

マウスの咬合力測定システムの開発

奥田・赤羽 和久, 増田 義勝*, 村井 繁夫*, 染井 宏祐,
伊藤 忠信*

岩手医科大学歯学部口腔生理学講座

(主任代理: 佐藤 匡 助教授)

*岩手医科大学歯学部歯科薬理学講座

(主任: 伊藤 忠信 教授)

(受付: 1997年6月17日)

(受理: 1997年7月15日)

Abstract : Biting force may be influenced by various factors such as aging, gender, diet, mental stress, and impairment of the stomatognathic system. To address these problems, an apparatus for measuring the biting force in mice was developed. This apparatus was designed to record dynamic biting force when mice restrained in a small cylinder gnawed a transducer. This transducer consists of two parallel palatal bars (bite bar), each of which was connected to a cylindrical spring. Biting force was converted into voltage changes, amplified by a strain amplifier connected to the transducer, and recorded with a rectifier and a data-recorder. Incidence of biting and peak values of biting force curves were calculated from the data stored by the data-recorder using a wave-analysis computer.

The relation between load vs output in the transducer was highly linear ($r > 0.999$), and reproducibility of the apparatus was very high (error of repeated measurements was lower than 0.3%). Error of position over working area was very small (lower than 1.3%).

To estimate the pattern of gnawing and maximum biting force, twelve 18-weeks old ddY male mice were used. All mice gnawed the transducer more than 100 times (minimum 124 ; maximum 1414) in 20 min. Biting force curves were comprised of spike waves, and rhythmical (6.0 ± 0.4 c/s). Within 10 min from the beginning of the measurement, all mice actively bit the transducer. Mean maximum biting force was 1.20 ± 0.06 kgw. Sum of each peak of biting force curve was 158.28 ± 39.38 kgw.

These results suggest that this biting force apparatus can be a useful tool for the study of biting force in mice.

Key words : biting force, gnawing, restrained stress, transducer, method

Development of a measurement system for estimating biting force in mice.

Kazuhisa OKUDA-AKABANE, Yoshikatsu MASUDA*, Shigeo MURAI*, Kohsuke SOMEI, and Tadanobu ITOH*

(Department of Oral Physiology, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka, 020 Japan, *Department of Dental Pharmacology, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka, 020 Japan)

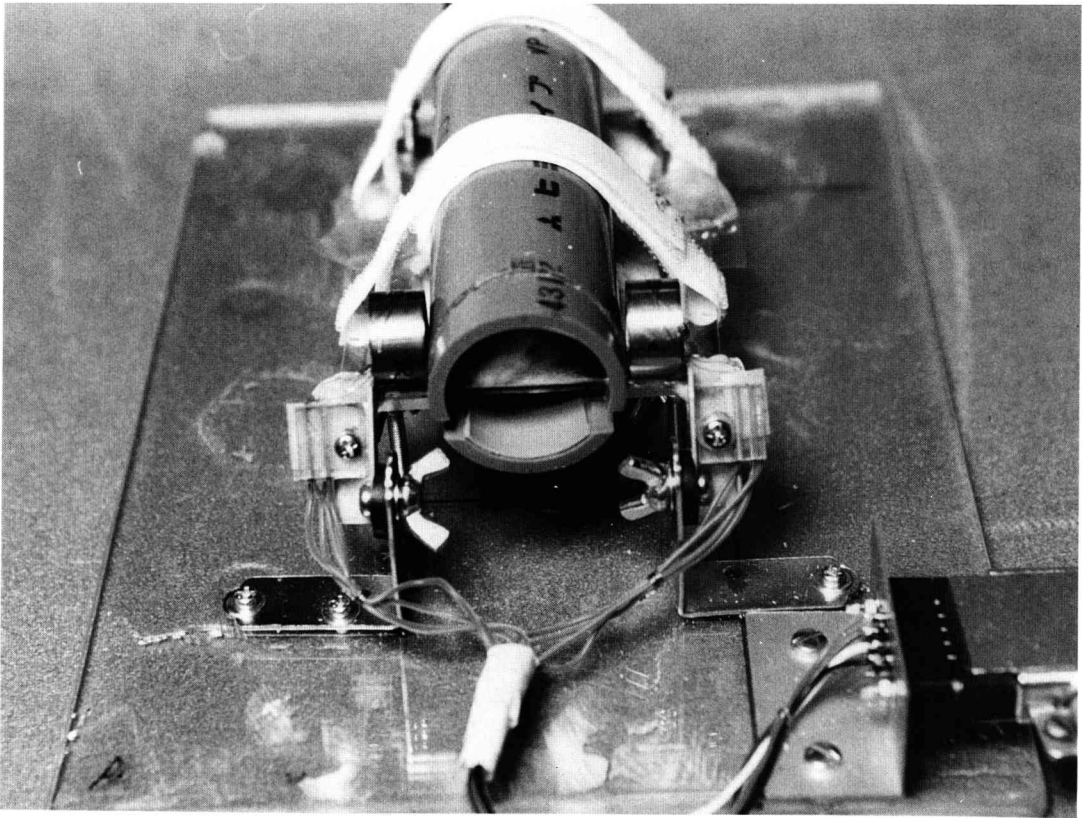


Fig.1. Mouse arrested in the pipe is gnawing the biting force transducer.

結 言

正常な咀嚼活動を行うには、円滑な咀嚼運動と食物を粉碎するのに十分な強さの咬合力が必要である。咬合力には、年齢、性差、食習慣、歯種、顎骨や咀嚼筋の発達の違い、また、歯、歯周組織、咀嚼筋、顎関節など顎口腔系の痛みや機能異常、歯の欠損や補綴物の存在、さらに心理状態など多くの要因が影響するといわれている。ヒトの咬合力を測定する試みは、古くから行われており、様々な咬合力計が作られてきている^{1,2)}。それらの咬合力計の測定原理は様々であるが、いずれもかみしめ時の上下顎の歯の間に発生する最大咬合力を測定するものである。最近では、全歯列の歯間に発生する咬合力の分布を測定できる装置も開発されている³⁾。しかし、咬合力への影響を実験的に追及する場合、ヒトでは多くの制限があるため、基

礎的な研究は、主にサルを用いて行われている⁴⁻⁶⁾。サルを用いた研究は顎の形態がヒトに近いため、咬合に関する詳細な研究に対して多くの利点がある。しかし、実験系が大がかりになることや、加齢や食物の性状（硬さや栄養）の違いが、顎の形態や咬合力に及ぼす影響などを調べる場合には、マウスやラットなどの成長の速い動物がより適していると考えられる。

ヒトやサルで用いられている咬合力測定器を使用して、マウスやラットの咬合力を測定することは以下の理由から、極めて困難であると考えた。顎のサイズが小さいために大きく開口させることができない。また、できるだけ強くかみしめるように指示することは、実際上不可能である。過去に、拘束ストレスを負荷したラットに対し、所定の力で荷重変換器をかじらせられるかどうかという弁別学習に関する研究が報告されている¹⁰⁾。そこでは、サルの研究に使用

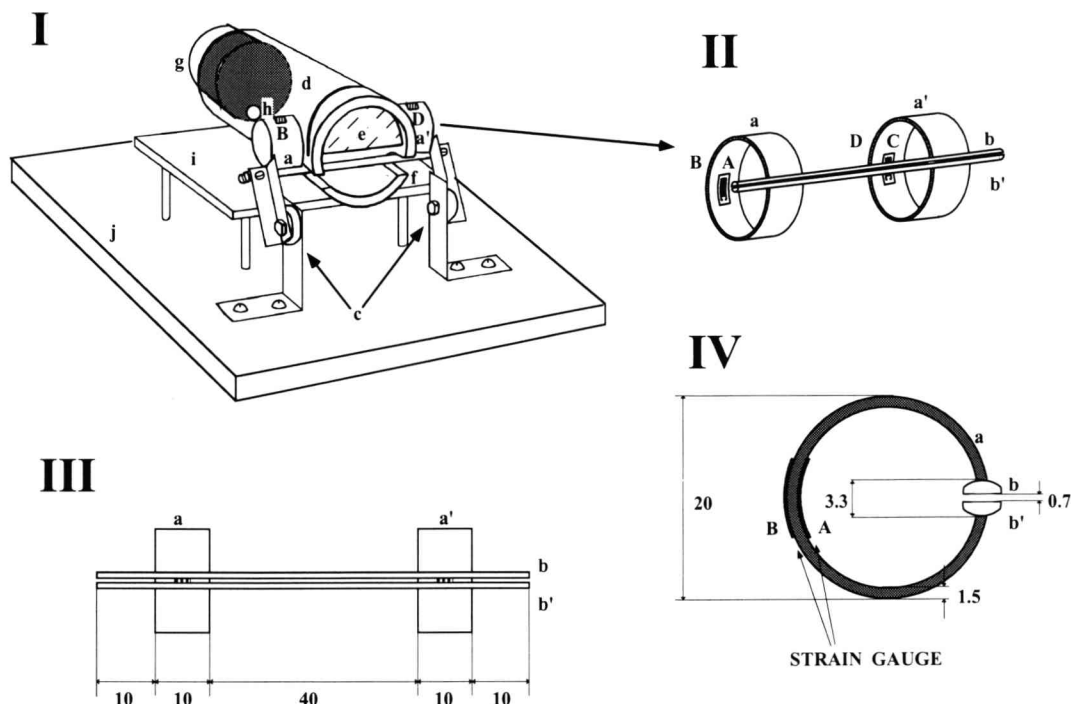


Fig. 2. Schematic view of the biting force measurement apparatus (I). Enlarged (II), frontal (III), and lateral (IV) view of the biting force transducer. Abbreviations : a, a', cylindrical spring ; b, b', bite bar ; c, stay for mounting the transducer ; d, pipe for arresting ; e, obstructive plate to prevent a mouse escape from the pipe ; f, groove ; g, stopper ; h, hole through which the tail of a mouse leave ; i, bed for supporting the pipe ; j, floor. Strain gauges (A, C) are pasted on the inner surface of each ring, and the other ones (B, D) are on the outer surface.

されているタイプと形状が類似した荷重変換器が用いられていた。しかし、それをマウスに用いるには、サイズが大きく、最大咬合力を測定できる程の負荷を加えることができる性能を有していなかった。また、学習を利用して咬合力を測定することは、実験が煩雑になり、学習方法に依存する。齧歯類であるマウスやラットは gnawing animal と呼ばれ、様々なものをかじる行動が顕著であるという特徴を有している。しかし、自発的なかじり行動を短時間の測定期間中に、引き出すための工夫が必要である。種々のストレスがマウスやラットにかじる行動を惹起させるという報告がある⁷⁻⁹⁾。そこで予備実験として、マウスを一端が針金あるいは厚紙で遮った狭いパイプの中に入れたところ、針金を盛んにかじる行動や、また、紙を破

りをとることを確認した。針金や厚紙の代わりに咬合力トランスデューサーを用いれば、拘束ストレス負荷時の咬合力を検出できると考えた。そこで、我々は gnawing behavior (かじり行動) を利用して、マウスの自発的なかじり行動中の咬合力を測定することができる装置を考案した。

本論文では、マウス用咬合力測定装置の構造、特性、そして、本測定装置を用いて実際にマウスの咬合力測定を行った結果について報告する。

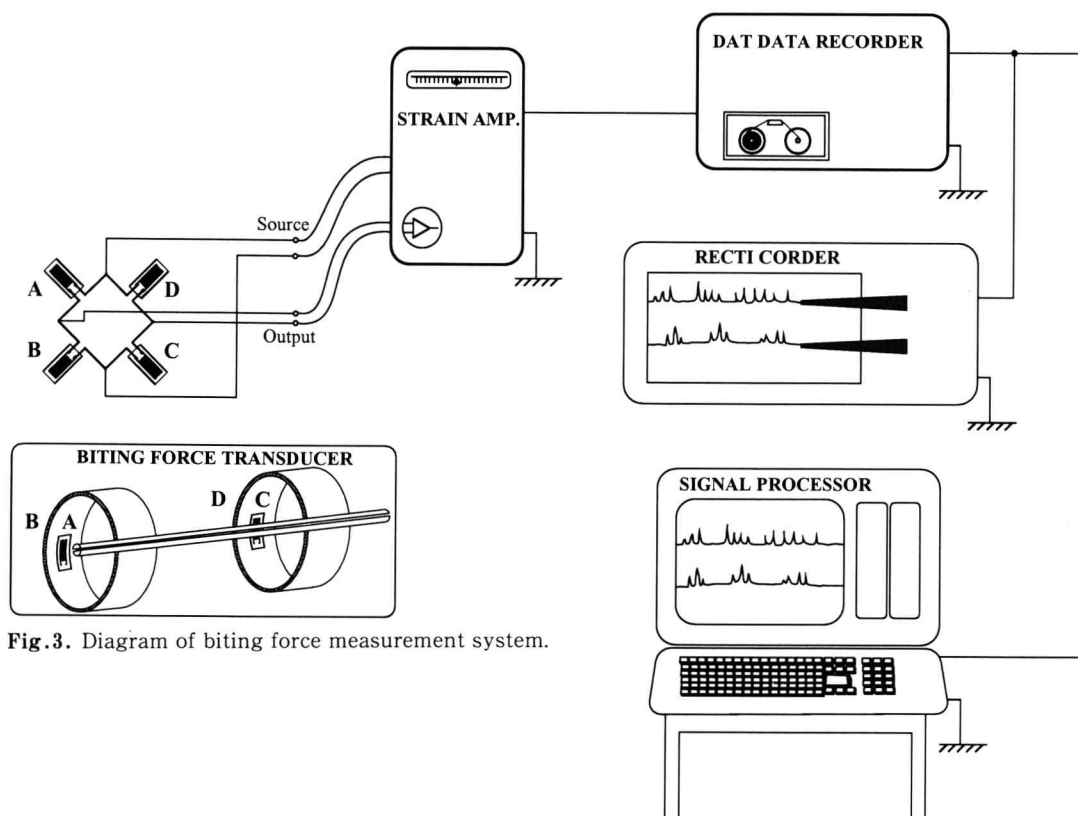


Fig.3. Diagram of biting force measurement system.

材料および方法

1. 実験動物

実験には、18週齢（体重： 44.0 ± 3.2 g）の ddY 系雄性マウス 12 匹を使用した。動物は、実験に使用する前に、岩手医科大学歯学部動物舎において、室温 22 ± 1 °C、湿度 55 ± 5 %、12 時間明期、12 時間暗期（午前 7 時に点灯）に設定された環境下で、固形飼料と水を自由に摂取させ、最低 1 週間飼育した。

2. 測定装置

今回、我々が自作したマウス用の咬合力測定装置の写真を Fig.1 に示す。拘束用パイプに入れられたマウスが、前方に置かれたバイトバー（咬合力トランスデューサーの受圧部）をかじっている様子が分かる。この装置の詳しい構成図を Fig.2 に示す。咬合力測定装置は、咬合力を電気信号に変換するための咬合力トランスデューサー（Fig.2. II, III, IV）、マウスを拘束するための塩化ビニル製のパイプ（Fig.2. I -

d）、およびそれらを支持するための支柱およびベッド（Fig.2. I - c, - i）などで構成した。

トランスデューサーは、マウスが上下顎切歯でかじる時の受圧部となる 2 本の歯科用 Co-Cr 合金パラタルバー（Fig.2. b, b'；長さ 80 mm，厚さ 1.3 mm），バネの働きをする 2 個のステンレススチール製の円筒形スプリング（Fig.2. a, a'；外径 20 mm，幅 10 mm，厚さ 1.5 mm；長軸方向に幅 3.3 mm のカットが入っている；Fig.2. IV），および各円筒形スプリングの内面と外面に貼ったストレインゲージ（KYOWA, KFG-3-120-C 1-11 N 30 C 2；Fig.2. A, B, C, D）からなっている。二本のバイトバーには、平行で、間隔が 0.7 mm となるように、バイトバーの両側に円筒形スプリングが接合してある。2 本のバイトバーを両側からはさむように垂直に力を加えると、その強さに比例してストレインゲージの抵抗が変化する。4 枚のゲージでフルブリッジを構成し、ストレインアンプ（NEC San-ei, 6 M

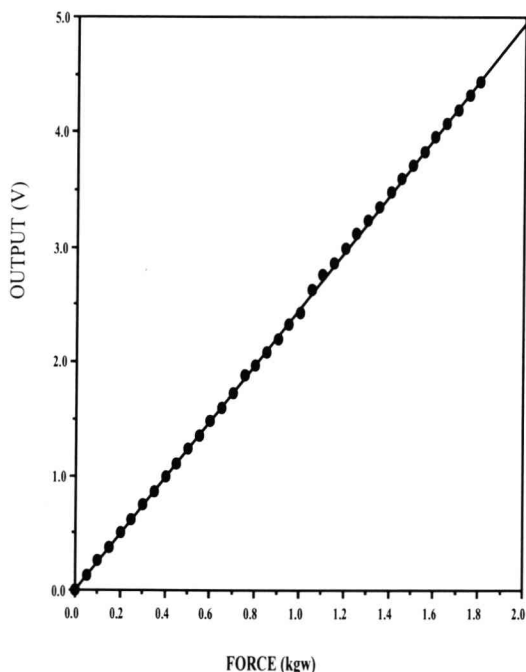


Fig.4. Relationship between load vs voltage output of the biting force transducer.

66) に接続した (Fig.3)。2本のパラタルバーをマウスがかじった時、その力はストレインアンプにより電圧値として変換増幅される。このトランスデューサーは、同じ力であればバイトバーのどの場所をかじっても同じ出力が得られるような形状になっている。また、マウスが2本のバイトバーを上顎と下顎でかじった時だけトランスデューサーが作動し、口を載せただけでは作動しないように、上側のバイトバーの両端は測定台に立てた支柱に固定した (Fig.2. I-c)。トランスデューサーはマウスの下顎切歯が上前方に突き出ていることを考慮して、水平面に対して約60度傾斜させて取り付け付けた。拘束用パイプのサイズは内径29.5 mm、長さ125 mmである。バイトバーは、拘束用パイプの前方部に彫った深さ20 mmの溝に挿入した。パイプ前方部の上側には、マウスが抜け出られないように、透明のプラスチック性のひさしを斜めに取り付けた。

ストレインアンプの出力はデータレコーダー

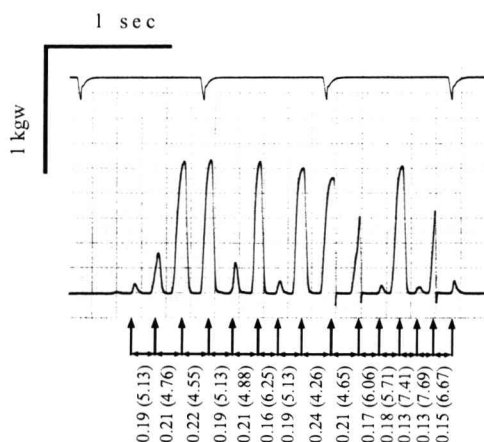


Fig.5. Part of chart recording of biting force during 20-min measurement. Figures on the lower trace show the interval (sec) of successive biting force peaks. Figures in parentheses indicate frequency (c/s) of incidence of peaks (the inverse of peak to peak interval).

(TEAC, RD-100 T) の磁気テープに記録すると同時にレクチコーダー (NIHONKODEN, RJG-4124) の記録紙にも描記した。磁気テープに記録したデータを、オフラインで信号解析専用コンピューター (NEC San-ei, Signal processor 7T18) に取り込み (sampling time: 5 msec), 波形解析を行った。波形解析用プログラムは Signal BASIC 言語で作成した。

3. 咬合力測定装置の信頼性テスト

上記の咬合力測定システムを用いて、咬合力トランスデューサーの負荷-出力関係の直線性のテストを行った。50 g の分銅 36 個と滑車を利用して、咬合力トランスデューサーのバイトバー中央部に無負荷から 1.80 kgw まで 0.05 kgw の上昇率で負荷を加えていった。負荷と出力電圧との関係をプロットし、相関係数を求めた。

トランスデューサーに繰り返し負荷を加えた時の誤差と、バイトバーに加える負荷の位置による誤差を調べるために、バイトバーの中央部とそこから左右に 10 mm 離れた位置の合計 3 部位に対して 1 kgw の負荷を各々 10 回ずつ加えた。そして各々の位置に対する平均と標準誤差

を求めた。

4. マウスの咬合力測定

今回試作した咬合力測定システムを用いて、実際にマウスの咬合力を検出できるかどうかを調べるための実験を行った。

マウスを拘束用パイプに誘導し、後方から抜け出られないように後部に栓を施した (Fig. 2. I-g)。動物をセットした後、1分以内に記録を開始した。いずれの個体も一試行のみの使用とし、20分間の連続記録を行った。実験はすべて午前10:00から12:00時の時間帯に行った。

動物が20分間に咬合力トランスデューサーをかんだ回数、咬合力の最大値、各咬合力曲線のピーク値の総和を信号解析用コンピューターにより計算した。

本研究では、20分間の測定期間内に出現した咬合力ピーク値の最大値を、最大咬合力と仮定した。すべての測定結果は平均値±標準誤差で表わした。

結 果

1. 咬合力測定装置の信頼性テスト

咬合力トランスデューサーの荷重-出力電圧の関係は、Fig. 4に示すように高い直線性が認められた ($r > 0.999$)。バイトバーの位置の異なる3点に1kgwの荷重を10回負荷して得た値は中央部が 1.000 ± 0.002 kgw、中央から左側10mmの点では 1.003 ± 0.001 kgw、右側10mmの点では 0.990 ± 0.003 kgwであった。したがって、繰り返し測定による誤差は3箇所の測定点のいずれも0.3%以下であり、位置による誤差は1.3%となる。

2. マウスの咬合力測定

マウスが20分間の咬合力測定期間中に、バイトバーをかじった時に出現した咬合力曲線の一部をFig. 5に示す。ピークの高さは様々であるが、棘状の波がほぼ周期的に出現していることが分かる (peak to peak interval (PPI) = 0.18 ± 0.01 sec; $1/\text{PPI} = 5.6 \pm 0.3$ c/s)。

マウスがどのようなパターンでバイトバーをかじるのかを見るために、同一個体の20分間

の全測定記録をFig. 6に示す。この図では咬合力曲線のピーク値のみがプロットしてある。約1kgwに達する咬合力が繰り返し出現していることが分かる。かじり行動は、通常この例のように、単発的ではなくバーストが散発性に出現した。

かじり行動の時系列パターンを、全12匹のマウスについて比較するため、30秒ごとにかじった回数、および咬合力の最大値を求めたところ、Fig. 7に示すように2種のタイプに分類された。全期間を通じて頻繁にかじり行動を示すタイプが全マウスのおおよそ67% (12匹中8匹)に認めた。別のタイプは前半10分間において活動性が高く、後半が低いタイプでおおよそ33% (12匹中4匹)に認めた。

かじり行動がどれくらいの周期性をもって出現するのかを見るために、咬合力曲線の隣接するピーク間の時間間隔を分析した。上述したように、咬合力のピークの出現には周期性があり、Fig. 8の一例のように、20分間の記録中、5-6 c/s (1/PPI)の周期を中心に、おおむね正規分布をとっていた。全12匹のマウスの平均は、 6.0 ± 0.4 c/sであった。

マウスがバイトバーをかじる時の咬合力のピーク値は大きく変動した。通常、Fig. 9の例のようにピーク値は幅広いスペクトルを示していた。

Table 1に、咬合力の測定に使用した全12匹のマウスについて、20分間に出現したかじり回数、最大咬合力、咬合力曲線のピーク値の総和を示す。いずれのマウスにおいても、バイトバーを多数回かじった (636 ± 114 回)が、個体差がかなりあった (最低124回, 最高1414回)。最大咬合力について見ると、 1.20 ± 0.06 kgwであり、大きな個体差は認められなかった。咬合力のピーク値の総和は全12匹のマウスにおいて、 158.28 ± 39.38 kgwであり、やや大きな個体差が認められた。

考 察

本研究の結果から、今回我々が試作した咬合

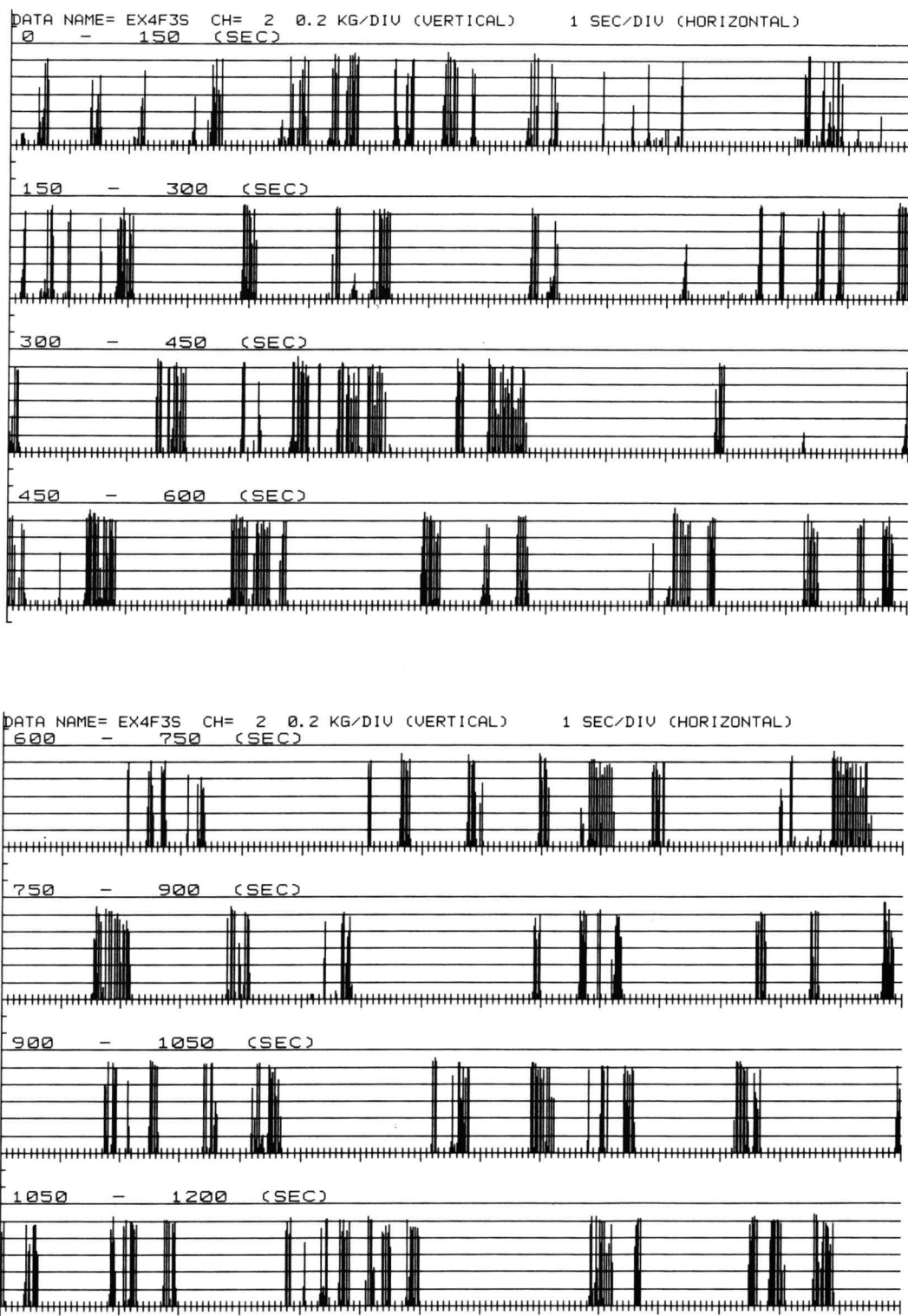


Fig. 6. Thermal printer output of wave-analysis computer (Signal processor). Whole data of biting force peaks are shown.

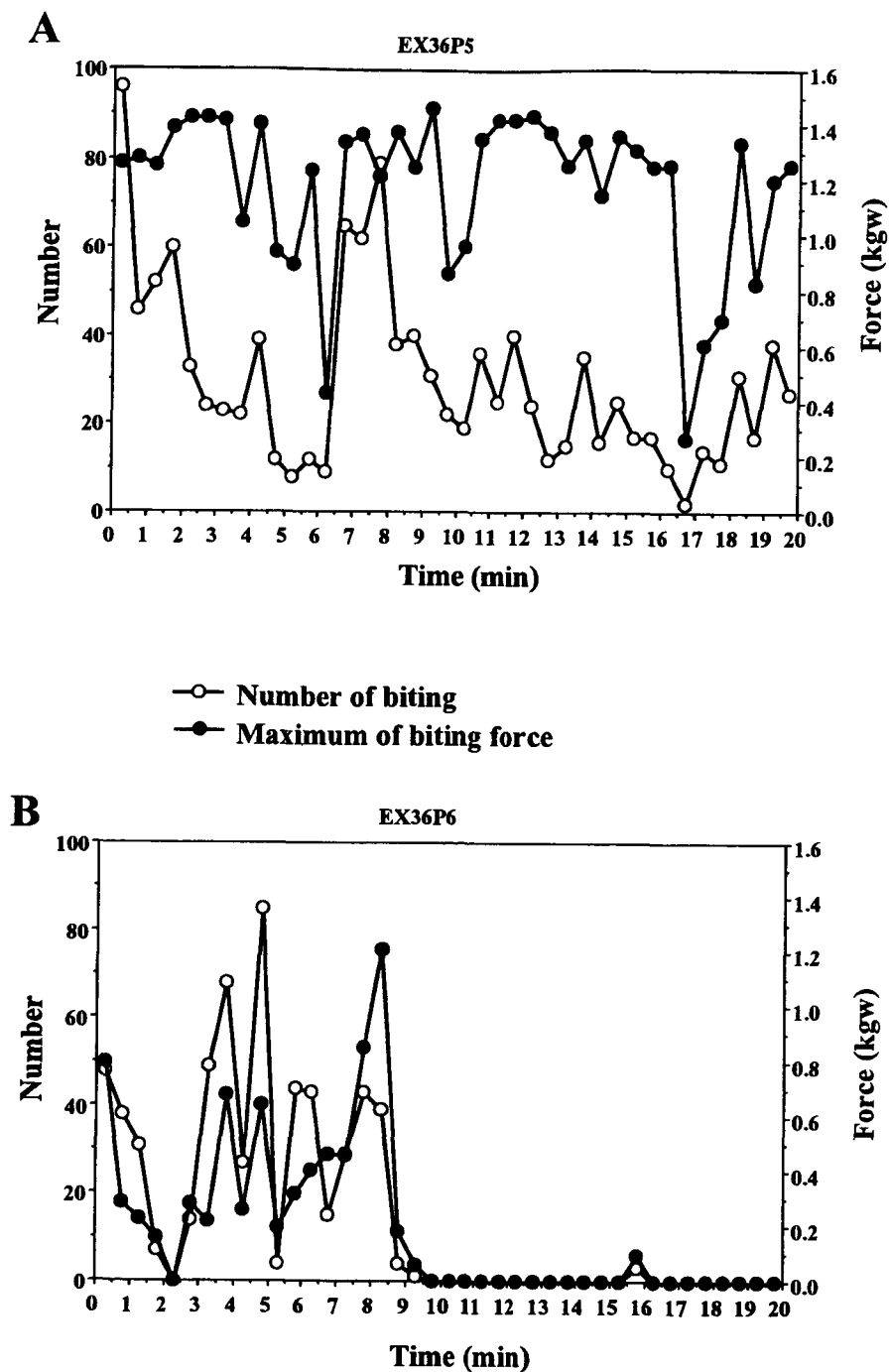


Fig.7. Two typical gnawing patterns during 20-min biting force measurement. A : A typical example of active biting toward the transducer throughout the whole periods of biting force measurement. B : A typical example of active biting in the first half of biting force measurement, but inactive in the latter half. Number of biting (open circle) and maximum biting force (closed circle) in successive 0.5 min period are shown.

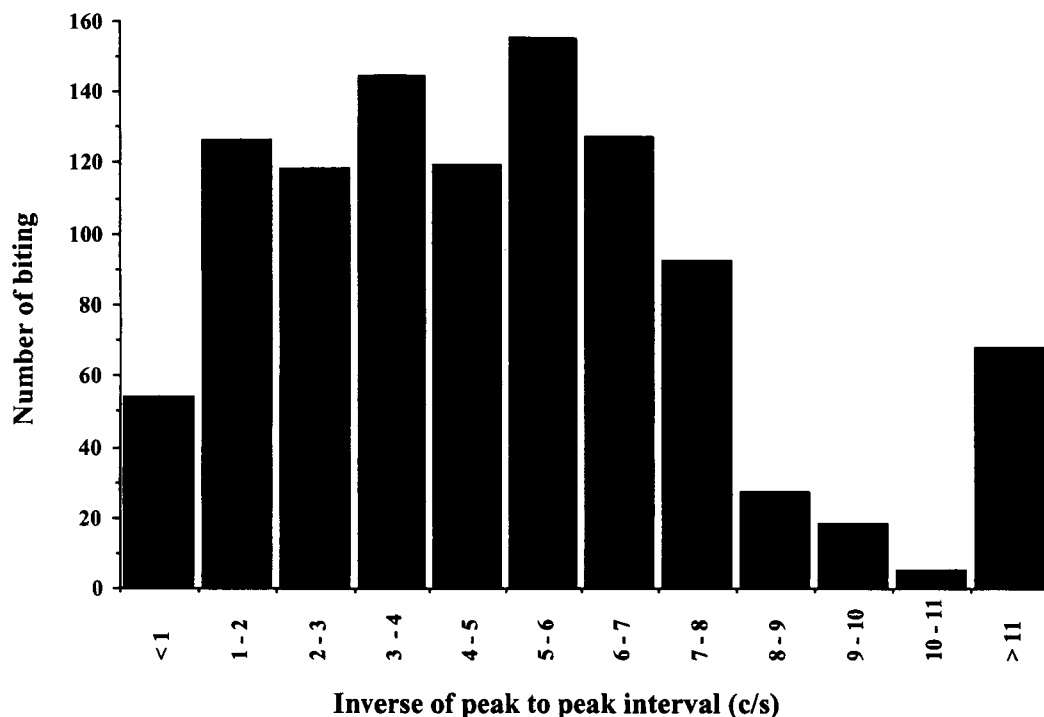


Fig.8. Typical example of frequency distribution of the incidence of biting force peaks during 20-min biting force measurement. Note that the data less than 0.5 c/s of peak to peak interval are removed from the column in 0-1 c/s, since interval more than 2 sec could be attributed as a resting period of gnawing activity.

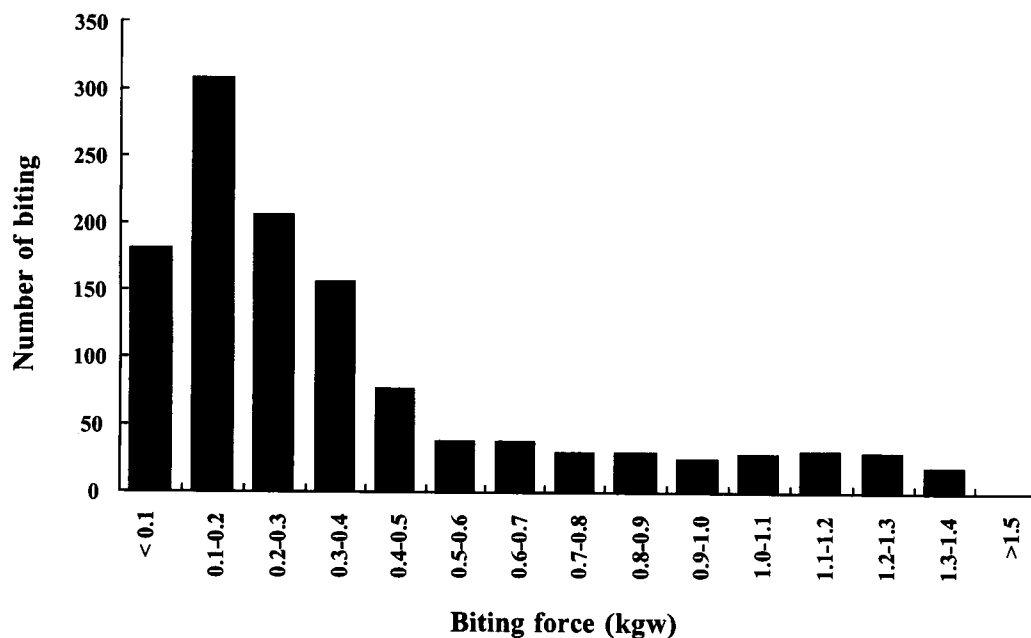


Fig.9. Typical example of biting force peak distribution during 20-min measurement.

Table .1 Gnawing activities recorded in all 12 mice during the 20-min biting force measurements.

Mouse No.	Number of biting	Maximum of biting force (kgw)	Sum of biting force peaks (kgw)
1	479	0.91	76.65
2	1414	1.41	317.43
3	124	1.30	41.36
4	1204	1.47	456.03
5	717	1.42	294.89
6	564	1.02	101.13
7	1000	1.35	254.84
8	637	0.99	78.42
9	305	1.21	65.67
10	593	1.21	89.42
11	365	1.14	81.30
12	224	0.91	42.21
Mean	636	1.20	158.28
SEM	114	0.06	39.38

力測定装置を用いることにより、マウスがかじる時の咬合力を正確に計測することができると考えられる。咬合力トランスデューサーの荷重－出力電圧間の相関係数は0－1.8 kgwの範囲で $r > 0.999$ であり、ほぼ線形であるとみなすことができる。また、マウスがかじる可能性のあるバイトバーの範囲（約2 cm）で、位置の違いによる誤差は、1 kgwの荷重に対しておよそ1.3%以下であった。また、10回の繰り返し荷重による誤差は極めて低かった。本実験を含めて、現在までに100匹あまりの4－18週齢のマウスの咬合力を測定した結果、咬合力の最大値はおよそ0.6－1.4 kgwであり、最大咬合力付近の値を問題にする限り、本装置由来の測定誤差は無視できるものといえよう。

本測定装置は、従来ヒトで行われてきた咬合力測定と比較した場合、装置の構造や測定方法において、いくつかの相違点がある。第1の相違点は、顎運動中の咬合力か、かみしめ時の咬合力かという点である。本測定装置はマウスが

金属のバイトバーを繰り返しかじる時に発生する咬合力を動的に捉えるものである。一方、ヒトにおける咬合力測定は、ほとんどがトランスデューサーをできるだけ強くかみしめた時の（静的な）咬合力を測定する方法がとられている¹⁻³⁾。ヒトにおいても、食物の咀嚼中に発生する咬合力を測定する目的で、歯に荷重センサーを取り付けて測定した報告が過去にされている¹¹⁻¹³⁾。しかし、これらの装置は被験者ごとに、専用の精密なトランスデューサーを製作する必要がある、日常的に測定する方法には不向きである。第2の相違点は、咬合力を測定する歯の違いである。本装置では上下顎切歯間でバイトバーをかじった時に発生する咬合力を測定するものである。一方、ヒトの場合においては、通常片側の上下顎第一大臼歯間でかんだ時の咬合力を測定する。ヒトにおいても切歯の咬合力を測定した報告もあるが^{1,14)}、一般的ではない。また感圧シートを全歯でかみ、全歯列の咬合力分布を測定する装置が開発されているが³⁾、高

価であることや現段階では研究段階であることなどから、普及しているとは言い難い。第3の相違点は、被験者（被験動物）に対し咬合力を引き出させる方法の違いである。ヒトでは咬合力計の受圧部をかみしめるように、被験者に指示する方法をとっているが、マウスのような動物に対し、咬合力計を強くかみしめさせるように、誘導あるいは学習させることは極めて困難である。そこで、マウスを狭いパイプに閉じ込めて、拘束ストレスを負荷することにより、かじり行動を誘発して咬合力を測定する方法を採った。ほとんどのマウスは20分間の測定中、非常に激しく前方のバイトバーを多数回かじった。第4の相違点は、咬合力トランスデューサーの受圧部の広さである。本装置では、動物の自発的なかじり行動時の咬合力を測定するため、咬合力トランスデューサーの受圧部が広く設計されている。本装置の咬合力トランスデューサーの受圧部は、拘束用パイプ内のマウスがかじりうるバイトバーの全範囲といえる。従来ヒト^{1,2)}やサル^{4,5)}の咬合力を測定するのに使用されたような受圧部が狭いロードセル型の咬合力計を、そのままマウスの咬合力測定に応用することはできないであろう。

20分間の測定期間中にマウスがトランスデューサーをかじった回数や咬合力ピーク値の総和という2種の量において、ばらつきが大きかった。このことは、この種のマウスが本来有している個体差によるのか、拘束の方法や測定時間などの実験設定によるのかは、現段階では、不明である。ただし、本研究では、一匹の個体に対して、咬合力測定時間を20分間としたが、測定期間中、およそ33%のマウスにおいて、後半10分間のかじり回数は低かった。しかし、少なくとも前半の10分間に注目すると、いずれのマウスにおいても、バイトバーを頻繁にかじった。この結果から、咬合力の測定期間を10分程度に設定したほうがよりばらつきの少ない測定ができるのかもしれない。

食物を咀嚼する時、ヒトや動物においてリズムミカルな顎運動を行うことは良く知られてい

る¹⁵⁻¹⁹⁾。我々が開発した咬合力測定システムを用いることにより、拘束ストレス下のマウスは、金属製のバイトバーを、強さは一定しないがリズムミカル (6.0 ± 0.4 c/s) にかじることが分かった。齧歯類でマウスより大型のモルモットが、固形飼料やニンジン咀嚼時のリズムは約3 c/sであるという報告があり¹⁹⁾、本実験結果と比較してやや低い値である。本実験では非食物に対するかじり行動であって、咀嚼運動とはいえない。したがって、結果を単純に比較することは避けるべきかもしれない。

本研究においては、マウスの最大咬合力として、20分間の測定中に得られた全咬合力ピーク値の最大値であると仮定した。この値がマウスの出しうる最大の咬合力であるかどうかは、今回の結果のみではまだ決定できない。今回使用した拘束用パイプによって生じたストレスよりも、さらに強いストレスを負荷すれば（たとえばピンチ刺激とか水中に浸す）、咬合力の最大値はさらに高くなる可能性が考えられる。しかし、予備的実験において、数匹のマウスの尾にピンセットでピンチ刺激を加えてみたところ、かじり行動は誘発されたが、誘発された咬合力波形のピーク値のいずれも、20分間に出現した咬合力の最大値を超えるケースは一例もなかった。また、今回使用した12匹のマウスの全個体において、20分間の測定中に100回以上バイトバーをかじったという結果からも、拘束ストレスによるかじり行動への動機付けが、ピンチ刺激に比べて決して弱くなかったと推定される。また、村松ら¹⁰⁾による報告によれば、ヒト成年男子の中切歯の最大咬合力は9.5 - 10.7 kgwである。ヒトの体重の1/1000にも満たないマウスにおいて、我々が得た咬合力の最大値が1 kgw以上にも達したという結果からも、本測定装置によって得られた咬合力の最大値は、マウスが出しうる咬合力の最大値に近い可能性がある。

20分間の測定中に記録された咬合力曲線のピーク値の総和が意味するところは、現時点において明らかではないが、一定の時間内に動物

がバイトバーに対して行った仕事量と仮定することが考えられる。金属のバイトバーの代わりに、材木や固形飼料のようなかじりとることができる素材を使って受圧部を構成すれば、咬合力ピーク値の総和は、マウスが材木や餌を一定時間内にかじり取る量に相当するかもしれない。この仮説が正しいとすれば、咬合力のピーク値の総和は、ヒトの咀嚼能力を表す別の指標としてしばしば使われる、咀嚼能率^{1, 2)}という量と関係付けられるかもしれない。咀嚼能率は、ヒトがピーナツあるいは生米を一定回数かんだ時に、どの程度粉碎されるのかを、特定の細かさの篩を通過した量を計測すること（篩分法）によって求められる。しかし、ヒトの場合は、主に臼歯によって食物が粉碎されているが、マウスがバイトバーをかんだり材木などをかじる場合は、切歯で行っている点が異なっており、現時点では両者の結果を単純に比較することは避けるべきであろう。咬合力ピーク値の総和という量が、ヒトで使われている咀嚼能率と対応づけられるかどうかについても、今後の興味深い研究課題である。

マウスは小型の実験動物であり、取扱が容易であること、また成熟までの期間が他の実験動物であるイヌ、サルなどと比べて非常に短い。したがって、加齢とか食餌の性状の違いなどの因子が、咬合力に対してどのように影響をおよぼすのかを調べる上で、大変都合な動物といえよう。また、顎口腔系に対し実験的な処置を施すことも可能である。しかし、このような実験に対しては、もう少しサイズの大きなラットを用いた方がより適切であろう。ラット用の咬合力測定装置を製作するには、マウス用の装置の規模を拡大する程度の改造によって実現できると考えられる。

マウスやラットはいずれも齧歯類に属する。齧歯類は別名 gnawing animal（かじる動物）とも称されるように、かじり行動が非常に際立った特徴を有していることで知られている。かじり行動（gnawing behavior）は、異常行動の一つである常同行動として扱われる場合があ

る。ストレス負荷や、向精神薬の投与により、マウスやラットにかじり行動を誘起させ、その神経機序を探る神経行動学的研究や薬理学的研究が盛んに行われている²⁰⁻²²⁾。この方面での研究は、多くが行動の観察であるが、自動計測装置もいくつか開発されている²³⁾。しかし、それらの装置は動物がかじった回数は測定できるが、咬合力を測定することはできない。我々が開発した咬合力測定システムを用いて、常同行動の定量化を行うことにより、この方面でのより詳細な研究にも役立てることができると考えられる。

一方、歯科臨床において、しばしば問題とされるブラキシズムという異常行動があるが、そのメカニズムに関してはほとんど理解されていないのが実情である。ブラキシズムは、心理的ストレスによって引き起こされる強いかみしめであり、主に就寝時に現われる口腔悪習慣の一つである。しかし心理的ストレスによって引き起こされる口腔悪習慣には、かみしめ、グライディング、爪をかむなど、昼間の活動時にも見られるものがある。本研究の結果から、拘束ストレスをマウスに負荷することによって、かじり行動を誘発させることができ、それを定量化することも可能であることが分かった。したがって、本測定システムを、ストレスが原因の口腔悪習慣の機序を探る道具としても利用できるかもしれない。

結 論

本研究において、マウスの咬合力を測定するための装置の開発を行い、本装置の特性試験を行った。また、この装置を用いて、18週齢の ddY 系雄性マウスに対して咬合力測定を実施した。これらの実験結果から以下のことが明らかとなった。

1. 咬合力トランスデューサーの荷重と出力信号との間の直線性は非常に高かった ($r > 0.999$)。
2. 咬合力トランスデューサーの受圧部（バイトバー）の位置による誤差は 1.3% であっ

た。

3. 咬合力トランスデューサーの繰り返し測定
の誤差は0.3%以下であった。
4. マウスが咬合力トランスデューサーのバイ
トバーをかじる時, 咬合力のピーク値は大
きく変動するが, リズミカル(およそ6 c/
s) なかじり行動が散発性に出現した。
5. 使用した12匹のマウスのいずれも, 多数回
(平均636回/20分) バイトバーをかじっ
た。
6. 使用した12匹のマウスの最大咬合力の平
均は約1.2 kgwに達した。
7. 咬合力曲線のピーク値の総和は12匹のマ
ウスにおいて, 158 ± 39.4 kgwであり, 個体
差が大きかった。

文 献

- 1) 河村洋二郎: 咀嚼の生理, 河村洋二郎著: 歯科学
生のための口腔生理学, 末永書店, 京都, 158-232
ページ, 1966.
- 2) 長谷川成男: ヒトの咀嚼運動, 東京医科歯科大学
歯学部顎口腔総合研究施設編: 咀嚼の話, 日本歯
科評論社, 東京, 163-207 ページ, 1983.
- 3) 服部佳功, 渡辺誠: 咬合力測定法に関する最近の
進歩, 歯界展望, 85: 657-668, 1995.
- 4) Hylander, W. L.: Mandibular function in
Galago crassicaudatus and Macaca fascicularis:
An in vivo approach to stress analysis of the
mandible. *J. Morph.* 159: 253-296, 1979.
- 5) Dechow, P. C., and Carlson, D. S.: Occlusal force
after mandibular advancement in adult rhesus
monkeys. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 44: 887-893,
1986.
- 6) Oyen, O. J., Melugin, M. B., and Indresano, A. T.:
Strain gauge analysis of the frontozygomatic
region of the zygomatic complex. *J. Oral Maxil-
lofac. Surg.* 54: 1092-1095, 1996.
- 7) Wübel, H., and Stauffacher, M.: Prevention of
Stereotypy in laboratory mice: effects on stress
physiology and behaviour. *Physiol. Behav.* 59:
1163-1170, 1996.
- 8) Sundé-Kuronen, B., Pohto, P., and Alanen, E.:
Oral tardive dyskinesia in the rat. *Acta Odontol.
Scand.*, 41: 343-348, 1983.
- 9) Tsuda, A., Tanaka, M., Ida, Y., Shirao, I.,
Gondoh, Y., Oguchi, M., and Yoshida, M.: Ex-
pression of aggression attenuates stress-
induced increases in rat brain noradrenaline
turnover. *Brain Res.*, 474: 174-180, 1988.
- 10) Dauton, N. G.: Differentiation of bite force
response in the rat. *J. Comp. Physiol. Psychol.* 85:
367-372, 1973.
- 11) Anderson, D. J.: A method of recording masti-
catory loads. *J. Dent. Res.* 32: 785-789, 1953.
- 12) 三浦不二夫, 角田正明: 咬合圧(咀嚼圧)に関す
る研究, 日歯医師会誌, 7: 293-298, 1954.
- 13) 坂東永一: 顎機能のテレメータリング, 医用電
子と生体工学, 7: 281-288, 1969.
- 14) 村松篤良, 塩川延洋, 三宅 聡, 高木米一: 新しい
咬合力測定器について, 歯科材料研究報告, 1:
101-107, 1957.
- 15) 中村嘉男: 咀嚼運動のしくみ, 東京医科歯科大学
歯学部顎口腔総合研究施設編: 咀嚼の話, 日本歯
科評論社, 東京, 259-300 ページ, 1983.
- 16) 中村嘉男: 咀嚼・嚥下運動, 大村裕, 島津浩, 伊
藤正雄編: 脳の構造と機能下巻, 医学書院, 東京,
241-274 ページ, 1984.
- 17) 河野正司: ヒトの顎運動の特性, 文部省特定研究
「咀嚼システムの基礎的研究」総括班編: 咀嚼シス
テム入門, 風人社, 東京, 193-209 ページ, 1987.
- 18) Morimoto, T., Inoue, T., Kawamura, Y., and
Yamada, K.: A He-Ne laser position-detector for
recording jaw movements: Principle of opera-
tion and application in animal experiments. *J.
Neurosci. Meth.*, 11: 193-198, 1984.
- 19) Byrd, K. E.: Mandibular movement and
muscle activity during mastication in the
guinea pig (*Cavia porcellus*). *J. Morph.*, 170: 147-
169, 1981.
- 20) 越川憲明: 向精神薬のスクリーニング法(2): 常
同行動, 薬物・精神・行動, 12: 1-7, 1992.
- 21) Hawkins, M. F., Fuller, R. D., Baumeister, A. A.,
and McCallum, M. D.: Effects in the rat of
intranigral morphine and DAGO on eating and
gnawing induced by stress. *Pharmacol. Biochem.
Behav.*, 49: 737-740, 1994.
- 22) Tirelli, E., and Witkin, J. M.: Pharmacological
characterization of the enhancement of apomor-
phine-induced gnawing in mice by cocaine. *Pha-
rmacol. Biochem. Behav.*, 55: 135-140, 1996.
- 23) Moss, D. E., and Castaneda, E.: Automated
methods of measuring gnawing behaviors. In:
Sanberg, P. R., Ossenkopp, K. P., and Kavaliers,
M. eds., Motor activity and movement disor-
ders: Research issues and applications., Human
Press, Totowa, pp 175-194, 1996.