった。これらの検定には、統計解析ソフトウェア（STATISTICA™、StatSoft Japan、Inc.、東京）を用いた。

結果

実験 1

側面位頭部 X 線規格写真の測定誤差については、X 軸方向で最大誤差 0.10mm であり、Y 軸方向で最大誤差 0.08mm であった（表 2）。X 軸と Y 軸をあわせた場合に生じる最大誤差は 0.13mm であった。設定時に生じる誤差については、V-T 間距離で±0.01mm、A-Po 間距離で±0.02mm であった。

動物の体重については、実験群では装置装着により減少が認められたが、装置への順応に伴い体重は増大し、実験終了時には対照群との間で有意差は認められなかった。頭蓋の前後的な長さの成長に伴う変化量についても、実験期間を通して実験群（3.3±0.62mm）と対照群（4.0±0.43mm）の間で、有意の差は認められなかった（図 4C）。したがって、本実験中に咬合挙上装置の装着が、動物の成長におよぼした影響は小さかったと考えられる。

咬合高径の経時的変化について、実験群の咬合高径は、咬合挙上装置の撤去時に平均 2.9±0.42mm（実験開始時に対する増大率は 10.0±1.4%）増大してい

た（図 4A）。装置撤去直後、咬合高径は約 3 日間で急激に減少したが、4 日目および 5 日目の 2 日間では暫減した。すなわち、装置撤去後の 1 日目および 2 日目は、対照群と有意差が認められたが、3 日目以降は有意差が認められなくなった。咬合高径の減少は、対照群とほぼ同じ高径に達すると認められなくなり、その後、対照群と同様の咬合高径の増大を示した。対照群は実験期間中、咬合高径が暫増し、実験開始時に比較して、実験終了時の咬合高径の増大率は 7.3±2.3%であった。一方、実験群における実験終了時の咬合高径の増大率は 7.6±0.97%であった。これら両群間に有意の差はなかった。

歯冠の垂直的変化量について、実験群の歯冠長は、咬合挙上装置の撤去時に平均 2.6±0.29mm（実験開始時に対する増大率は 30.0±6.5%）増大した（図 4B）。装置除去後、歯冠長は 3 日間で急激に減少し、4 日目および 5 日目の 2 日間では暫減した。すなわち、装置撤去後の 1 日目および 2 日目は、対照群と有意差が認められたが、3 日目以降は有意差が認められなくなった。対照群と差がなくなると減少は認められなくなり、6 日目以降は成長に沿った経過を示した。このような歯冠長の変化は咬合高径の変化と同じ様相であった。歯冠長の成長に伴う変化は、計測開始から終了までの間で、実験群 0.56±0.05mm（実験開始時に対する増大率は 3.3±3.5%）、対照群 0.47±0.32mm（実験開始時に対する増大率は 2.9±3.6%）であり、両群間に有意の差はなかった。

実験 2

実験 2 に用いた動物における咬合高径の増大量は、装置撤去直後で 2.2±0.22 mm であった。咬合高径は装置撤去後の 3 日間で急激に減少し、その後安定した状態になった。このような咬合高径の変化は、実験 1 の結果と同様であった。

本実験における咀嚼筋活動を図 2 および図 3 に示す。ビデオ記録から、咀嚼を行っている時は、咬筋と顎二腹筋における交代性の活動が認められ、さらに各筋の 1 サイクル中においても、大小の交代性の活動が認められた（図 2B）。このことはモルモットにおける過去の報告[18]と一致する。本実験では、咀嚼時の運動と同様の活動が、長時間にわたって続く場合を認めたので咀嚼様運動と定義した。さらに、6 時間の記録中には、図 2C、D に示すように明らかに咀嚼運動と異なる筋活動が認められたので、これを咀嚼様運動以外の運動と定義した。

連続記録した 6 時間のうち、咀嚼様運動が行われた時間を装置装着の前後で比較すると、装置撤去後の 1 日目に延長を認めた（$p<0.01$）（図 5A）。咀嚼様運動時の咬筋における積分活動量も、装置撤去後の 1 日目で増大し（$p<0.01$）、装置撤去後の 3 日目についてもなお増大（$p<0.05$）を認めた（図 5B）。また、積分活動量が装置装着前の状態と有意の差がない状態になるまでに約 5 日間を要

した。

次に１咀嚼サイクルにおける咀嚼筋の活動を調べた（図 6)。咬筋については、咬合挙上装置撤去後の１日目（$p<0.01$）および３日目（$p<0.05$）で、１バーストあたりの積分活動量が有意に増大した（図 6A)。顎二腹筋活動についても、咬筋の場合と同様に、１日目および３日目（$p<0.05$）で有意な増大を示した（図 6C）が、１日目と３日目との間に差は認められなかった。次に、１バーストの放電持続時間について、咬筋では装置撤去後の１日目（$p<0.05$)、顎二腹筋では装置撤去後の１日目（$p<0.05$）および３日目（$p<0.01$）に、それぞれ有意な延長を認めた（図 6B、D)。TCL は装置撤去後の１日目に短縮（$p<0.01$）し、その後元の状態に戻り、装置装着前の状態と有意の差は認められなかった（図 7A)。また、咬筋と顎二腹筋の放電タイミングを示すインターバル A および B は、ともに装置撤去後の１日目に有意に短縮し（$p<0.01$)、その後元の状態に戻り、装置装着前の状態と有意の差は認められなかった（図 7B、C)。

考察

1. 実験方法について

１）咬合挙上装置および咬合挙上期間について

咬合挙上量については、摂食障害による著しい体重変化を生じない最大の咬合挙上量として、臼歯部で約 3.0mm を採用した。本実験で用いた咬合挙上装置は、Paik ら[11] の方法を参考に製作した。ここで初期に設定した咬合挙上量を維持するために、上顎切歯の切端部における咬耗と装置の摩耗をできるだけ少なく、かつ装置の作製が比較的容易であるように、ステンレス製金属板を使用した。モルモットの下顎切歯は、1 日あたり約 0.3mm 萌出する[19] にもかかわらず、装置撤去時には、装置装着開始時と比べると、わずかではあるが咬合高径が低下していた。このことは、モルモットの歯の強度は金属板より劣るため、上顎切歯部が歯の萌出量を上回って咬耗したためと考えられる。

咬合挙上装置の大きさについては特に記述した報告はない。そのため、本実験では、切歯部での顎運動による移動範囲以上の広さに装置の咬合面を設定する必要があり、予備実験では 3×3mm、4×4mm、6×6mm の咬合面を用意した。しかし、摂食動作に大きな影響を及ぼさず装置を避けて咬合することのない大きさとしては、これら 3 種類の大きさのうち、4×4mm の咬合面が最も妥当な大きさであると判断し、本実験では 4×4mm の咬合面を用いることとした。

本実験では、咬合挙上装置の装着期間を 10 日間と設定し、撤去後の咬合高径の変化を検討した。装置撤去時には、いずれの動物においても挙上された咬合位で臼歯部が咬合していることを確認した。装置装着の期間としては、新たな

咬合関係に馴化するための期間をできるだけ長く設定することが望ましい。しかし、対照群における成長量による咬合高径の増大が、10 日間で約 1mm であったため、馴化の期間が長いと、3mm の咬合挙上量と成長量による咬合高径の増大量との差が小さくなる。したがって馴化の期間を約 5 日と設定し、装置の装着期間を 10 日間とした。

2）測定精度について

側面位頭部 X 線規格写真の分析における測定精度については、ヒトを用いた臨床報告で数多く論じられている [20~23]。これらによると、誤差が生じるのは、撮影時に被写体を、規格化された位置に設定する際に生じる設定誤差と、測定点を計測する際に生じる測定点の同定誤差の 2 種類が考えられる。また、モルモットを被写体としているため、写真そのものがヒトの側面位頭部 X 線規格写真と比較して小さく、読影の際に誤差が生じやすくなる可能性があると考えられる。したがって、コンピュータにレントゲン写真を画像として取り込み、24 倍に拡大した状態で各測定点を同定した。以上の結果、本実験で確認された測定誤差は十分に小さく、本実験で得られた測定値は信頼できるものといえる。

2. 実験結果について

1）咬合挙上後の経時的変化について

McNamara[5] や Carlson ら[6] は、成長期のサルを用いて、臼歯部に咬合挙上装置を年単位で装着したままにすると、筋長、筋肉の付着部位および筋組成に変化が認められたと報告している。このことは、装置により規定された高い咬合状態に適応するように筋組織が変化することを示している。さらに、Ohnuki ら[10~12] は、モルモットおよびラットを用いて、短期間（約 7 日）の咬合挙上により筋線維の組成に変化が生じ始めることを報告している。また、Rowe ら[8] はサルを用いて咬合挙上により、下顎骨の形態がどのように変化するかを調べた結果、下顎角は臼歯部への装置装着により開大したが、装置の撤去後約 6 ヶ月で、その開大した下顎角が小さくなる傾向を示したと報告している。この理由として、臼歯部に介在していた装置の撤去に伴い、咬合高径が挙上前の状態に戻り、筋肉の付着部位や筋長が変化し、したがって下顎角が小さくなったのではないかと考えられる。以上のことより、歯または装置により規定される咬合高径の安定と維持には、筋長や筋組成と顎顔面の骨格的要素が、適切な状態にあることが重要と考えられる。一方、成熟したサルに咬合挙上装置を装着し、長期間観察すると、装置の装着中に咬合高径の減少が認められている[7]。このことは、成熟期では、与えられた咬合高径に対して、筋骨格の適応が十分に得られなかったため、筋骨格に適した咬合高径を設定しようと、歯の移動等で代償するような機構が働いたためと考えられている。

本実験において、モルモットの前歯部に咬合挙上装置を装着して、臼歯部で対咬させず、歯に負荷がかからない状態にすると、臼歯部が約5日間で約3mm萌出した。正常動物でも、臼歯は同様の萌出力を有していると考えられるが、正常動物では常にほぼ一定の咬合高径を有していた。したがって、歯の萌出力が旺盛なモルモットでは、萌出能力に匹敵する積極的な歯のすり減らしをすることにより、筋組織や頭蓋骨の大きさに適した咬合高径を維持していると予測できる。本実験のように、10日間という短期間の装置装着により獲得された高い咬合高径は、筋線維の生理長や頭蓋骨の大きさに十分に適したものではないと考えられる。したがって装置撤去後、急速に咬合高径を低下させ、成長に応じた咬合高径を復元したことは、筋組織や骨格に適した咬合高径に再設定されたためと推察できる。また、筋組織や骨格などは成長に応じて変化するため、咬合高径は、装置撤去後、挙上前の咬合高径に戻らず、成長に応じた咬合高径の付近で減少が止まったと考えられる。つまり、週齢に応じた個体固有の咬合高径が存在することが示唆される。

2）咬合挙上後の咀嚼筋筋電図活動について

（1）行動変化

本実験では、咬合挙上前後において長時間にわたり自由に行動させ、そのときの咀嚼筋の活動状態に、どのような変化が起こったかを調べた。咬合高径を

高めた状態における咀嚼筋活動は、ラット[25]、ウサギ[26]、ヒト[3,27,28]、サル[5]で報告されているが、これらの実験では、長時間にわたる行動は解析されていない。本実験では、咬合挙上装置の除去後 1 日目に、咀嚼様運動を行なっている時間が有意に延長していた。このような咀嚼時間の延長については、歯根膜感覚を遮断したウサギで報告されているが、この場合には咬筋活動が減少していた[25]。本実験における咀嚼様時間の延長も、咬合高径の増大が咬筋活動の低下を引き起こした結果による可能性が考えられるが、咀嚼様時間が延長している期間中の咬筋総活動量は逆に著しく増大しており、咬筋活動の低下によるものではないといえる。挙上装置の除去後、咬合高径を急激に低下させて個体固有の咬合高径に再設定していることを考えると、咀嚼様運動を長時間行なうことが咬合高径の低下に大きく関与している可能性が高い。しかし、このような行動学的な変化を引き起こす神経機構については、現在のところ不明である。

(2) 咀嚼運動中の咀嚼筋活動の特性

咬合高径増大後における咀嚼運動時の筋活動については、ラット[25]、ウサギ[26]、ヒト[27,28]を用いて、いずれも咬合挙上装置を口腔内に装着した状態で記録されている。ラットでは挙上後、7 日目までは筋活動にばらつきが認められるが、7 日目以降では、咬筋活動が減少している[25]。ウサギにおいても咬合挙上後、咬筋活動の減少が認められている[26]。ヒトでは挙上量を 2mmから 8mm

まで増大すると、挙上量が大きいほど、咬筋活動は減少したと報告されている[27)]。これらの結果は、筋線維が生理長を超えない範囲の咬合挙上であるため、生理長を超えない範囲では、同じ咬合力を発揮するときに筋活動量が減少するというMannの実験結果[28)]と一致している。本実験結果も、今回の挙上量が生理長を超えるとすると、Mannの実験[28)]の生理長を超える範囲では同じ咬合力を発揮するときに、筋活動量が増大するという結果に一致する。しかし、咬合高径が経時的に減少しているときも、咬筋活動の増大が認められることから、筋長の変化のみが咀嚼中の筋活動を変化させたとは考えがたい。咬筋活動が増大した他の理由としては、咬合高径を再設定するために歯をすり減らすような運動が形成されている可能性がある。急性実験において大脳皮質誘発性の顎運動中に上下臼歯間に試料を挿入すると、咬筋の活動が増大することが知られている[29~31)]。この増大効果には、試料を噛んだときの感覚入力によるフィードバック制御が関与しており、感覚入力としては、歯根膜感覚および咀嚼筋筋感覚が重要であると示唆されている。本実験における咬筋活動への増大効果も、咬合高径の増大にともなって、歯根膜感覚や筋感覚からの情報が変化した結果と考えられる。行動様式の変化を合わせて考えると、歯のすり減らしを積極的に行なおうとする上位中枢からの制御に、口腔感覚入力の変化が加わり、本実験における咬筋活動の増大が認められたのであろう。

顎二腹筋活動は、咬合高径の増大により上昇した。ラット[25]、ウサギ[26]、ヒト[27]においても、咬合挙上後に顎二腹筋活動は上昇しており、本結果と一致する。Nakamura ら[27]は、咬合挙上後も咀嚼中の開口量を一定にするために、最大開口時の下顎位を大きくとることを顎運動記録から見出しており、このことが顎二腹筋活動の増大に関係すると考察している。本実験では顎運動を記録していないが、咀嚼中の最大開口時の下顎位を、より開口方向に大きく移動する必要があるために、顎二腹筋活動が増大した可能性が考えられる。ただし、挙上装置の除去後、1 日目と 3 日目では咬合高径に急激な変化が認められるにもかかわらず、顎二腹筋活動に大きな差は認められない。このことは、挙上装置の除去後、1日目では十分な開口量を取ることができず、1 日目と 3 日目ともに個体固有の最大開口位（限界運動としての最大開口位）に相当する位置まで開口している可能性が考えられる。したがって、本来必要とする開口量を確保できないことに起因する咀嚼経路の短縮は、ヒトで咬合挙上を行なっても変化しないと報告されている TCL[27]が 1 日目に有意に短縮していることからも示唆されている。咬合高径の増大による咀嚼運動時のインターバルの短縮は、咬筋あるいは顎二腹筋活動の放電持続時間が延長した際、TCL を一定にするために引き起こされているのであろう。なお、挙上装置の除去後 1 日目に関しては、インターバルが短縮していることが TCL の短縮にも関係していると考えられる。

結論

モルモットにおいて、人為的に咬合高径を高めた後、咬合挙上装置を撤去すると、成長に応じた適切な咬合高径を維持するために、咬合高径を低下させることが明らかになった。筋電図記録の変化を調べると、咬合挙上により咀嚼様運動時間の延長および咬筋総活動量の増大が認められた。また、咀嚼様運動の活動状態を調べると、咬合高径が減少している期間中、咬筋および顎二腹筋の1バーストあたりの放電持続時間が延長し、積分筋活動量も増大していた。以上のことから、各個体に固有の適切な咬合高径が存在すること、また、咬合を挙上しても咬合高径の変化が安定した状態になるまで、咀嚼様運動により歯をすり減らすことが示唆された。

謝辞

稿を終えるにあたり、本研究を行う機会を与えて頂き、また終始ご懇意なるご指導とご校閲を賜った大阪大学歯学部歯科矯正学講座　高田健治教授、大阪大学歯学部口腔生理学講座　森本俊文教授に深甚なる謝意を表します。また、研究を進めるにあたり終始変わらぬご指導とご教示を頂いた大阪大学歯学部口腔生理学講座　増田裕次助手および大阪大学歯学部歯科矯正学講座　日高　修講師に心から感謝の意を表します。

最後に研究に際し終始ご配慮とご協力をいただいた大阪大学歯学部口腔生理学講座および大阪大学歯学部歯科矯正学講座教室員の皆様に厚く御礼申し上げます。

文献

1) Christensen, J. (1970) : Effect of occlusion-raising procedures on the chewing system. *Dent. Prastit.*, **20**, 233-238.

2) Monson, G.S. (1921) : Impaired function as a result of closed bite. *JNDA*, 8, 833-839.

3) Manns, A., Miralles, R. and Guerrero, F. (1981) : The changes in electrical activity of the postural muscles of the mandible upon varying the vertical dimension. *J. Prosthet. Dent.*, **45**, 438-445.

4) Rivera Morales, W.C. and Mohl, N.D. (1991) : Relationship of occlusal vertical dimension to the health of the masticatory system. *J. Prosthet. Dent.*, **65**, 547-553.

5) McNamara, J.A. (1973) : Neuromuscular and skeletal adaptations to altered function in the orofacial region. *Am. J. Orthod.*, **64**, 578-606.

6) Carlson, D.S. and Schneiderman, E.D. (1983) : Cephalometric analysis of adaptation after lengthening of the masseter muscle in adult rhesus monkeys. *Arch. oral Biol.*, **28**, 627-637.

7) Ramfjord, S.P. and Blankenship, J.R. (1981) : Increased occlusal vertical dimension in adult monkeys. *J. Prothet. Dent.*, **45**, 74-83.

8) Rowe, T.K. and Carlson, D.S. (1990) : The effect of bite-opening appliance on mandibular rotational growth and remodeling in the rhesus monkey (Macaca mulatta). *Am. J. Orthod. Dentfac. Orthop.*, **98**, 544-549.

9) Akagawa, Y., Nikai, H. and Tsuru, H. (1983) : Changes in the pattern of SDH and PhR staining in fibres of rat masseter muscle following long-term functional stretch. *Arch. Oral Biol.*, **28**, 447-451.

10) Paik, C.H., Satomi, M., Saeki, Y., Yanagisawa, K. and Kuwahara, Y. (1993): Increase in vertical dimension alters mechanical properties and isometric ATPase activity in guinea pig masseter. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.*,

104, 484-491.

11) Kawasaki, K., Saeki, Y. and Ohnuki, Y. (1997) : Effect of an increase in occlusal vertical dimension on the rate of cyclic actin-myosin interaction in guinea-pig masseter muscle. *Arch. Oral Biol.* **42**, 505-512.

12) Ohnuki, Y., Saeki, Y., Yamane, A., Kawasaki, K. and Yanagisawa, K. (1999) : Adaptation of guinea-pig superficial masseter muscle to an increase in occlusal vertical dimension. *Arch. Oral. Biol.,* **44**, 329-335.

13) Holmstedt, J.O., McClugage, S.G.Jr., Clark, J.S. and Guevara, M.J. (1977) : Osteodentin formation in continuously erupting teeth of guinea pigs. *J. Dent. Res.*, **56**, 1569-1576.

14) Bernick, S. (1966) : Vascular and nerve supply to the molar teeth of guinea pigs. *J. Dent. Res.*, **45**, 249-260.

15) Hanada, K. (1967) : A study on growth and development of the dentofacial

complex of the living rat by means of longitudinal roentgenographic cephalometrics. *J. Jpn. Stomatol. Soc. (in Japanease)* , **34**, 18-74.

16) Engtrome, C., Jennings, J., Lundy, M. and Baylink, D.J. (1988) : Effect of bone matrix-derived growth factors on skull and tibia in the growing rat. J. Oral Pathol., **17**,334-340.

17) Dalhberg, G. (1940) : Statistical methods for medical and biological students. New York, Interscience.

18) Byde, K.E. (1981) : Mandibular movement and muscle activity during mastication in the Guiner Pig (Cavia porcellus). *J. Morphology*, **170**, 147-169.

19) Berkovitz, B.K. (1974) : The effect of vitamin C deficient diet on eruption rates for the guinea-pig lower incisor. *Arch. Oral Biol.*, **19**, 807-811.

20) Athanasious, E.A. (1995) : Orthodontic Cephalometry. Mosby, 125-140.

21) Cohen, A.M. (1984) : Uncertainty in cephalometrics. *Br. J. Orthod.*, **11**, 44-

48.

22) Broch, J., Slagsvold, O. and Rosler, M. (1981) : Error in landmark identification in lateral radiographic headplates. *Eur. J. Orthod.*, **3**, 9-13.

23) Stabrun, A.E. and Danielsen, K. (1982) : Precision in cephalometric landmark identification. *Eur. J. Orthod.*, **4**, 185-196.

24) Inoue, T., Kato, T., Masuda, Y., Nakamura, T., Kawamura, Y. and Morimoto, T. (1989) : Modifications of masticatory behavior after trigeminal deafferentation in the rabbit. *Exp. Brain Res.*, **74**, 579-591.

25) Yaffe, A., Tal, M. and Ehrlich, J. (1991) : Effect of occlusal bite-raising splint on electromyogram, motor unit histochemistry and myoneuronal dimensions in rats. *J. Oral Rehabil.*, **18**, 343-351.

26) Matsuka, Y., Kitada, Y., Mitoh, Y., Adachi, A. and Yamashita, A. (1998) : Effects of a bite-raising splint on the duration of the chewing cycle and the

EMG activities of masticatory muscles during chewing in freely moving rabbits. *J. Oral Rehabil.*, **25**, 159-165.

27) Nakamura, T., Inoue, T., Ishigaki, S., Morimoto, T. and Maruyama, T. (1989) : Differences in mandibular movements and muscle activities between natural and guided chewing cycles. *Int. J. Prosthodont.*, **2**, 249-253.

28) 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.

29) Morimoto, T., Inoue, T., Masuda, Y. and Nagashima, T. (1989) : Sensory components facilitating jaw-closing muscle activities in the rabbit. *Exp. Brain Res.*, **76**, 424-440.

30) Hidaka, O., Morimoto, T., Masuda, Y., Kato, T., Matsuo, R., Inoue, T., Kobayashi, M. and Takada, K. (1997) : Regulation of masticatory force during cortically induced rhythmic jaw movements in the anesthetized rabbit. *J.*

Neurophysiol. , **77**, 3168-3179.

31) Lavigne, G., Kim, J.S., Valiquette, C. and Lund, J.P. (1987) : Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication. *J. Neurophysiol.,* **58**, 342-358.

図の説明（figure legends）

図１：側面位頭部Ｘ線規格写真と計測点

咬合挙上装置（矢印）装着時（A）の側面位頭部Ｘ線規格写真では、上下臼歯間に離開を認める。咬合挙上装置撤去時（B）では、臼歯部は対咬関係を有し、高い咬合高径が獲得されている。計測点および計測距離（C）の模式図を示す。各測定点については表１参照。

図２：自由行動下での筋電図記録

A：整流および平滑化された１時間分の記録波形。

B：咀嚼様運動時における筋電図。

C：咬筋優位の運動時における筋電図。

D：顎二腹筋優位の運動時における筋電図。

B、C、D はＡで□で囲んだ区間の波形を速い掃引で示す。Mass：咬筋、Dig：顎二腹筋。

図３：咀嚼運動時における筋電図

TCL：total cycle length、A：interval A、B：interval B、Mass：咬筋、Dig：顎二腹筋。

図４：側面位頭部Ｘ線規格写真から計測した各変化量

咬合高径の変化量（A）、臼歯部の歯冠長の変化量（B）、および前後的な頭蓋長の変化量（C）。

縦軸は、咬合挙上装置を装着する直前を 100%として各変化量を示す。横軸は、咬合挙上装置の撤去時を０日として日数を示す。

検定は、各測定日において対照群との比較を表わす。実験群５匹（実線）および対照群 5 匹（破線）について、各値は平均値±標準偏差を示す。

＊＊：$p<0.01$ にて有意差があることを示す。

図５：咀嚼様運動時間および咬筋総活動量の変化

A：咀嚼様運動およびその他の運動の総活動時間。6 時間を 100%として各運動時間の割合を示す。横軸には装置撤去時を０日とした場合の経過日数を示す。

B：各運動に対する咬筋総活動量。測定開始日（-11 日目）の活動量を 100%として示す。実線：咀嚼様運動、破線：その他の運動。

装置装着の直前（-10 日）を対照値として検定を行なった。＊：p<0.05、＊＊：p<0.01 にて有意差があることを示す。各値は 5 匹のモルモットにおける平均値±標準偏差を示す。

図 6：咬筋、顎二腹筋における筋活動量および活動持続時間
咬筋の活動量（A）および顎二腹筋の活動量（C）は記録開始日（-11 日目）を 100%として示す。（B）および（D）は咬筋および顎二腹筋の活動持続時間を示す。装置装着の直前（-10 日）を対照値として検定を行なった。＊：p<0.05、＊＊：p<0.01 にて有意差があることを示す。各値は 5 匹のモルモットにおける平均値±標準偏差を示す。

図 7：TCL（A）、interval A（B）および interval B（C）
横軸は装置撤去日を 0 日として示す。装置装着の直前（-10 日）を対照値として検定を行なった。＊＊：p<0.01 にて有意差があることを示す、各値は 5 匹のモルモットにおける平均値±標準偏差を示す。

表 1：各測定点と線分の説明

表 2：各測定点については表 1 参照、SDx・SDy は、それぞれ X 軸方向・Y 軸方向の誤差を表わす。SD は X 軸方向・Y 軸方向を総合的に加算した誤差を表わす。

表１：　測定点と線分

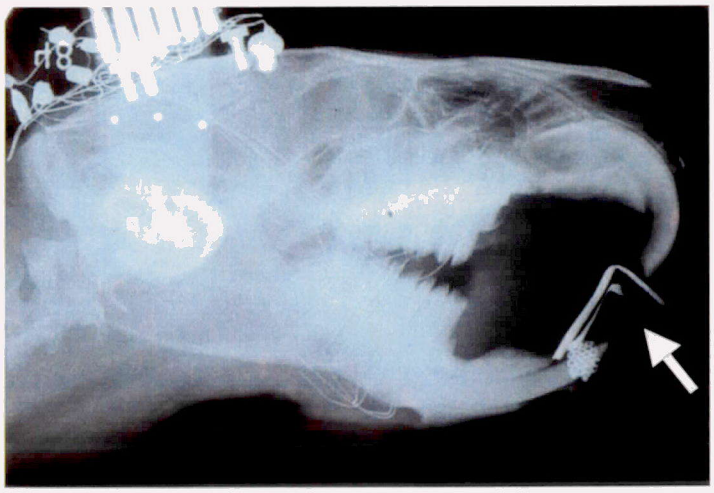
So	鼓膜と蝶形骨底の後縁との縫合部
E	前頭骨と蝶形骨の後方限界の最前上部との縫合部
A	鼻骨の最前方点
Po	頭蓋の最後方点
Pg	下顎切歯に近接した下顎の最下点
Gn	下顎下縁の前縁
U1	上顎第１大臼歯最前方点
Mu	上顎歯槽部と上顎第１大臼歯の近心表面との交点
Ml	下顎歯槽部と下顎第１大臼歯の近心表面との交点
V	U1からE-A線分へ垂線を下した交点
T	VからU1を通る垂線とPg-Gn線分との交点
V-T	咬合高径
A-Po	頭蓋の前後径
Mu-Ml	歯冠長

表２：　測定点の同定時誤差

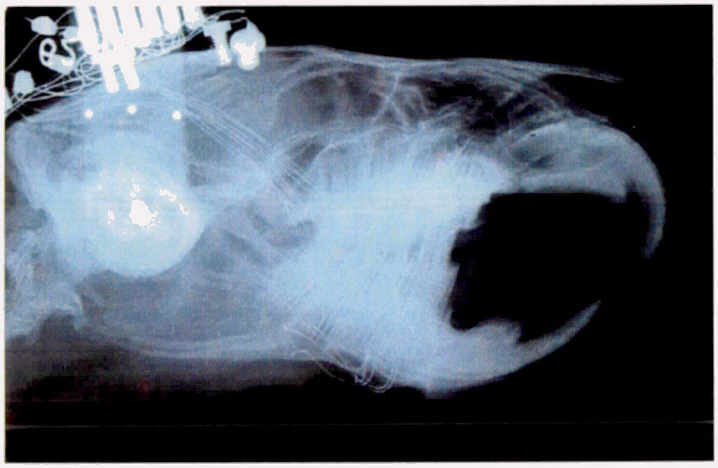
	SDx	SDy	SD (mm)
So	0.06	0.01	0.12
A	0.11	0.07	0.13
Po	0.06	0.06	0.09
E	0.06	0.07	0.09
Pg	0.11	0.07	0.13
Gn	0.09	0.04	0.08
U1	0.07	0.08	0.11
Mu	0.04	0.04	0.06
Ml	0.05	0.08	0.09

N = 160

A



B



C

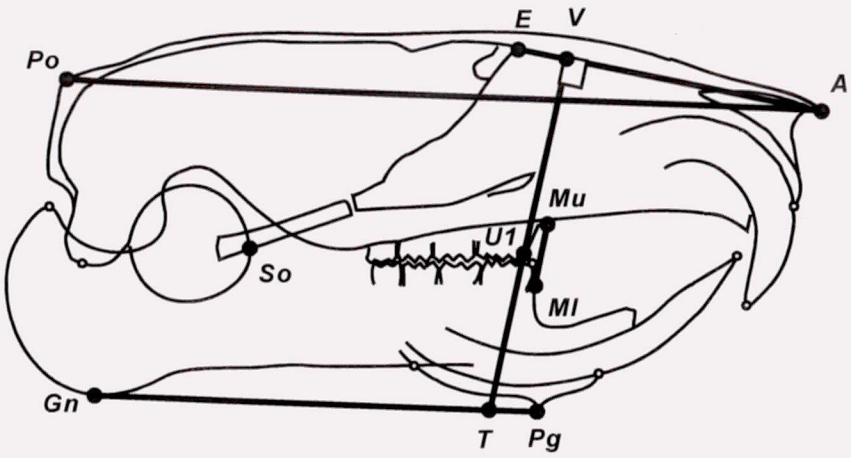


図 1

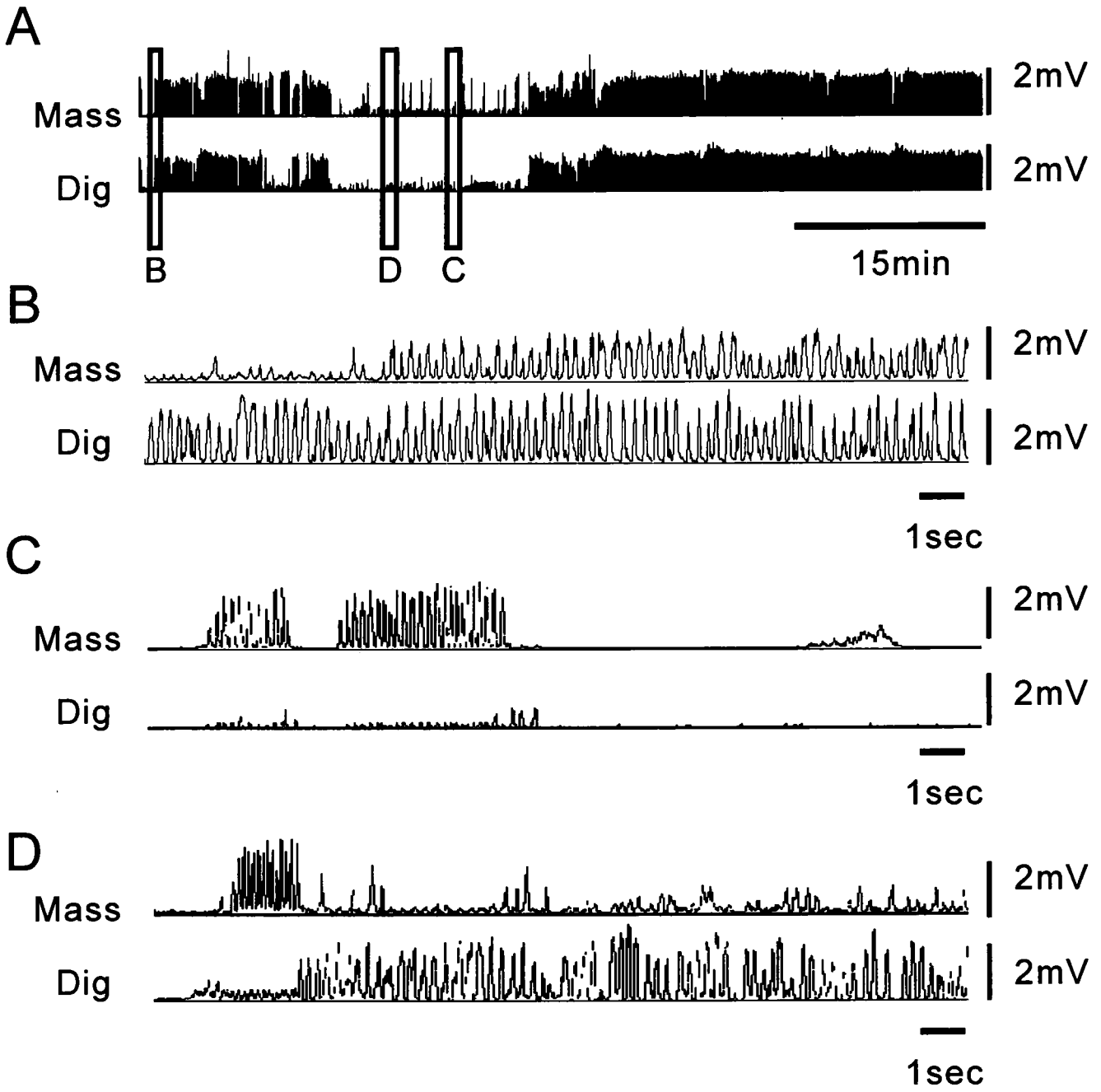

A
Mass
Dig
2mV
2mV
B
D
C
15min
B
Mass
Dig
2mV
2mV
1sec
C
Mass
Dig
2mV
2mV
1sec
D
Mass
Dig
2mV
2mV
1sec

図 2

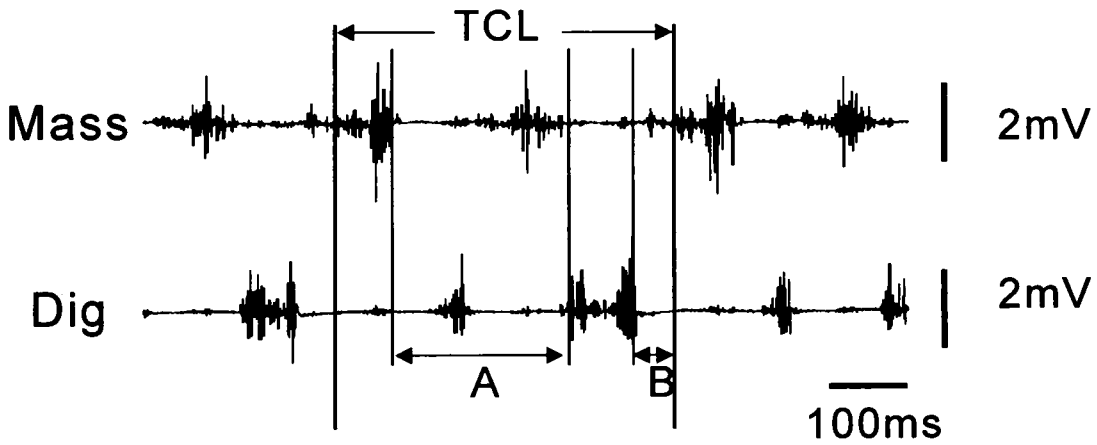


図 3

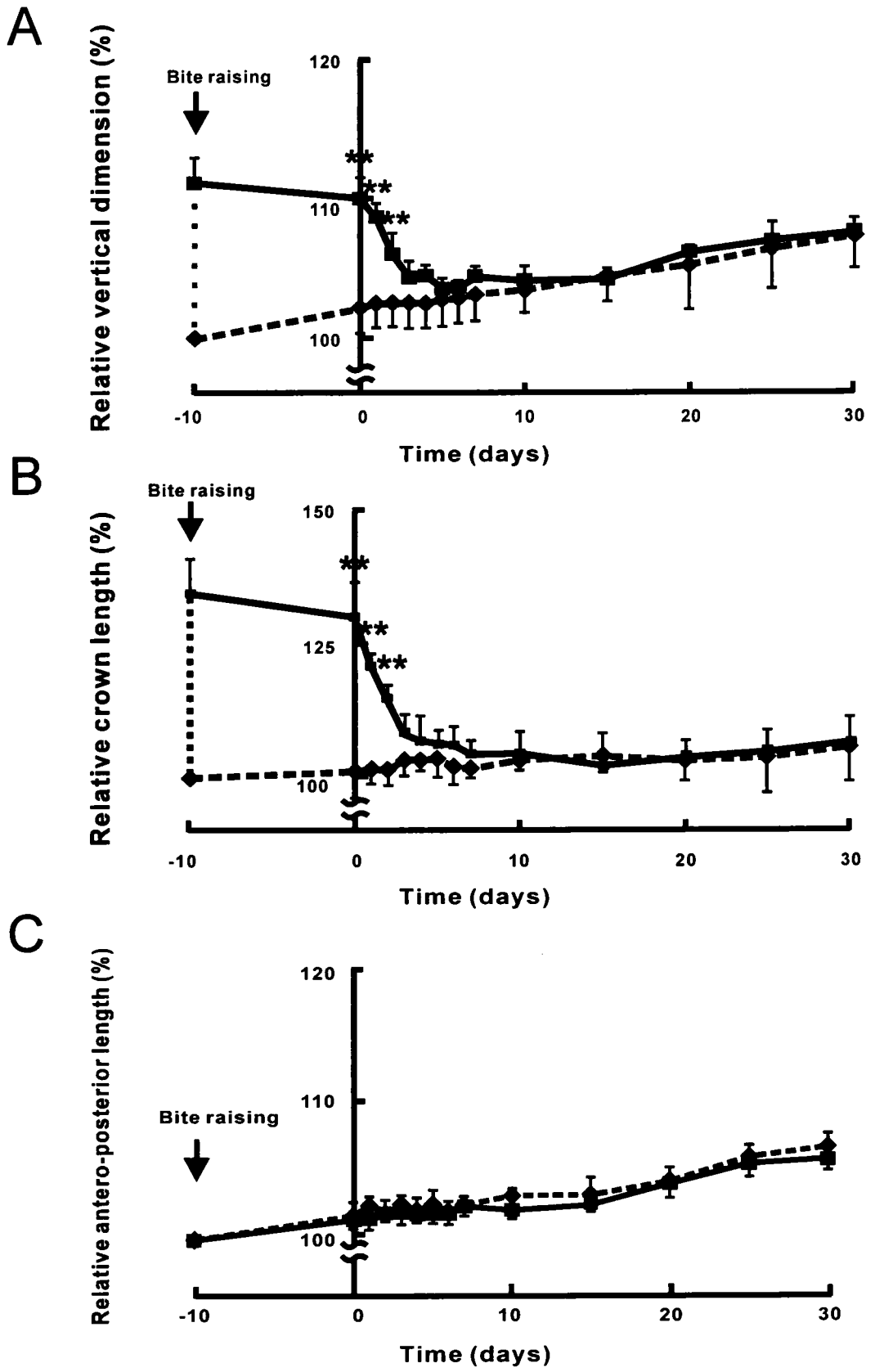

A
Relative vertical dimension (%)
Bite raising
120
110
100
**
**
**
-10
0
10
20
30
Time (days)
B
Relative crown length (%)
Bite raising
150
125
100
**
**
**
-10
0
10
20
30
Time (days)
C
Relative antero-posterior length (%)
Bite raising
120
110
100
-10
0
10
20
30
Time (days)

図 4

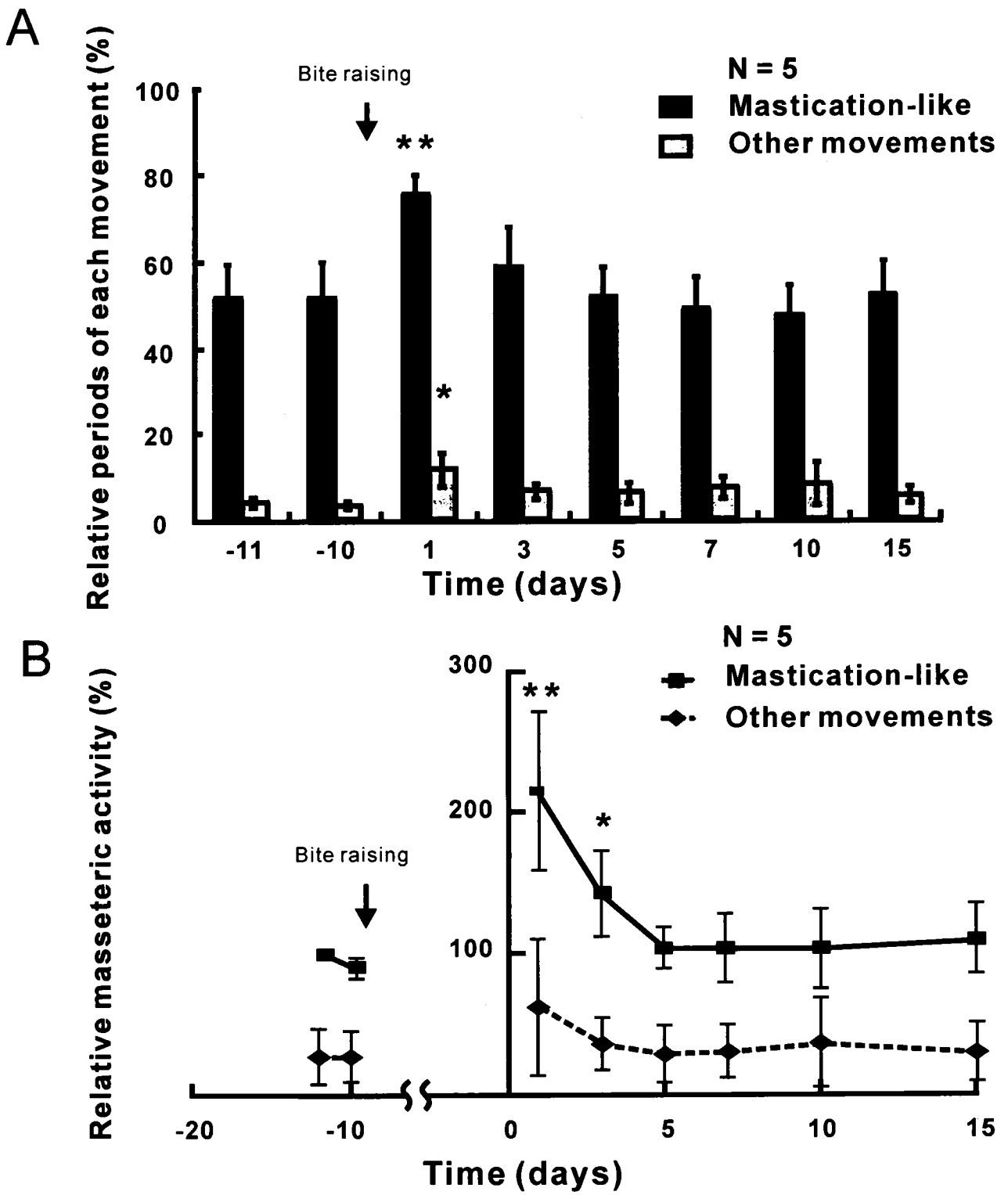

A
Relative periods of each movement (%)
Bite raising
N = 5
Mastication-like
Other movements
100
80
60
40
20
0
**
*
-11
-10
1
3
5
7
10
15
Time (days)
B
Relative masseteric activity (%)
N = 5
Mastication-like
Other movements
300
200
100
**
*
Bite raising
-20
-10
0
5
10
15
Time (days)

図 5

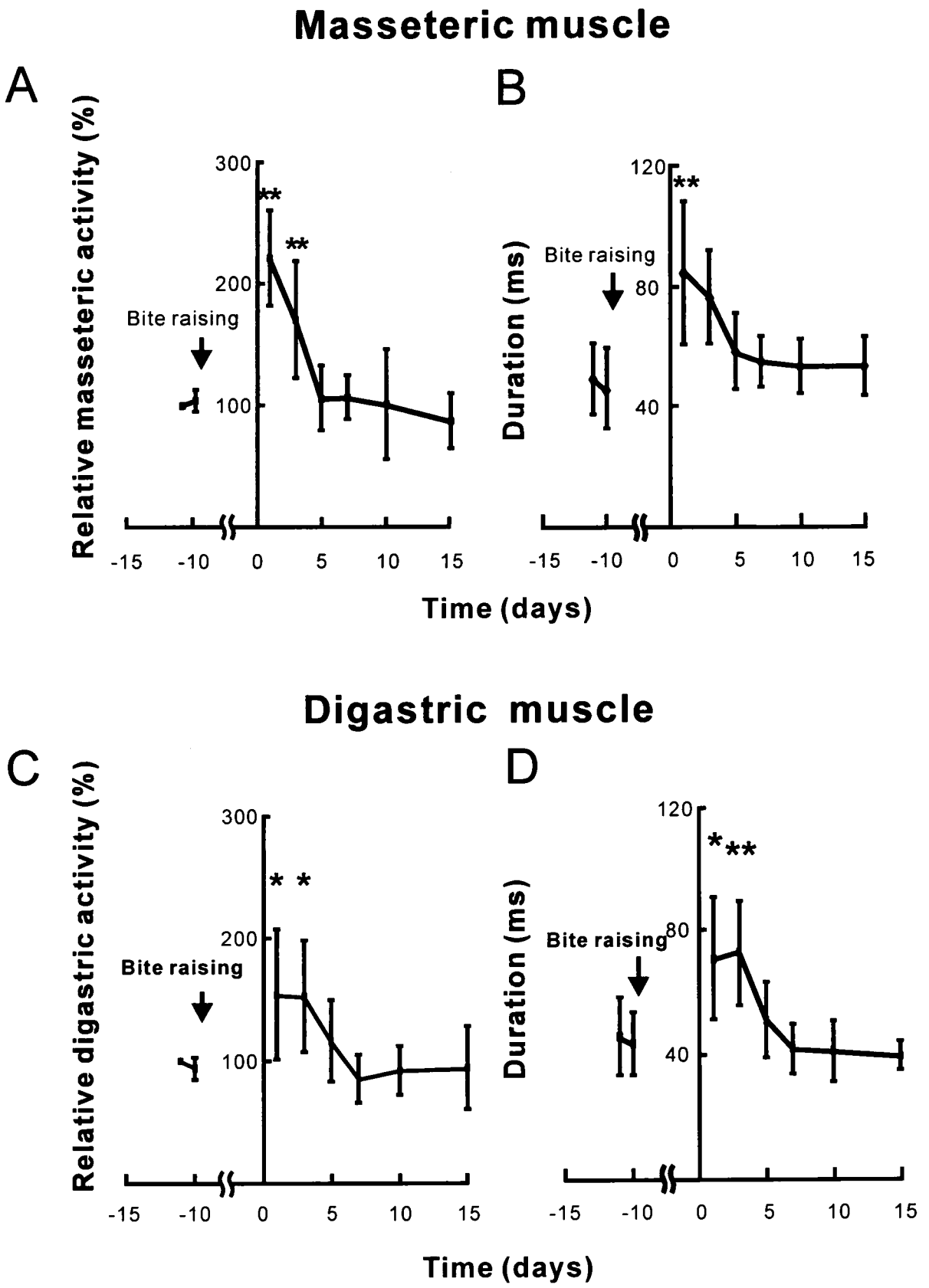

Masseteric muscle
A
B
Relative masseteric activity (%)
300
200
100
Bite raising
**
**
Duration (ms)
120
80
40
Bite raising
**
-15
-10
0
5
10
15
Time (days)
Digastric muscle
C
D
Relative digastric activity (%)
300
200
100
Bite raising
* *
Duration (ms)
120
80
40
Bite raising
*
**
-15
-10
0
5
10
15
Time (days)

図 6

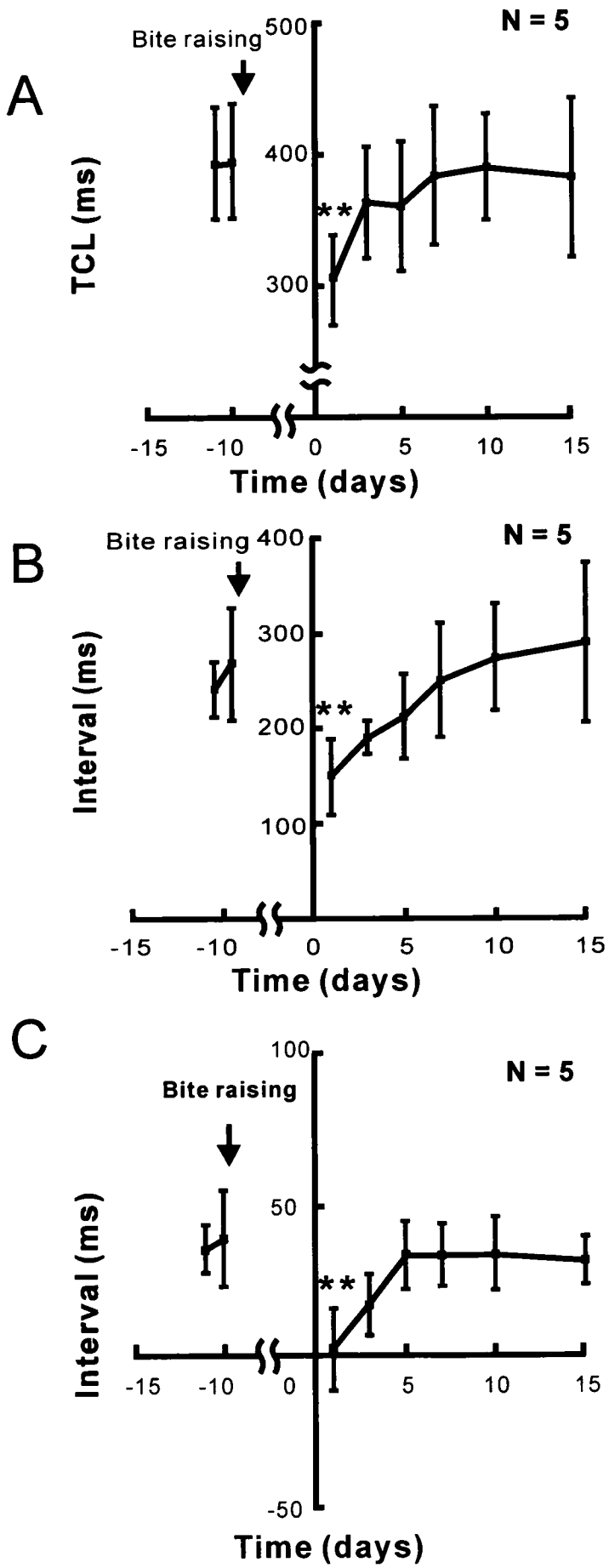

A
Bite raising
N = 5
500
400
300
TCL (ms)
**
-15
-10
0
5
10
15
Time (days)
B
Bite raising
N = 5
400
300
200
100
Interval (ms)
**
-15
-10
0
5
10
15
Time (days)
C
100
Bite raising
N = 5
50
Interval (ms)
**
-15
-10
0
5
10
15
-50
Time (days)

図 7