上下顎前歯部歯牙の3次元動的動態について

荻田 訓久

Measurment of Three-Dimensional Movement of Anterior Teeth

Kunihisa Ogita

I. 緒 言

歯の動揺度を測定することは、歯周組織の健康度を判定し、治療方針を決定する場合はもちろん、補綴処置を行う上でもきわめて重要な診断基準となる。また、最近の歯科医療では、口腔諸組織の機能をいかにして健全な状態に保ちうるかということが重要視されるようになってきており、補綴処置後も、その歯牙が正常な歯周組織を維持していく上で、その機能を十分に把握しておくことは必要なことである。

従来より、歯の動揺度の測定を客観的に行う方法として、ダイヤルゲージ^{1,2)}、ストレングージ³⁻⁷⁾、差動トランス⁸⁻¹⁰⁾、電気マイクロメーター¹¹⁾などを使用するものがあつた。しかしながら、それらのものは装置と歯を接触させることにより接触圧がかかり、測定方向や歯の動きに制限を加えた状態で測定しなければならないものが多かった。そのため、装置と歯を接触させない非接触型の測定装置の研究¹²⁻¹⁵⁾が行われている。また、生体においては、2次元動的動態測定が行われているが^{15,16)}、3次元動的動態測定は行われておらず、生活歯の3次元動的動態を追求する一手段として、レーザホログラフィによる模型実験^{17,18)}が行われているのみである。

そこで著者は、口腔内における歯の動態を3次元的に測定するため、磁場の変化を直接計測できるホール素子を使用した非接触型の測定装置を考案、作製し¹⁹⁾、荷重時の歯の動態を3次元的に測定して歯の動揺度の3次元動的動態の定量化の可能性を検討した。

II. 研究 方法

1. 測定装置および荷重装置

本実験では、著者が考案、作製した3次元微小変位測定値により、荷重時における歯の3次元動的動態の測定を行った。図1に測定装置のブロックダイアグラムを、図2にその一部を示す。

i 3次元微小変位測定装置について

a) 構造

本装置は、検出部、増幅装置、検出部固定装置と口腔内固定装置から成る。

1) 検出部

トランスデューサとして、磁場の変化により電圧の変

図1 ブロックダイアグラム

図2 測定装置

愛知学院大学歯学部第三歯科補綴学教室 (主任, 指導: 竹花庄治教授)

The Third Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Aichi Gakuin University (Chief, Director: Prof. Shoji Takehana)

昭和58年8月11日受付

図3 素子配置図

図4 測定装置検出部

図5 ホール素子と永久磁石

化が生ずるール効果を応用したホール素子（旭化成工業社製，type H-300 A. YELLOW, $2.4\text{ mm} \times 2.9\text{ mm} \times 2.0\text{ mm}$ ）6個を用い，図3に示すように配列した。

配列したホール素子は，図4に示すように，即時重合レジン（而至社製，ユニファースト）で固定した後，エポキシ系接着剤（コニシ社製，ボンドクイックセット）にて絶縁防湿して被覆し（ $11\text{ mm} \times 11\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ ），それにアクリル棒を取り付けた。今回使用したホール素子と永久磁石（ $2.8\text{ mm} \times 2.3\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ ，磁束

図6 演算回路特性直線

図7 検出部固定装置

密度 1 K ガウス）を図5に示す。なお，永久磁石は，長さ 10.0 mm ，直径 3.0 mm アクリル棒に取り付けて使用した。

2) 増幅装置

磁石の移動によるホール素子からの出力電圧は非直線性を示すため，一測定方向に対して2個のホール素子を用い，2つの出力電圧を差動増幅させる演算回路を作製し²⁰⁾，それに2つの調整回路²¹⁾を接続させた。その結果，図6に示すように，ホール素子からの磁石の移動による出力電圧は，演算回路を介することにより良好直線性を示すようになった。

3) 検出部固定装置および口腔内固定装置

図7に示すように，検出部固定装置は，当教室の荒木²²⁾による3次的に微調整が可能な固定装置を用い，口腔内固定装置は，臼歯列歯冠部シーネを即時重合レジンにて補強したものを，アルミ製の固定板（厚さ 2 mm ）

図 8 校正装置

図 9 荷重装置

にネジ留めして用いた。

b) 校正および精度

変位測定装置の校正は、変位計検出部を固定し、永久磁石を図 8 に示すソニーデジタル 3 次元読み取り装置 (電研コテム社製) に取り付け、この永久磁石を X・Y・Z の 3 方向にそれぞれ移動させ、増幅装置からの出力電圧を記録することにより行った。今回、X 軸を唇舌方向、Y 軸を近遠心方向、Z 軸を歯軸方向として校正を行った。

表 1 に本測定装置の測定が可能な範囲と最大誤差を示す。その測定範囲は、唇舌および近遠心方向に $\pm 150 \mu$ 、歯軸方向に $\pm 200 \mu$ である。また、すべての計測点におけるその誤差は、唇舌および近遠心方向で 2.0μ 以内で、歯軸方向で 1.0μ 以内であった。

ii 荷重装置について

一般に臨床における歯の動揺度の診査は、ピンセットや指を用いて行われているが、荷重量は一定ではなく、基準となるものがない。そこで、著者は、今回の歯の動揺度測定に際し、測定の基準とするために、歯科用ピンセットを改良した荷重装置を考案、作製した。

表 1 変位測定装置の測定範囲と誤差

	測定範囲 (μ)	誤差 (μ)
唇—舌方向	± 150	2.0
近心—遠心方向	± 150	2.0
歯軸方向	± 200	1.0

図 10 荷重装置の出力特性

a) 構造

図 9 に今回作製した荷重装置を示す。把持部には歯科用ピンセットを利用し、ヘッド部には導性銅板 (厚さ 1 mm) とストレンゲージ (共和電業社製, type KFR-02-C1-11) を使用し、エポキシ系接着剤 (前述) にて絶縁、固定した後、シリコン系接着剤 (パスボン) にて防湿を施して荷重装置とした。ヘッド部は、唇舌、近遠心方向および根尖方向への荷重方向に合わせてネジ ($\phi 1.8 \text{ mm}$) による取り変えが可能である。

b) 校正

図 10 は、荷重量とストレンアンプ (共和電業社製 type DPM-1N) からの出力電圧による校正直線であり、良好な直線性を示した。

2. 測定方法

前述の測定装置および荷重装置を用いて、上下顎前歯すべてについて測定を行った。今回、永久磁石は、測定歯の唇面中央部に取り付け、この時の永久磁石の動きをその歯の動きとしてとらえた。

i 被験者

被験者は、顎口腔系に特に異常が認められず、健康な歯周組織を有し、歯および歯列がほぼ健康者と判定した

図 11 模型上での装着状態

図 12 口腔内での測定状態

者で、年齢 22 歳から 29 歳の成人男子 8 名である。

ii 測定装置と永久磁石の固定

図 11 に示すように、測定装置の装置位置は、あらかじめ口腔外の石膏模型上にて富士川²³⁾の述べる基準平面を参考に調整を行った。この際、永久磁石は、図 4 に示すように市販の基板をもとに、K メタルと即時重合レジンにて作製した治具を介して測定装置検出部内側に固定した。

調整の完了した装置は、インプレッションペースト（而至社製）を用いて測定歯の反対側臼歯部歯列に、また、永久磁石は、即時重合レジン（而至社製、オルソファースト）を用いて測定歯唇面中央部に固定した（図 12）。

iii 荷重点および荷重方向

本実験での測定歯は、上下顎前歯としたが、すべての測定歯で荷重はレジン製治具を介して切縁中央部に加えた。図 12 は、口腔内での測定状態を示す。

荷重は、前述の荷重装置により、歯軸に沿った根尖方向への荷重（根尖方向荷重）、歯軸に直交する舌側方向への荷重（舌側方向荷重）、唇側方向への荷重（唇側方向荷重）、近心方向への荷重（近心方向荷重）、遠心方向への荷重（遠心方向荷重）の 5 方向とし、治具の壁を押し始めてから 500 g を越えるまでの単純荷重とした。

III. 結 果

被験者 8 名について、上下顎前歯に対する唇側、舌側、近心、遠心、根尖方向荷重時における各被験歯の 3 次元の変位量の測定結果を図 13～22 の a) に示す。また、各被験歯の荷重方向への変位量について、8 名の被験者の平均値を図 13～22 の b) に示す。

1. 唇側方向荷重時の変位量

i 上顎前歯について

図 13 a) に唇側方向荷重時の上顎被験歯の 3 次元の動態測定の結果を示す。

変位方向についてみると、すべての上顎被験歯は、唇側・根尖方向へ変位する傾向を示したが、近遠心方向への変位は各被験歯により異なった。変位量についてみると、唇側・根尖方向変位量は、荷重が増すに従って増加したが、近遠心方向変位量は必ずしもその傾向は示さなかった。

図 13 b) に 8 名の被験者の荷重方向である唇側方向変位量の平均を示す。その変位量は、中切歯が最も大きな値を示し、ついで測切歯で、犬歯は最も小さな値を示した。左右同名歯の変位量および増加の程度には類似性がみられ、左右差の検定を行ったところ、その変位量には 5% の危険率で有意な差はみられなかった。

図 13-a) 唇側方向荷重時の上顎前歯の変位
(A : 100 g 荷重時, B : 300 g 荷重時, C : 500 g 荷重時)

図 13-b) 唇側方向荷重時の上顎前歯の唇側変位量
(A : 100 g 荷重時, B : 300 g 荷重時, C : 500 g 荷重時)

a) 中切歯

荷重方向である唇側変位量は, 100 g 荷重時に右側は 27.1~76.7 μ の範囲内で平均 45.8 $\pm$ 14.6 μ , 左側は 22.1~73.1 μ の範囲内で平均 45.4 $\pm$ 17.5 μ , 300 g 荷重時に右側は 42.2~94.0 μ の範囲内で平均 64.8 $\pm$ 15.0 μ , 左側は 43.8~93.8 μ の範囲内で平均 63.5 $\pm$ 19.1 μ , 500 g 荷重時に右側は 55.5~101.3 μ の範囲内で平均 75.8 $\pm$ 14.3 μ , 左側は 51.5~106.4 μ の範囲内で平均

73.3 $\pm$ 21.6 μ であった.

b) 側切歯

唇側変位量は, 100 g 荷重時に右側は 10.5~48.1 μ の範囲内で平均 29.3 $\pm$ 12.8 μ , 左側は 23.3~37.2 μ の範囲内で平均 31.2 $\pm$ 5.2 μ , 300 g 荷重時に右側は 19.8~66.9 μ の範囲内で平均 43.9 $\pm$ 15.8 μ , 左側は 31.2~61.4 μ の範囲内で平均 44.9 $\pm$ 10.3 μ , 500 g 荷重時に右側は 26.8~77.6 μ の範囲内で平均 52.9 $\pm$ 16.8 μ ,

図 14-a) 唇側方向荷重時の下顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 14-b) 唇側方向荷重時の下顎前歯の唇側変位量
(A,B,C: 前述)

左側は $34.2 \sim 80.1 \mu$ の範囲内で平均 $55.8 \pm 13.6 \mu$ であった。

c) 犬歯

唇側変位量は、100 g 荷重時に右側は $10.6 \sim 31.2 \mu$ の範囲内で平均 $19.7 \pm 7.2 \mu$ ，左側は $14.5 \sim 27.4 \mu$ の範囲内で平均 $20.6 \pm 4.2 \mu$ ，300 g 荷重時に右側は $19.2 \sim 41.3 \mu$ の範囲内で平均 30.9 ± 8.1 ，左側は $26.8 \sim 41.7 \mu$ の範囲内で平均 $32.4 \pm 5.6 \mu$ ，500 g 荷重時に右側は

$23.7 \sim 52.4 \mu$ の範囲内で平均 $38.6 \pm 9.6 \mu$ ，左側は $32.6 \sim 51.6 \mu$ の範囲内で平均 $40.6 \pm 6.6 \mu$ であった。

ii 下顎前歯について

図 14 a) に唇側荷重時の下顎被験歯の3次元的動態測定の結果を示す。全体的に上顎被験歯とほぼ類似した傾向を示した。

変位方向についてみると、すべての下顎被験歯は、唇側・根尖方向へ変位する傾向を示したが、近遠心方向へ

の変位は各被験歯により異なった。変位量についてみると、唇側・根尖方向変位量は、荷重が増すに従って増加したが、近遠心変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 14 b) に 8 名の被験者の荷重方向である唇側変位量の平均を示す。その変位量は、上顎歯と同様、中切歯・側切歯・犬歯の順で小さくなる傾向を示した。また、左右同名歯の変位量を比較すると、右側が若干大きな値を示したが、有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

唇側変位量は、100 g 荷重時に右側は $28.0 \sim 60.3 \mu$ の範囲内で平均 $45.1 \pm 11.0 \mu$ 、左側は $30.9 \sim 41.2 \mu$ の範囲内で平均 $37.2 \pm 3.6 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $42.4 \sim 79.5 \mu$ の範囲内で平均 $64.3 \pm 13.5 \mu$ 、左側は $45.9 \sim 65.6 \mu$ の範囲内で平均 $55.0 \pm 6.8 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $56.1 \sim 94.3 \mu$ の範囲内で平均 $78.0 \pm 14.2 \mu$ 、左側は $57.4 \sim 83.9 \mu$ の範囲内で平均 $67.7 \pm 10.1 \mu$ であった。

b) 側切歯

唇側変位量は、100 g 荷重時に右側は $27.6 \sim 61.9 \mu$ の範囲内で平均 $40.8 \pm 10.3 \mu$ 、左側は $21.0 \sim 51.6 \mu$ の範囲内で平均 $29.9 \pm 9.6 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $44.9 \sim 76.8 \mu$ の範囲内で平均 $58.3 \pm 10.0 \mu$ 、左側は $37.8 \sim 74.4 \mu$ の範囲内で平均 $47.8 \pm 11.3 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $56.2 \sim 91.5 \mu$ の範囲内で平均 $71.7 \pm 11.6 \mu$ 、左側は $42.1 \sim 83.6 \mu$ の範囲内で平均 $57.1 \pm 12.0 \mu$ であった。

c) 犬歯

唇側変位量は、100 g 荷重時に右側は $16.6 \sim 43.4 \mu$ の範囲内で平均 $27.6 \pm 9.0 \mu$ 、左側は $13.8 \sim 32.0 \mu$ の範囲内で平均 $23.0 \pm 5.3 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $23.3 \sim 62.4 \mu$ の範囲内で平均 $41.2 \pm 12.3 \mu$ 、左側は $22.4 \sim 44.8 \mu$ の範囲内で平均 $35.5 \pm 6.7 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $27.6 \sim 71.2 \mu$ の範囲内で平均 $50.3 \pm 12.9 \mu$ 、左側は $28.2 \sim 58.5 \mu$ の範囲内で平均 $45.0 \pm 9.5 \mu$ であった。

2. 舌側方向荷重時の変位量

i 上顎前歯について

図 15 a) に舌側方向荷重時の上顎被験歯の 3 次元動態測定の結果を示す。

変位方向についてみると、すべての上顎被験歯は、舌側・切縁方向へ変位する傾向を示したが、唇側方向荷重時と同様、近遠心方向への変位は各被験歯により異なっ

た。変位量についてみると、舌側・切縁変位量は、荷重が増すに従って増加したが、近遠心変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 15 b) に 8 名の被験者の荷重方向である舌側変位量の平均を示す。

その変位量は、犬歯が最も小さな値を示したが、中切歯、側切歯に大小の順はみられなかった。また、左右同名歯の変位量を比較すると、左側が若干大きい値を示したが、その変位量に有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

舌側変位量は、100 g 荷重時に右側は $16.6 \sim 32.5 \mu$ の範囲内で平均 $25.2 \pm 5.7 \mu$ 、左側は $13.2 \sim 45.8 \mu$ の範囲内で平均 $30.6 \pm 10.4 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $24.6 \sim 53.3 \mu$ の範囲内で平均 $41.4 \pm 9.1 \mu$ 、左側は $22.6 \sim 80.4 \mu$ の範囲内で平均 $51.5 \pm 17.5 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $32.3 \sim 70.8 \mu$ の範囲内で平均 $52.1 \pm 11.8 \mu$ 、左側は $33.8 \sim 115.0 \mu$ の範囲内で平均 $67.1 \pm 23.4 \mu$ であった。

b) 側切歯

舌側変位量は、100 g 荷重時に右側は $15.6 \sim 37.9 \mu$ の範囲内で平均 $28.4 \pm 7.5 \mu$ 、左側は $19.4 \sim 39.9 \mu$ の範囲内で平均 $29.7 \pm 6.8 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $27.6 \sim 54.6 \mu$ の範囲内で平均 $41.9 \pm 9.5 \mu$ 、左側は $39.4 \sim 57.2 \mu$ の範囲内で平均 $46.6 \pm 6.6 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $32.1 \sim 68.5 \mu$ の範囲内で平均 $52.0 \pm 11.9 \mu$ 、左側は $46.2 \sim 72.3 \mu$ の範囲内で平均 $60.2 \pm 8.0 \mu$ であった。

c) 犬歯

舌側変位量は、100 g 荷重時に右側は $16.7 \sim 33.4 \mu$ の範囲内で平均 $22.7 \pm 5.8 \mu$ 、左側は $14.8 \sim 32.9 \mu$ の範囲内で平均 $23.9 \pm 5.4 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $26.2 \sim 48.3 \mu$ の範囲内で平均 $34.8 \pm 7.6 \mu$ 、左側は $24.9 \sim 48.2 \mu$ の範囲内で平均 $35.6 \pm 7.7 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $31.6 \sim 56.1 \mu$ の範囲内で平均 $42.1 \pm 8.6 \mu$ 、左側は $32.8 \sim 61.3 \mu$ の範囲内で平均 $43.3 \pm 10.2 \mu$ であった。

ii 下顎前歯について

図 16 a) に舌側方向荷重時の下顎被験歯の 3 次元動態測定の結果を示す。全体的に上顎歯とほぼ類似した傾向を示した。

変位方向についてみると、すべての下顎被験歯は、舌側・切縁方向へ変位する傾向を示したが、近遠心方向への変位量は各被験歯により異なった。変位量についてみると、舌側・切縁変位量は荷重量が増すに従って増加したが、近遠心変位量はその傾向を示さなかった。

図 15-a) 舌側方向荷重時の上顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 15-b) 舌側方向荷重時の上顎前歯の舌側変位量
(A,B,C: 前述)

図 16 b) に 8 名の被験者の荷重方向である舌側変位量の平均を示す。

その変位量は、中切歯が最も大きな値を示し、側切歯・犬歯の順で小さくなる傾向を示した。また、左右同名歯の変位量を比較すると、右側が若干大きな値を示したが、その変位量に有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

舌側変位量は、100 g 荷重時に右側は $30.6 \sim 57.7 \mu$ の範囲内で平均 $42.5 \pm 9.9 \mu$ 、左側は $27.2 \sim 52.1 \mu$ の範

囲内で平均 $39.6 \pm 7.8 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $45.2 \sim 87.5 \mu$ の範囲内で平均 $63.8 \pm 12.6 \mu$ 、左側は $44.4 \sim 70.7 \mu$ の範囲内で平均 $57.6 \pm 9.0 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $56.4 \sim 110.4 \mu$ の範囲内で平均 $82.2 \pm 15.6 \mu$ 、左側は $56.2 \sim 85.7 \mu$ の範囲内で平均 $70.1 \pm 10.8 \mu$ であった。

b) 側切歯

舌側変位量は、100 g 荷重時に右側は $23.2 \sim 57.7 \mu$ の範囲内で平均 $37.5 \pm 11.1 \mu$ 、左側は $21.8 \sim 51.1 \mu$ の

図 16-a) 舌側方向荷重時の下顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 16-b) 舌側方向荷重時の下顎前歯の舌側変位量
(A,B,C: 前述)

範囲内で平均 $30.1 \pm 9.1 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $37.2 \sim 84.7 \mu$ の範囲内で平均 $57.2 \pm 16.3 \mu$, 左側は $35.0 \sim 70.7 \mu$ の範囲内で平均 $45.3 \pm 11.5 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $46.9 \sim 108.1 \mu$ の範囲内で平均 $71.5 \pm 21.0 \mu$, 左側は $43.9 \sim 88.6 \mu$ の範囲内で平均 $57.7 \pm 14.1 \mu$ であった。

c) 犬歯

舌側変位量は, 100 g 荷重時に右側は $17.8 \sim 38.1 \mu$ の範囲内で平均 $26.5 \pm 6.3 \mu$, 左側は $16.4 \sim 42.3 \mu$ の範囲内で平均 $25.9 \pm 6.9 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $29.5 \sim 54.1 \mu$ の範囲内で平均 $40.3 \pm 6.9 \mu$, 左側は $25.8 \sim 63.3 \mu$ の範囲内で平均 $38.1 \pm 10.2 \mu$, 500 g 荷重時に右

図 17-a) 近心方向荷重時の上顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 17-b) 近心方向荷重時の上顎前歯の近心変位量
(A,B,C: 前述)

側は $39.3 \sim 67.5 \mu$ の範囲内で平均 $49.7 \pm 8.3 \mu$ ，左側は $32.6 \sim 77.6 \mu$ の範囲内で平均 $46.3 \pm 12.8 \mu$ であった。

3. 近心方向荷重時の変位量

i 上顎前歯について

図 17 a) に近心方向荷重時の上顎被験歯の3次元的動態測定の結果を示す。

変位方向についてみると、すべての被験歯は近心変位したが、唇舌および歯軸方向への変位傾向は各被験歯により異なった。変位量についてみると、近心変位量は、荷

重が増すに従って増加したが、唇舌・歯軸方向への変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 17 b) に8名の被験者の荷重方向である近心変位量の平均を示す。

その変位量は、中切歯が最も大きな値を示し、ついで犬歯であり、側切歯が最も小さくなる傾向を示した。また、左右同名歯の変位量および増加の程度には類似性がみられ、その変位量に有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

近心変位量は、100 g 荷重時に右側は $11.4 \sim 62.5 \mu$ の範囲内で平均 $33.9 \pm 15.4 \mu$ ，左側は $18.0 \sim 48.2 \mu$ の

範囲内で平均 $28.7 \pm 10.0 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $65.9 \sim 77.6 \mu$ の範囲内で平均 $47.4 \pm 19.1 \mu$, 左側は $33.3 \sim 61.7 \mu$ の範囲内で平均 $42.8 \pm 10.5 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $21.0 \sim 89.0 \mu$ の範囲内で平均 $56.5 \pm 21.0 \mu$, 左側は $36.0 \sim 72.6 \mu$ の範囲内で平均 $50.2 \pm 12.7 \mu$ であった。

b) 側切歯

近心変位量は, 100 g 荷重時に右側は $13.0 \sim 23.4 \mu$ の範囲内で平均 $17.6 \pm 3.4 \mu$, 左側は $11.2 \sim 35.5 \mu$ の範囲内で平均 $20.7 \pm 7.6 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $22.4 \sim 42.4 \mu$ の範囲内で平均 $31.4 \pm 6.9 \mu$, 左側は $26.1 \sim 58.0 \mu$ の範囲内で平均 $35.8 \pm 9.7 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $26.3 \sim 53.2 \mu$ の範囲内で平均 $39.2 \pm 7.9 \mu$, 左側は $30.7 \sim 77.6 \mu$ の範囲内で平均 $46.0 \pm 14.1 \mu$ であった。

c) 犬歯

近心変位量は, 100 g 荷重時に右側は $11.8 \sim 68.2 \mu$ の範囲内で平均 $24.2 \pm 17.3 \mu$, 左側は $11.0 \sim 38.4 \mu$ の範囲内で平均 $23.3 \pm 8.7 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $17.4 \sim 94.0 \mu$ の範囲内で平均 $39.4 \pm 23.0 \mu$, 左側は $29.0 \sim 66.1 \mu$ の範囲内で平均 $41.0 \pm 13.0 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $20.2 \sim 105.3 \mu$ の範囲内で平均 $48.2 \pm 25.5 \mu$, 左側は $33.9 \sim 78.5 \mu$ の範囲内で平均 $51.6 \pm 15.1 \mu$ であった。

ii 下顎前歯について

図 18 a) に近心方向荷重時の下顎被験歯の 3 次元的動態測定の結果を示す。

変位方向についてみると, すべての被験歯は近心変位したが, 唇舌および歯軸方向への変位傾向は各被験歯により異なった。変位量についてみると, 近心変位量は荷重が増すと増加したが, 唇舌・歯軸方向への変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 18 b) に 8 名の被験者の荷重方向である近心変位量の平均を示す。上顎と異なり, その変位量は, 中切歯・側切歯・犬歯の順で小さくなる傾向を示した。また, 左右同名歯の変位量および増加の程度には類似性がみられ, その変位量に有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

近心変位量は, 100 g 荷重時に右側は $12.6 \sim 49.1 \mu$ の範囲内で平均 $30.6 \pm 11.8 \mu$, 左側は $10.1 \sim 46.1 \mu$ の範囲内で平均 $29.8 \pm 11.0 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $22.8 \sim 76.8 \mu$ の範囲内で平均 $49.8 \pm 16.4 \mu$, 左側は $16.9 \sim 68.2 \mu$ の範囲内で平均 $48.3 \pm 16.4 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $29.8 \sim 100.8 \mu$ の範囲内で平均 62.9 ± 21.0

μ , 左側は $17.8 \sim 83.6 \mu$ の範囲内で平均 $60.5 \pm 21.3 \mu$, であった。

b) 側切歯

近心変位量は, 100 g 荷重時に右側は $15.7 \sim 36.5 \mu$ の範囲内で平均 $25.1 \pm 8.5 \mu$, 左側は $18.8 \sim 41.8 \mu$ の範囲内で平均 $27.1 \pm 7.7 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $30.4 \sim 59.3 \mu$ の範囲内で平均 $42.4 \pm 11.7 \mu$, 左側は $23.6 \sim 62.4 \mu$ の範囲内で平均 $41.4 \pm 12.8 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $35.1 \sim 79.9 \mu$ の範囲内で平均 $52.8 \pm 16.9 \mu$, 左側は $35.6 \sim 74.5 \mu$ の範囲内で平均 $52.0 \pm 14.9 \mu$ であった。

c) 犬歯

近心変位量は, 100 g 荷重時に右側は $16.2 \sim 39.2 \mu$ の範囲内で平均 $23.2 \pm 7.6 \mu$, 左側は $15.0 \sim 33.2 \mu$ の範囲内で平均 $22.6 \pm 7.0 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $23.2 \sim 58.8 \mu$ の範囲内で平均 $37.0 \pm 12.2 \mu$, 左側は $24.8 \sim 53.7 \mu$ の範囲内で平均 $33.9 \pm 9.8 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $28.0 \sim 70.5 \mu$ の範囲内で平均 $47.4 \pm 15.6 \mu$, 左側は $29.2 \sim 65.2 \mu$ の範囲内で平均 $39.5 \pm 12.3 \mu$ であった。

4. 遠心方向荷重時の変位量

i 上顎前歯について

図 19 a) に遠心方向荷重時の上顎被験歯の 3 次元的動態測定の結果を示す。

変位方向についてみると, すべての被験歯は遠心変位したが, 唇舌および歯軸方向への変位傾向は各被験歯により異なった。変位量についてみると, 遠心変位量は荷重が増すと増加したが, 唇舌・歯軸方向への変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 19 b) に 8 名の被験者の荷重方向である遠心変位量の平均を示す。上顎近心荷重時と同様, 中切歯が最も大きく, ついで犬歯であり, 側切歯が最も小さくなる傾向を示した。また, 左右同名歯の変位量および増加の程度には類似性がみられ, その変位量に有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

遠心変位量は, 100 g 荷重時に右側は $5.8 \sim 74.5 \mu$ の範囲内で平均 $30.5 \pm 23.0 \mu$, 左側は $10.9 \sim 62.0 \mu$ の範囲内で平均 $24.5 \pm 16.0 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $16.2 \sim 103.1 \mu$ の範囲内で平均 $48.4 \pm 31.3 \mu$, 左側は $22.8 \sim 87.8 \mu$ の範囲内で平均 $40.8 \pm 19.9 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $26.7 \sim 121.3 \mu$ の範囲内で平均 $60.7 \pm 35.9 \mu$, 左側は $26.9 \sim 102.9 \mu$ の範囲内で平均 53.1 ± 23.4

図 18-a) 近心方向荷重時の下顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 18-b) 近心方向荷重時の下顎前歯の近心変位量
(A,B,C: 前述)

μであった。

b) 側切歯

遠心変位量は、100 g 荷重時に右側は $7.1 \sim 27.4 \mu$ の範囲内で平均 $16.8 \pm 6.6 \mu$ 、左側は $9.3 \sim 23.9 \mu$ の範囲内で平均 $14.8 \pm 5.2 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $13.5 \sim 43.2 \mu$ の範囲内で平均 $26.0 \pm 9.6 \mu$ 、左側は $16.2 \sim 52.0 \mu$ の範囲内で平均 $26.2 \pm 11.2 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $17.0 \sim 54.9 \mu$ の範囲内で平均 $32.6 \pm 11.8 \mu$ 、左側は $21.6 \sim 68.1 \mu$ の範囲内で平均 $34.0 \pm 14.0 \mu$ であった。

c) 犬歯

遠心変位量は、100 g 荷重時に右側は $7.1 \sim 37.7 \mu$ の範囲内で平均 $17.1 \pm 9.5 \mu$ 、左側は $6.1 \sim 37.7 \mu$ の範囲内で平均 $19.4 \pm 8.8 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $12.8 \sim 57.8 \mu$ の範囲内で平均 $30.3 \pm 12.9 \mu$ 、左側は $18.7 \sim 63.4 \mu$ の範囲内で平均 $34.5 \pm 13.4 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $17.7 \sim 73.4 \mu$ の範囲内で平均 $39.4 \pm 15.3 \mu$ 、左側は $20.3 \sim 76.8 \mu$ の範囲内で平均 $44.8 \pm 17.2 \mu$ であった。

ii 下顎前歯について

図 20 a) に遠心方向荷重時の下顎被験歯の3次元的動

図 19-a) 遠心方向荷重時の上顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 19-b) 遠心方向荷重時の上顎前歯の遠心変位量
(A,B,C: 前述)

態測定の結果を示す。

変位方向についてみると、すべての被験歯は遠心変位したが、唇舌および歯軸方向への変位傾向は各被験歯により異なった。変位量についてみると、遠心変位量は荷重が増すと増加したが、唇舌・歯軸方向への変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 20 b) に 8 名の被験者の荷重方向である遠心変位量の平均を示す。下顎近心荷重と同様、中切歯・側切歯・犬歯の順で小さくなる傾向を示した。また、左右同名歯の変位量および増加の程度には類似性がみられ、その変位量に有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

遠心変位量は、100 g 荷重時に右側は $19.9 \sim 66.8 \mu$ の範囲内で平均 $32.4 \pm 14.8 \mu$ 、左側は $13.4 \sim 47.5 \mu$ の範囲内で平均 $28.9 \pm 11.1 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $30.8 \sim 103.9 \mu$ の範囲内で平均 $48.2 \pm 23.3 \mu$ 、左側は $20.9 \sim 68.4 \mu$ の範囲内で平均 $45.4 \pm 17.1 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $35.2 \sim 125.2 \mu$ の範囲内で平均 $59.2 \pm 28.6 \mu$ 、左側は $21.2 \sim 94.7 \mu$ の範囲内で平均 $56.5 \pm 23.6 \mu$ であった。

b) 側切歯

遠心変位量は、100 g 荷重時に右側は $15.5 \sim 29.7 \mu$ の

図 20-a) 遠心方向荷重時の下顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 20-b) 遠心方向荷重時の下顎前歯の遠心変位量
(A,B,C: 前述)

範囲内で平均 $22.2 \pm 4.5 \mu$, 左側は $12.2 \sim 31.1 \mu$ の範囲内で平均 $22.0 \pm 5.4 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $27.1 \sim 52.4 \mu$ の範囲内で平均 $37.9 \pm 8.1 \mu$, 左側は $31.7 \sim 46.4 \mu$ の範囲内で平均 $37.1 \pm 4.5 \mu$, 500 g 荷重時に右側は $36.9 \sim 64.3 \mu$ の範囲内で平均 $49.7 \pm 11.2 \mu$, 左側は $40.4 \sim 54.1 \mu$ の範囲内で平均 $45.8 \pm 4.8 \mu$ であった。

c) 犬齒

遠心変位量は, 100 g 荷重時に右側は $10.4 \sim 21.6 \mu$ の範囲内で平均 $14.7 \pm 3.7 \mu$, 左側は $7.0 \sim 24.7 \mu$ の範囲内で平均 $13.3 \pm 5.2 \mu$, 300 g 荷重時に右側は $14.0 \sim$

37.6 μ の範囲内で平均 24.9 $\pm$ 7.6 μ , 左側は 14.1~39.0 μ の範囲内で平均 22.3 $\pm$ 8.4 μ , 500 g 荷重時に右側は 19.6~48.2 μ の範囲内で平均 34.9 $\pm$ 8.5 μ , 左側は 22.9~49.7 μ の範囲内で平均 31.1 $\pm$ 9.0 μ であった。

5. 根尖方向荷重時の変位量

i 上顎前歯について

図 21 a) に根尖方向荷重時の上顎被験歯の 3 次元的動態測定の結果を示す。

変位方向についてみると，すべての被験歯は根尖方向へ変位したが，唇舌および近遠心方向への変位傾向は各

図 21-a) 根尖方向荷重時の上顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 21-b) 根尖方向荷重時の上顎前歯の根尖変位量
(A,B,C: 前述)

被験歯により異なった。変位量についてみると、根尖方向変位量は荷重が増すと増加したが、唇舌・近遠心方向への変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 21 b) に 8 名の被験者の荷重方向である根尖方向変位量は平均を示す。中切歯が最も大きく、右側では側切歯・犬歯の順で、左側では犬歯・側切歯の順で小さくなる傾向を示したが、左右同名歯の変位量に有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

根尖方向への変位量は、100 g 荷重時に右側は $16.2 \sim 43.7 \mu$ の範囲内で平均 $26.2 \pm 8.2 \mu$ 、左側は $16.6 \pm$

64.7μ の範囲内で平均 $31.9 \pm 17.9 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $23.7 \sim 59.3 \mu$ の範囲内で平均 $40.6 \pm 11.9 \mu$ 、左側は $24.4 \sim 88.5 \mu$ の範囲内で平均 $48.1 \pm 21.4 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $24.8 \sim 70.8 \mu$ の範囲内で平均 $48.6 \pm 13.2 \mu$ 、左側は $29.6 \sim 94.2 \mu$ の範囲内で平均 $57.2 \pm 23.4 \mu$ であった。

b) 側切歯

根尖方向への変位量は、100 g 荷重時に右側は $12.2 \sim 34.1 \mu$ の範囲内で平均 $19.3 \pm 8.1 \mu$ 、左側は $7.8 \sim 21.4 \mu$ の範囲内で平均 $14.0 \pm 5.4 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $14.8 \sim 49.4 \mu$ の範囲内で平均 $27.7 \pm 11.6 \mu$ 、左側は

図 22-a) 根尖方向荷重時の下顎前歯の変位
(A,B,C: 前述)

図 22-b) 根尖方向荷重時の下顎前歯の根尖変位量
(A,B,C: 前述)

16.3~31.3 μ の範囲内で平均 $24.4 \pm 5.1 \mu$, 500 g 荷重時に右側は 14.9~67.1 μ の範囲内で平均 $35.7 \pm 16.8 \mu$, 左側は 21.2~46.7 μ の範囲内で平均 $32.0 \pm 7.4 \mu$ であった。

c) 犬歯

根尖方向への変位量は, 100 g 荷重時に右側は 5.2~25.3 μ の範囲内で平均 $12.9 \pm 6.5 \mu$, 左側は 10.6~27.0 μ の範囲内で平均 $16.7 \pm 5.0 \mu$, 300 g 荷重時に右側は 12.7~36.2 μ の範囲内で平均 $21.3 \pm 8.2 \mu$, 左側は 19.3~36.4 μ の範囲内で平均 $27.7 \pm 5.6 \mu$, 500 g 荷重時に右側は 14.4~37.1 μ の範囲内で平均 $25.2 \pm 8.2 \mu$, 左側は 21.7~49.1 μ の範囲内で平均 $33.2 \pm 8.4 \mu$

であった。

ii 下顎前歯について

図 22 a) に根尖方向荷重時の下顎被験歯の 3 次元的動態測定の結果を示す。

変位方向についてみると, すべての被験歯は根尖方向へ変位したが, 唇舌および近遠心方向への変位傾向は各被験歯により異なった。変位量についてみると, 根尖方向変位量は荷重が増すと増加したが, 唇舌・近遠心方向への変位量は必ずしもその傾向を示さなかった。

図 22 b) に 8 名の被験者の荷重方向である根尖方向変位量の平均を示す。左側犬歯 500 g 荷重時を除いて, 変位量は, 中切歯・側切歯・犬歯の順で小さくなる傾向を

示した。また、左右同名歯の変位量には類似性がみられ、有意な差はみられなかった。

a) 中切歯

根尖方向への変位量は、100 g 荷重時に右側は $11.6 \sim 30.5 \mu$ の範囲内で平均 $18.3 \pm 6.0 \mu$ 、左側は $15.2 \sim 28.7 \mu$ の範囲内で平均 $19.8 \pm 4.4 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $18.2 \sim 36.7 \mu$ の範囲内で平均 $27.2 \pm 6.3 \mu$ 、左側は $25.8 \sim 41.0 \mu$ の範囲内で平均 $30.6 \pm 5.3 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $18.9 \sim 48.5 \mu$ の範囲内で平均 $35.2 \pm 8.6 \mu$ 、左側は $27.8 \sim 54.3 \mu$ の範囲内で平均 $39.6 \pm 8.1 \mu$ であった。

b) 側切歯

根尖方向への変位量は、100 g 荷重時に右側は $11.0 \sim 30.0 \mu$ の範囲内で平均 $17.6 \pm 6.5 \mu$ 、左側は $10.8 \sim 19.4 \mu$ の範囲内で平均 $16.3 \pm 2.4 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $18.2 \sim 42.1 \mu$ の範囲内で平均 $25.9 \pm 8.7 \mu$ 、左側は $16.1 \sim 30.3 \mu$ の範囲内で平均 $22.1 \pm 4.8 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $19.6 \sim 45.9 \mu$ の範囲内で平均 $29.3 \pm 9.0 \mu$ 、左側は $18.8 \sim 34.6 \mu$ の範囲内で平均 $27.2 \pm 4.9 \mu$ であった。

c) 犬歯

根尖方向への変位量は、100 g 荷重時に右側は $8.3 \sim 20.3 \mu$ の範囲内で平均 $12.9 \pm 4.4 \mu$ 、左側は $7.1 \sim 15.8 \mu$ の範囲内で平均 $13.3 \pm 2.8 \mu$ 、300 g 荷重時に右側は $12.7 \sim 30.7 \mu$ の範囲内で平均 $21.4 \pm 5.5 \mu$ 、左側は $12.5 \sim 28.1 \mu$ の範囲内で平均 $21.1 \pm 5.0 \mu$ 、500 g 荷重時に右側は $15.6 \sim 36.0 \mu$ の範囲内で平均 $26.2 \pm 5.9 \mu$ 、左側は $16.3 \sim 44.0 \mu$ の範囲内で平均 $29.6 \pm 8.2 \mu$ であった。

IV. 考 察

1. 研究方法について

i 測定装置について

歯の動揺度測定は、従来より数多くの研究^{1-9, 11-18)}がなされてきたが、(1) 測定方向が限られる、(2) 接触圧を有する、(3) 装置が大きく口腔内の使用に耐えないなど、数々の問題を有していた。

最近、非接触型のセンサーを応用した装置¹²⁻¹⁵⁾を使用することにより、このような問題点が改善されてきた。ここ数年、歯の3次元的動態に対する研究が必要と考えられるようになってきたが²⁴⁾、装置の大きさや測定の困難さなどのためにいまだにこれは果たされておらず、現在、生活歯の3次元的動きを追求する一手段とし

図 23 変位測定装置の口腔内装着時の安定度

て、レーザホログラフィによる模型実験^{17, 18)}や青木²⁵⁾の衝撃付加時の臼歯部の加速度による動的挙動の研究などがあるのみである。

そこで、生体において、歯の動態を3次元的に測定するため、著者が考案、作製した微小変位測定装置は、口腔内で使用可能な小型で、温度および湿度に対する影響が少なく安定性があり、頭部や下顎の動揺による影響を考慮しなくてもよいホール素子²⁶⁾を使用した。

測定装置検出部大きさは、 $11 \text{ mm} \times 11 \text{ mm} \times 7.5 \text{ mm}$ であり、口腔内で十分使用できる大きさであるが、臼歯部には使用不能であり、今回は前歯部のみの測定を行った。

本装置の測定範囲は、唇舌および近遠心方向に $\pm 150 \mu$ 、歯軸方向に $\pm 200 \mu$ であり、その範囲内における最大誤差は 2.0μ であったが、従来のものと比較して、使用するにあたっては十分な性能を有するものと考えられる。

装置の固定には、荷重時の影響が極力伝わらないように、測定歯の同顎反対側臼歯列を使用し、インプレッションペーストにて固定したが、図 23 に示すように口腔内でも安定しており、固定装置の動揺は、ほとんど無視してよいものと考えられる。

温度、湿度試験として、検出部を室温 (約 20°C) と 40°C 水中に交互に 5 分間ずつ放置して影響を調べたが、その影響はみられなかった。

ii 荷重について

a) 荷重装置

今回の測定は、上下顎前歯であるため、歯軸方向が比較的わかりやすく、荷重装置に単一な板バネを用いるこ

表 2 唇側方向荷重時の変異係数

荷重量 (g)	歯 種	3	2	1	1	2	3
	変位方向						
100	唇 舌 方 向	37	44	32	39	17	20
	近 遠 心 方 向	166	608	317	77	86	90
	歯 軸 方 向	37	35	36	36	20	19
300	唇 舌 方 向	26	36	23	30	23	17
	近 遠 心 方 向	173	104	303	61	97	91
	歯 軸 方 向	28	37	22	27	20	20
500	唇 舌 方 向	25	32	19	29	24	16
	近 遠 心 方 向	194	775	200	52	108	110
	歯 軸 方 向	29	33	20	25	21	24
荷重量 (g)	歯 種	3	2	1	1	2	3
	変位方向						
100	唇 舌 方 向	33	25	24	10	32	23
	近 遠 心 方 向	58	296	160	524	224	70
	歯 軸 方 向	37	25	25	10	35	30
300	唇 舌 方 向	30	17	21	12	24	19
	近 遠 心 方 向	60	477	147	223	238	72
	歯 軸 方 向	33	13	20	15	24	30
500	唇 舌 方 向	26	16	18	15	21	21
	近 遠 心 方 向	77	514	419	220	221	75
	歯 軸 方 向	28	12	20	13	19	22

(%)

とにより、板バネと歯軸を極力平行・垂直に保ちやすい形態で測定を行った。

また、ストレングージを使用することにより、きわめて再現性および直線性が良好な結果が得られ、500 g を越えるまで連続した荷重を負荷することができた。

b) 荷重方法

歯の動揺度を測定する際、荷重量と変位量の関係のほかに時間という要素を考えることは大切なことである。本実験における荷重は、1～2 秒間荷重を負荷した後に瞬間的に荷重を取り除くという、いわゆる単純荷重を行った。

倉島¹⁰⁾や管野²⁸⁾は、正常な歯周組織を有する歯でも、除重後しばらくの間、原位置まで完全に復帰できずに残留変位が残ると報告しており、本実験では、各荷重は3分以上の間隔をあげ、極力残留変位の少ない状態で行っ

た。

加藤²⁹⁾は、生理的動揺は各個人や歯種により差が著しく、同一人の同一歯においても測定時間により変動し、朝起床時と夕方の動揺度を比較すると、朝起床時の方が大きいと述べている。そこで、本実験では、測定時間を一定とするために、測定は常に午後6時前後に行った。

2. 結果について

正常な歯周組織に何らかの病変が起こった場合、唇舌方向の動揺が著しく増加するだけでなく、近遠心および歯軸方向の動揺も認められるようになる。しかしながら、従来、歯の動揺度測定は、唇(頬)舌方向の測定^{5,7,10,27,30-33)}、歯軸方向の測定^{5,34-37)}が多く、近遠心方向の測定^{34,38-40)}を行った報告は少ない。

歯周組織の健康度を判定し、補綴処置を行う上での診

表 3 舌側方向荷重時の変異係数

荷重量 (g)	歯 種		3	2	1	1	2	3
	変位方向							
100	唇 舌 方 向		26	26	23	34	23	23
	近 遠 心 方 向		356	179	142	309	185	352
	歯 軸 方 向		42	34	31	35	33	32
300	唇 舌 方 向		22	23	22	34	14	22
	近 遠 心 方 向		40×10 ²	287	125	404	463	347
	歯 軸 方 向		37	30	30	33	25	30
500	唇 舌 方 向		20	23	23	35	13	24
	近 遠 心 方 向		35×10 ²	458	114	378	13×10 ³	248
	歯 軸 方 向		33	30	32	33	20	30
荷重量 (g)	歯 種		3	2	1	1	2	3
	変位方向							
100	唇 舌 方 向		24	30	23	20	30	27
	近 遠 心 方 向		368	379	650	197	168	233
	歯 軸 方 向		28	32	22	26	30	34
300	唇 舌 方 向		17	28	20	16	25	27
	近 遠 心 方 向		18×10 ²	78×10 ²	514	171	163	644
	歯 軸 方 向		21	30	23	21	25	34
500	唇 舌 方 向		17	29	19	15	24	28
	近 遠 心 方 向		271	606	354	160	192	113
	歯 軸 方 向		21	30	17	19	22	34

(%)

断基準とし、処置後も正常な歯周組織を維持するためにも、唇舌・歯軸方向への荷重に加え、近遠心方向への荷重時の変位量の測定を合わせて行うことは重要である。そこで、今回作製した測定装置を用いることにより、同一条件下での3次元的な測定が可能となったため、唇舌・近遠心・根尖の各方向への荷重を行った。

i 唇舌方向荷重

唇舌方向荷重時の測定結果をみると、唇側方向荷重時には唇側・根尖方向へ、舌側方向荷重時には舌側・切縁方向に変位したが、近遠心方向への変位には、方向・量ともに唇舌方向荷重に違いはみられず、各被験歯により異なった変位がみられた。荒木²²⁾によると、歯の相対的接触圧は常に存在し、上顎前歯部では0.90~23.47 g、下顎前歯部では0.12~12.49 gの範囲であったと述べており、飯原¹⁸⁾は、レーザホログラフィによる下顎左側犬

歯から第2大臼歯までの3次元的動きに関する研究を行った中で、接触強さの異なるモデルにおいて、被荷重歯は接触圧により、近遠心方向への変位が抑制されると述べている。本測定において、近遠心的変位量が、各被験歯ごとに異なったのはそのことが原因と推察される。

唇側方向荷重時の上下顎被験歯の唇側変位量および舌側方向荷重時の下顎被験歯の舌側変位量は、中切歯・側切歯・犬歯の順で小さくなる傾向を示したが、舌側方向荷重時での上顎被験歯の舌側変位量は、犬歯が最も小さな値を示したが、中切歯、側切歯の値にはっきりした順はみられなかった。藤田⁴¹⁾によれば、日本人の歯根長の平均は、上顎で中切歯 12.1 mm、側切歯 12.2 mm、犬歯 14.5 mm であり、中切歯と側切歯の歯根長に差はほとんどみられない。下顎では中切歯 10.8 mm、側切歯 12.0 mm、犬歯 13.6 mm である。また、末高³⁴⁾は、各歯別に

表 4 近心方向荷重時の変異係数

荷重量 (g)	歯種 変位方向	3	2	1	1	2	3
		3	2	1	1	2	3
100	唇舌方向	87	353	85	808	75×10^2	47
	近遠心方向	71	19	45	35	37	37
	歯軸方向	392	879	148	189	139	103
300	唇舌方向	119	242	89	280	942	49
	近遠心方向	58	22	40	25	27	32
	歯軸方向	280	779	136	290	214	140
500	唇舌方向	154	245	93	269	16×10^2	51
	近遠心方向	53	20	37	25	30	29
	歯軸方向	12×10^2	12×10^2	132	308	214	165
荷重量 (g)	歯種 変位方向	3	2	1	1	2	3
		3	2	1	1	2	3
100	唇舌方向	154	44	206	159	86	40
	近遠心方向	33	34	39	37	28	31
	歯軸方向	10×10^2	48	389	87	105	362
300	唇舌方向	94	18	152	129	71	50
	近遠心方向	33	28	33	34	31	29
	歯軸方向	18×10^2	47	389	114	75	343
500	唇舌方向	115	20	158	121	66	54
	近遠心方向	33	32	33	35	29	31
	歯軸方向	45×10^3	64	84	106	60	216

(%)

みた歯根長の傾向は、上顎犬歯>下顎犬歯>上顎側切歯>下顎側切歯>上顎中切歯>下顎中切歯であると述べている。その中で、歯根長をその長さにより分類し、歯の動揺度との関係をみているが、いずれも歯根長が増加するにつれて、動揺度は減少する傾向があると述べている。本測定値からも、各歯別の荷重方向への変位量と歯根長との関連が推察された。

ii 近遠心方向荷重

近遠心方向荷重時の測定結果をみると、近心方向荷重では近心に変位し、遠心方向荷重では遠心に変位した。飯原¹⁸⁾は、歯の接触強さ、位置を変化させることにより、被荷重歯の隣接歯の3次元的な変位に変化が生じたとして、歯の隣接接触関係と歯の動きの関連性を示唆したが、本測定結果においても唇舌・歯軸方向の変位は、方向および量ともに各被験歯により異なる結果を示した。

近遠心方向への変位量についてみると、近心および遠心変位量は、上顎被験歯で中切歯が最も大きな値を示し、ついで犬歯であり側切歯は最も小さな値を示したが、この原因については不明であり、今後さらに詳細な検討を要するものと思われる。下顎被験歯では、中切歯・側切歯・犬歯の順で小さな値を示した。

iii 根尖方向荷重

根尖方向荷重により、上下顎被験歯はすべて根尖方向に変位したが、唇側・近遠心方向への変位には、方向および量ともに各被験歯により異なった変位がみられた。やはり、接触点の位置¹⁸⁾、接触強さ²²⁾、および歯根膜線維の誘導²⁹⁾などによるものと思われる。

根尖方向への変位量についてみると、上下顎歯ともに中切歯が最も大きな値を示し、側切歯、犬歯の順で小さな値を示した。

表 5 遠心方向荷重時の変異係数

荷重量 (g)	歯種 変位方向	3	2	1	1	2	3
100	唇舌方向	106	221	248	51	124	66
	近遠心方向	56	39	75	65	35	45
	歯軸方向	119	119	115	75	78	243
300	唇舌方向	58	149	203	51	18	59
	近遠心方向	43	37	65	49	43	39
	歯軸方向	66	96	66	51	142	188
500	唇舌方向	36	161	169	58	18	49
	近遠心方向	39	36	59	44	41	38
	歯軸方向	45	99	68	108	96	213
荷重量 (g)	歯種 変位方向	3	2	1	1	2	3
100	唇舌方向	79	308	131	129	544	975
	近遠心方向	25	20	46	38	25	39
	歯軸方向	108	160	57	181	107	455
300	唇舌方向	96	393	132	117	338	581
	近遠心方向	31	21	48	38	12	38
	歯軸方向	126	313	56	120	83	14×10 ²
500	唇舌方向	100	320	116	105	265	389
	近遠心方向	24	23	48	42	10	29
	歯軸方向	122	373	49	101	100	374

(%)

黒川⁴²⁾は、歯に加わる圧の強さ、歯根膜の厚さと歯根膜線維の傾斜の3者の間には深い関係があり、歯根膜の厚さは、犬歯>側切歯>中切歯で、歯根膜線維の歯軸に対する傾斜は、犬歯>側切歯>中切歯であると述べている。つまり垂直圧に対する各歯別の耐性は、犬歯>側切歯>中切歯であり、本測定結果においても、そのような傾向を示したものと思われる。

Körber⁴³⁾は、唇舌および歯軸方向に力を加えると、その歯は歯根膜内で無原則に動くのではなく、コラーゲン線維の機能的な配列に従って一定の限界運動を描き、荷重方向が30度まで変わっても限界運動路の再現性は非常に高いと述べており、五十嵐⁴⁴⁾も同様な結果を述べている。今回の唇舌および歯軸方向荷重時の測定結果を見ると、やはり荷重方向と変位方向は一致せず、一定の運動路を描く結果となった。

そこで、今回の結果について、各荷重時における3方向の変位に対する変異係数を求めた(表2~6)ところ、唇舌方向荷重時では近遠心方向を除いて、唇舌および歯軸方向の係数は小さく、唇舌および歯軸方向からなる平面上で、歯は一定の運動路を描いて動くことが示唆された。そして、近遠心方向および歯軸方向荷重時の変異係数をみると、各々、荷重方向と一致した方向のみが小さな係数を示したが、近遠心方向荷重時の近遠心方向の係数は、他方向の荷重時の荷重方向の変異係数(表2, 3, 6)と比較すると、若干大きな値を示した。

以上のことから、歯の動揺度の定量的な測定は、歯軸方向荷重時には歯軸方向の変位量の測定を行えばよく、唇舌方向の荷重時には荷重方向に加えて歯軸方向の2次元からの測定を必要とすることが示唆された。また、近遠心方向荷重は歯軸方向と同様、荷重方向で変位量の測

表 6 根尖方向荷重時の変異係数

荷重量 (g)	歯 種	3	2	1	1	2	3
	変位方向						
100	唇 舌 方 向	16×10^2	562	84	87	771	829
	近 遠 心 方 向	235	112	488	129	86	364
	歯 軸 方 向	50	42	31	56	39	30
300	唇 舌 方 向	83×10^2	791	81	59	102	520
	近 遠 心 方 向	203	213	311	99	73	26×10^2
	歯 軸 方 向	38	42	29	44	21	20
500	唇 舌 方 向	17×10^2	418	72	60	278	447
	近 遠 心 方 向	288	243	400	101	64	32×10^2
	歯 軸 方 向	33	47	27	47	23	25
荷重量 (g)	歯 種	3	2	1	1	2	3
	変位方向						
100	唇 舌 方 向	285	188	264	221	223	279
	近 遠 心 方 向	90	96	520	213	19×10^2	227
	歯 軸 方 向	34	37	33	22	15	21
300	唇 舌 方 向	250	144	300	117	277	309
	近 遠 心 方 向	75	103	180	800	14×10^2	155
	歯 軸 方 向	26	34	23	17	22	24
500	唇 舌 方 向	261	169	852	107	384	420
	近 遠 心 方 向	76	111	174	452	11×10^2	149
	歯 軸 方 向	23	31	24	20	18	28

(%)

定を行えばよいが、その結果はばらつきの多いことが示唆された。

V. 結 論

本実験は、顎口腔系に特に異常が認められず、健康な歯周組織を有し、歯および歯列がほぼ健康者と判定した被験者 8 名の上下顎前歯について、3 次元微小変位測定装置を用いて、唇側・舌側・近心・遠心・根尖方向にそれぞれ荷重した時の歯の動態測定を行い、種々の検討を加えたものである。その結果、次の結論を得た。

1. 本測定装置により、荷重時の上下顎前歯について、3 次元的な動態の測定が可能であった。
2. すべての上下顎前歯は、唇側方向荷重で唇側・根尖方向に変位し、舌側方向荷重では舌側・切縁方向に変

位した。さらに近遠心および根尖方向荷重では、荷重方向に変位した。しかしながら、その他の方向への変位は、各歯牙により異なった様相を示した。

3. 単純荷重時の上下顎前歯の 3 次元的動態は、左右ほぼ類似した傾向を示した。なお荷重方向への変位量は、左右同名歯間で 5% の危険率で有意な差がみられなかった。

4. 上顎前歯において、荷重方向への変位量は、唇側方向荷重時および根尖方向荷重時には、中切歯>側切歯>犬歯、近遠心方向荷重時には、中切歯>犬歯>側切歯の順となったが、舌側方向荷重時には中切歯が最も大きな値を示したものの、側切歯および犬歯にはっきりした順はみられなかった。

5. 下顎前歯において、各荷重時の荷重方向への変位量は、すべて中切歯>側切歯>犬歯という傾向を示した。

稿を終わるに臨み、本研究に終始ご懇篤なるご指導、ご校閲を賜った竹花庄治教授に深甚なる謝意を表するとともに、研究に種々のご援助、ご協力をいただきました第三歯科補綴学教室諸先生ならびに被験者の方々に深謝いたします。

文 献

- Mühleman, H.R.: Periodontometry, A Method for Measuring Tooth Mobility, Oral Surg. Oral Med. and Oral Pathol., 4: 1220~1233, 1951.
- 木村一雄, 石橋真澄: ダイヤルゲージを応用した歯牙動揺度測定器について, 口病誌, 19: 1~3, 1952.
- Picton, D.C.A.: A Method of Measuring Physiological Tooth Movements in Man, J. Dent. Res, 36: 814, 1957.
- 松元 誠, 梶井 徹: 歯牙動揺度測定装置の試作とその補綴臨床における応用について (作動精度と応用域について), 補綴誌, 11: 48~61, 1967.
- 後藤建機: 歯牙の生理的動揺に関する実験的研究, 歯科学報, 71: 1415~1444, 1971.
- 加藤 薫, 石田哲彦: 歯の動揺度に関する研究, (1) 箔ストレンゲージを応用した臼歯の動揺度測定装置について, 日歯周誌, 20: 48~55, 1978.
- 田中柳司: 歯の動揺度に関する研究 ヒトの小白歯および大白歯の生理的動揺度の測定について, 日大歯学, 53: 693~702, 1979.
- Hofmann, M.: Ein Gerät zur Quantitiven und Qualitativen Bestimmung der Bewegungsbahn des Zahnes, D.Z.Z., 17: 721~732, 1962.
- Mühlemann, H.R., Rateitschak, K.H.: Mechanische und Elektronische Zahnbeweglichkeitsmessungen, D.Z.Z., 18: 1352~1359, 1963.
- 倉島晃一: 歯周組織の力学的性状に関する研究 (とくに歯根膜および歯槽骨について), 口病誌, 30: 167~191, 1963.
- 菅野博之: 電気マイクロメーターを応用した歯の動揺度測定器について, 日歯周誌, 17: 234~237, 1975.
- Körber, K.H.: Die Elastische Deformierung Menschlicher Zähne, D.Z.Z., 17: 691~698, 1962.
- Heners, M.: Elektronische Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit des okkulsaren Traumas, D.Z.Z., 32: 433~436, 1977.
- Siebert, G. et al.: Zur Kinematik von Pfeilerzähnen bei Teilprothesenträgern, D.Z.Z., 33: 505~511, 1978.
- 五十嵐順正, 藍 稔: 非接触微小変位センサーによる歯の動態観察 第1報 装置の概要と測定方法, 補綴誌 24: 457~469, 1980.
- 加藤 均: 歯周組織の機能状態に関する研究 第1報 2次元微小変位計, 補綴誌, 25: 733~745, 1981.
- 吉田 薫: 歯の3次元的動きに関する研究, ホログラフイによる模型実験, 補綴誌, 20: 173~195, 1976.
- 飯原 仁: 歯の3次元的動きに関する研究, 種々の隣接接触関係における模型実験, 補綴誌, 24: 171~192, 1980.
- 荻田訓久: 非接触型3次元微小変位測定装置の試作について, 補綴誌, 26: 866, 1982.
- 永田 穰: IC 演算増幅器とその応用, 131~134, 日刊工業新聞社, 東京, 1977.
- 角田秀夫: オペアンプの基本と応用, 4~6, 東京電氣大学出版局, 東京, 1978.
- 荒木章純: 天然歯列における隣接歯間の接触関係に関する研究, 補綴誌, 24: 575~591, 1980.
- 富士川善彦: 天然歯列弓における歯冠傾斜角度及び捻転角度の研究, 口病誌, 25: 475~494, 1958.
- 竹花庄治, 永田一夫: 歯の衝撃に対する歯周組織の応答, 歯科ジャーナル, 17: 535~541, 1983.
- 青木洋三: 衝撃による臼歯部健全歯の動的挙動について, 補綴誌, 27: 130~149, 1983.
- 山内雅司: 空口時および咀嚼時の下顎の垂直的変動に関する研究, 補綴誌, 26: 1218~1235, 1982.
- 加藤 薫: 歯の動揺度 (上), 臨床的ならびに基礎的な歯周組織の力学的研究, 歯界展望, 48: 529~539, 1976.
- 菅野博之: 歯の動揺に関する研究 I. 除重後の歯の原位置への復帰の様相について, 日歯周誌, 17: 283~244, 1975.
- 加藤 薫: 歯の動揺度 (中), 臨床的ならびに基礎的な歯周組織の力学的研究, 歯界展望, 48: 679~691, 1976.
- 石橋真澄: 歯牙の動揺に関する実験的研究 (第1報) 荷重と動揺との関係について, 口病誌, 20: 187~191, 1953.
- 梶井 徹: 新しい装置による歯の生理的動揺の大きさとその性質について, 補綴誌, 11: 129~151, 1967.
- 鎌谷幹浩: 歯の動揺度に関する研究, 臼歯における歯槽骨の吸収と動揺との関係について, 日大歯学, 54: 571~587, 1980.
- 末高英世: 歯の動揺度に関する研究, 前歯における歯根長と動揺度との関係について, 日大歯学, 55: 394~406, 1981.
- 石橋真澄: 歯牙の動揺に関する実験的研究 (第4報) (歯牙動揺の立体的観察), 口病誌, 25: 31~35, 1958.
- Parfitt, G.J.: Measurement of the Physiological Mobility of Individual Teeth in An Axial Direction, J. Dent. Res., 39: 608~618, 1960.

- 36) Picton, D.C.A. : Tilting Movements of Teeth during Biting, Arch. Oral., Biol., 7 : 151~159, 1962.
- 37) 横田 晟 : 歯根膜及び歯槽骨の生物力学的性状に関する研究 (歯の長軸方向に対して), 九州歯誌, 28 : 485~510, 1975.
- 38) Rehm, H., Körber, E. und Körber, K.H. : Biophysikalischer Beitrag zur Problematik Starr Abgestützte Freidendprothesen, D.Z.Z., 17 : 963~975, 1962.
- 39) 横田成三, 他 : 歯間接触力に関する研究, 日矯歯誌, 25 : 83~88, 1966.
- 40) 安永 博 : 隣接面接触関係から見た歯列の近遠心方向の生力学的挙動, 九州歯誌, 28 : 605~623, 1975.
- 41) 藤田恒太郎 : 歯の解剖学, 134~145, 金原出版, 東京, 1974.
- 42) 黒川博行 : 成人歯根膜の厚さと線維の走行方向, 日組織記, 1 : 227~230, 1950.
- 43) Körber, K.H. : Zahnärztliche Prothetik, Bd I, Georg Thieme, Stuttgart, 1975.
- 44) 五十嵐順正, 他 : 非接触微小変位センサーによる歯の動態観察 第2報 種々の観察例, 補綴誌, 25 : 295~303, 1981.