原著論文

歯牙の動揺に関する二次元的解析

湯浅慶一郎 近常 正 大平 洋志 中沢 章
高橋 俊之 腰原 好 羽賀 通夫

A Study on two Dimensional Tooth Mobility

Keiichiro Yuasa, Tadashi Chikatsune, Hiroshi Oohira, Akira Nakazawa,
Toshiyuki Takahashi, Yoshimi Koshihara and Michio Haga

Abstract: Tooth mobility was measured with the use of a two-dimensional displacement measuring system. This small-sized system can measure the displacement both in the direction of the tooth axis and the buccolingual direction simultaneously with no contact. As test teeth, lower right first premolars with no clinical mobility were examined. The load was applied from the lingual to the buccal direction, to the vertical direction as well as from the buccal to the lingual direction.

The results obtained were as follows :

1. This system possesses sufficient accuracy and reproducibility for tooth mobility measurement (measurement range 500 μm , resolving power 1 μm).
2. Most of the load-displacement curves showed diphasic displacement.
3. As to the amount of displacement in the buccolingual direction, 3 of 8 cases showed greater values by the load in the buccal direction and the remaining 5 by the load in the lingual direction.
4. As to the displacement direction of loaded teeth, the lingual and buccal load displaced teeth to the lingual-coronal and buccal-radicular directions respectively. Teeth under the vertical load were displaced almost to the radicular and slightly to the buccal direction.
5. As to the direction of tooth displacement in relation to load directions, it appeared that the teeth not only rotated within the dental sockets but also indented or extruded into the dental sockets.

Key words: tooth mobility, noncontact displacement meter, static load, two-dimensional displacement, load-displacement curve

I. 結 言

日常臨床において、歯周組織の状態、ことに歯牙の動揺の程度を的確に把握することは、顎口腔系諸機能の回復を目的とする歯科補綴学領域において非常に重要なことである。従来より行われている手指およびピンセット等による歯牙の動揺度測定法は、簡便である反面、感覚的なものであり、術者の主観に左右されやすく、微妙な動揺度の変化が判別できない等の欠点を有している。

客観的な動揺度の測定に関しては、1951年、Mühlemann¹⁾によってダイヤル・ゲージを応用した歯牙動揺度測定装置が考案されており、以来、多くの研究者が歯牙の動揺について研究を行っている²⁻⁵⁾。しかしながら、これらは一次的なものが多く、二次元的な計測を行っているものは少なく、非接触式の変位計で、歯軸、頬舌方向の変位を同時に測定した研究はほとんどない。しかし、機能時の歯牙の運動様相を的確に観察するためには、二次元的な測定が望ましく、近年では、五十嵐ら⁶⁾、加藤ら^{7,8)}が発表を行っており、幸阪⁹⁾は近遠心、頬舌方向の変位について発表を行っている。

また、歯牙の動揺度測定は、デンタルインプラント法における予後判定にも有効な手段として考えられており、瀧川ら¹⁰⁾はペリオテスト (SIEMENS 社製) を用いてその測定を行っている。

われわれは歯牙の動揺に関して、静的な荷重^{11,12)}と動的な荷重¹³⁾の双方からのアプローチを行っているが、今回は、二次元変位測定システムを用いて、静的な荷重による動揺度測定の臨床応用への可能性について検討を行った。

II. 研究方法

1. 実験の概略

被験者の下顎歯列の印象採得、模型調整を行い、パラレロメーターを用いて歯列模型上にてターゲットの位置決めおよび治具の製作を行った。ターゲットと治具を口腔内にシアノアクリレート系接着剤にて固定し、計測を行い、同時にデータレコーダーに記録し、その数値を読み取り、変位量とした。そして、X-Y レコーダーにて荷重-変位曲線、二次元的 X-Y 曲線を描かせた。

2. 被験者および被験歯

被験者は、東京歯科大学医局員および学生のうち、智

図 1 超小型変位計

図 2 測定装置全景

歯を除いて歯質の欠損あるいは欠如がなく、個性正常咬合を有する 20 歳代の男子 8 名である。

被験歯は、歯髄および歯周組織が正常で、X線診断上においても異常が認められず、臨床的に動揺度 0 度と診断される下顎右側第 1 小白歯 8 歯とした。

3. 実験に用いた装置

測定装置は、変位計 (図 1)、デジタル電圧計、データレコーダー、X-Y レコーダーより構成されている (図 2)。

変位計は、非接触型渦電流方式の KAMAN 社製 MODEL KD-2300 0.5 SU で、直径 2.0 mm、長径 16.8 mm と超小型である。測定範囲は 500 μ m、分解能は 1 μ m であり、きわめて優秀な性能を有している。これを 2 本直角に組合せることにより、頬舌方向および垂直方

図 3-a X軸変位計校正グラフ

図 3-b Y軸変位計校正グラフ

向の二次元的な歯牙の動きを同時に測定した。また、2つの変位計は、相互に干渉を起こさないように設定した。

実験に先立ち、マイクロメーターを用いて変位計の精度実験ならびに校正を行った。校正装置には三次元微動装置を応用し、可動部にはターゲットを、固定部には変位計を即時重合レジンおよびシアノアクリレート系接着剤を用いて固定した。校正に際しては、まず、ターゲットと変位計の距離を変位計のオフセットギャップ量である $150\ \mu\text{m}$ の距離に設定し、その位置から $50\ \mu\text{m}$ ごとに $500\ \mu\text{m}$ まで校正を行った。図 3-a に、X軸すなわち頬舌方向の測定に用いた変位計の校正グラフを、また図

図 4 変位計取り付け基準

図 5 口腔内取り付け状態

3-b に、Y 軸すなわち垂直方向の測定に用いた変位計の校正グラフを示す。図中、横軸は変位量、縦軸は出力電圧を、また a は本実験に用いた変位計のオフセットギャップを、b は変位計の測定範囲を表す。X 軸および Y 軸方向の変位計について単回帰分析を行った結果、双方ともきわめて高い直線性を示し、相関係数 0.99 以上の強い相関を認めた。また、本実験に用いた X 軸方向の変位計の最大誤差は 0.54% 、Y 軸方向の変位計の最大誤差は 0.50% で、さらに日を異にした計測結果においても相異が認められず、歯牙の動揺度測定に関し、十分な精度と再現性を有するものと判断した。

4. 装置の取り付け基準

変位計の取り付けは、図 4 に示すように、下顎左右側第 2 大臼歯遠心頬側咬頭頂および下顎右側中切歯切端の 3 点により決定される咬合平面を基準とし、これに垂直な方向に Y 軸方向の変位計を取り付け、垂直方向の変位

量を測定した。また、Y軸と下顎右側第1小臼歯近心小窩と第1大臼歯中央窩を結ぶ直線とに垂直な方向にX軸変位計を取り付け、頬舌方向の変位量を測定した。ターゲットの取り付け位置は、下顎右側第1小臼歯頬側面中央、すなわち歯冠高径の1/2、歯冠幅径の1/2の位置とした。位置決めは、口腔内にて直接規定することが困難なため、作業用模型上にて行った。

図5は装置を取り付けた口腔内写真である。変位計の固定源は、下顎右側第1小臼歯の両隣接歯2歯ずつ計4歯に求め、即時重合レジンにて治具を作製し固定した。なお、本装置の口腔内取り付けに際しては、シアノアクリレート系接着剤にて確実に接着、固定した上、アングルワイダーを用いて、頬粘膜、口唇などの影響を受けないようにした。

5. 測定方法および項目

荷重方向は、舌側から頬側方向、頬側から舌側方向、垂直方向の3方向とし、荷重は10秒間で0~500gまでHALDEX AB HALMSTAD 荷重計にて連続的に荷重した。測定項目は、8人の被験者について3方向へ荷重を行った場合のそれぞれ、50, 100, 200, 300, 400, 500g 荷

重時の変位量を測定した。

データは、いったんデータレコーダーに記録した後、再生し、デジタル電圧計にて頬舌方向、垂直方向における変位量を読み取り、各々5回の測定値の平均を測定結果とした。また得られたデータは、X-Yレコーダーにより記録紙上に荷重-変位曲線として描かせた。さらに、頬舌方向をX軸、垂直方向をY軸とした際の前頭面での歯牙の二次元的な変位様相も記録した。

III. 結 果

1. 荷重-変位曲線について

今回実験を行った被験者8名のうち、代表的な荷重-変位曲線をつぎに示す。図6-aは舌側から頬側方向荷重時の頬舌方向の変位の1例で、図6-bは同方向荷重時の垂直方向の変位の1例である。頬舌方向、垂直方向ともに、最初、低荷重領域において荷重量の増加と共に変位量が急激に増加し、約100g荷重付近を変曲部として、緩やかな勾配を示した。なお、他の被験者についても同様なパターンが認められた。

図7-aは頬側から舌側方向荷重時の頬舌方向の変位の

図 6-a 舌側→頬側方向荷重時における頬舌方向変位量 (代表例)

図 6-b 舌側→頬側方向荷重時における垂直方向変位量 (代表例)

図 7-a 頬側→舌側方向荷重時における頬舌方向変位量 (代表例)

図 7-b 頬側→舌側方向荷重時における垂直方向変位量 (代表例)

図 8-a 垂直方向荷重時における頬舌方向変位量 (代表例)

表 1-a 舌側→頬側方向荷重時における頬舌方向変位量 (全被験者)

荷重量 (g)	0	50	100	200	300	400	500
Mean (μm)	0	4	8	11	15	17	19
S.D.	0	2	3	3	4	4	5

表 2-a 頬側→舌側方向荷重時における頬舌方向変位量 (全被験者)

荷重量 (g)	0	50	100	200	300	400	500
Mean (μm)	0	5	10	14	16	19	21
S.D.	0	4	6	8	9	10	11

表 3-a 垂直方向荷重時における頬舌方向変位量 (全被験者)

荷重量 (g)	0	50	100	200	300	400	500
Mean (μm)	0	1	2	3	5	7	8
S.D.	0	3	3	4	4	5	6

図 8-b 垂直方向荷重時における垂直方向変位量 (代表例)

表 1-b 舌側→頬側方向荷重時における垂直方向変位量 (全被験者)

荷重量 (g)	0	50	100	200	300	400	500
Mean (μm)	0	3	7	10	13	15	18
S.D.	0	1	4	5	6	7	8

表 2-b 頬側→舌側方向荷重時における垂直方向変位量 (全被験者)

荷重量 (g)	0	50	100	200	300	400	500
Mean (μm)	0	4	6	9	10	12	14
S.D.	0	4	6	7	7	7	9

表 3-b 垂直方向荷重時における垂直方向変位量 (全被験者)

荷重量 (g)	0	50	100	200	300	400	500
Mean (μm)	0	4	8	11	14	16	18
S.D.	0	3	3	4	4	4	5

1 例で、図 7-b は同方向荷重時の垂直方向の変位の 1 例である。頬舌方向においては、従来より報告されている二相性のパターンを示すグループが多く認められた。しかしながら、被験者の中には、最初、荷重量の増加に対して比較的変位量の増加の割合が少なく、その後、急激に変位量の増加の割合が高くなるものも認められた。垂直方向においては、頬舌方向の変位量と比較すると、変位量にばらつきがあるものが多く認められた。

図 8-a は垂直方向荷重時の頬舌方向の変位の 1 例で、図 8-b は同方向荷重時の垂直方向の変位の 1 例である。垂直方向においては、二相性のパターンを示すグループが多く認められたが、その傾向は弱く、やや直線的に変位量が増加していくものも認められた。頬舌方向においては、変位量にばらつきがあるものも認められた。

つぎに、各方向荷重時の全被験者の変位量の平均値を表 1~3 に示す。表 1-a は舌側から頬側方向荷重時の頬

舌方向の変位量であり、500 g 荷重時の変位量に対する 100 g 荷重時の変位量の割合は 42% を示した。表 1-b は同方向荷重時の垂直方向の変位量であり、その割合は 39% を示した。同様に、表 2-a は頬側から舌側方向荷重時の頬舌方向の変位量であり、変位量の割合は 48% を示し、表 2-b は同方向荷重時の垂直方向の変位量であり、変位量の割合は 43% を示した。さらに、表 3-a は垂直方向荷重時の頬舌方向の変位量であり、変位量の割合は 25% を示し、表 3-b は同方向荷重時の垂直方向の変位量であり、変位量の割合は 44% を示した。このように、3 荷重方向とも二相性の変曲部付近では、全変位量のほぼ 40% 前後の変位を示した。

2. 二次元的変位方向について

図 9 は、頬舌方向を X 軸、垂直方向を Y 軸とした際の、歯牙の二次元的動揺経路の代表例であり、全被験者の変位方向の範囲を X 軸の舌側方向を 0° として、反時計回りに斜線で示した。

舌側から頬側方向荷重時においては、 196° から 232° 、平均 218° の方向で、頬側歯根方向に倒れ込む傾向を示した。頬側から舌側方向荷重時においては、 29° から 48° 、平均 40° の方向に、すなわち、舌側歯冠方向に歯牙が挺出している方向となった。垂直方向荷重時においては、 225° から 251° 、平均 240° の方向で、やや頬側に傾きながら歯根方向に沈み込む傾向を示した。

IV. 考 察

1. 荷重—変位曲線について

1) 荷重に対する変位量について、今回われわれの行った実験では従来より報告されている値よりも低い値が得られた。梶井ら⁹⁾の報告によると、動揺度 0° と判断された健全な下顎第 1 小臼歯の舌側方向への変位量の平均値は、50 g で $9.84 \mu\text{m}$ 、100 g で $15.73 \mu\text{m}$ 、200 g で $22.85 \mu\text{m}$ との報告がある。これに対しわれわれの実験結果では、50 g で $5 \mu\text{m}$ 、100 g で $10 \mu\text{m}$ 、200 g で $14 \mu\text{m}$ であり、変位量に差がある。これは、荷重点の違いによることもあるであろうし、また、低荷重量域における変位量の増加が少ないものが何例かあったために、平均値が低くなったためとも考えられる。また、今回は臨床的応用を考慮したために、固定源となる歯数が 4 歯と多くないことも影響していると考えられる。

2) 歯牙の変位様相を考えると、従来より二相性の考え方が支持されており、一相目は歯根膜主体の粘弾性が

図 9 各方向荷重時における歯牙の動揺経路 (矢印は代表例)

らなる部分、二相目は歯槽骨の弾性変形からなる部分とされている。しかしながら、荷重—変位曲線の変曲点は 50~100 g 荷重付近にあり、その程度の荷重で歯槽骨が大きく変形するとは考えにくい。二相性ということに異論はないが、荷重—変位曲線においては、初めの部分は歯根膜内の血液やリンパ液等の液状成分の移動、脈管の変形部分、つぎに繊維組織等の軟組織の変形部分、さらに歯槽骨の変形による部分と変位していき、歯槽骨の変位は、かなりの部分が高荷重時の変位の中にとりこまれているのではないかと考えられた。

2. 二次元的変位方向について

3 方向から荷重した際の歯牙の二次元的動揺経路は、図 9 に図示した通りであるが、この矢印曲線をみると、単に従来より報告されている回転現象だけではないように思われる。歯牙の植立方向は、上條¹⁴⁾によれば、下顎第 1 小臼歯の場合、下顎底平面に対して平均 96.4° の方向 (今回の測定基準に対応させると 263.6°) に植立しているといわれており、今回の垂直方向荷重時における変位方向とその方向がきわめて近い。よって、歯軸の傾き、すなわち歯槽窩の形態と歯牙の植立状態が、歯牙の変位方向に大きな影響を及ぼしていると思われる。つまり、歯牙は外力が加わった場合に、その外力に対する緩衝体である歯根膜組織と連係して、歯槽窩内で上下動や回転などダイナミックな運動をすることによって、生体

にとって侵襲となる外力を緩衝しているのではないかと考えられた。

V. 結 論

荷重時の歯牙の変位を二次元的に測定するために、渦電流方式の超小型変位計を用いて、下顎右側第 1 小臼歯を被験歯として計測を行った結果、以下の結論を得た。

1. 本実験に用いた二次元変位測定装置は、測定範囲 500 μm 、分解能 1 μm ときわめて優秀な性能であり、校正を行った結果においても高い直線性を示し、歯牙の変位を測定するのに十分な精度と再現性を有していることが分かった。

2. 荷重に対する変位は、臨床的に動揺度 0 度といわれている歯牙でも、被験歯によってはばらつきがみられた。

3. 荷重一変位曲線については、やや直線的に変位するものも認められたが、二相性の変位を示すものがほとんどであった。

4. 頬舌方向における絶対的変位量についてみると、舌側から頬側方向荷重時の方が大きい変位量を示したものが 8 例中 3 例、頬側から舌側方向荷重時の方が大きい変位量を示したものが 8 例中 5 例であった。

5. 荷重に対する歯牙の変位方向について、歯牙は歯槽窩内で単に回転しているだけでなく、歯槽の中に圧入したり挺出したりしている様相がみられた。

文 献

- Mühlemann, H.R.: Die physiologische und pathologische zahnbeweglichkeit, Schweiz Monatschr Zahnneilk, 61: 1~71, 1951.
- 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.
- Picton, D.C.A.: A study of normal tooth mobility and the changes with periodontal disease, The Dental Practitioner and Dental Record, 12: 167~173, 1962.
- 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.
- 後藤健機: 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.
- 五十嵐順正, 藍 稔, 斎藤良一: 非接触微小変位センサーによる歯の動態観察, 第 2 報 種々の動態観察例, 補綴誌, 25: 295~303, 1981.
- 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.
- 加藤 均: 歯周組織の機能状態に関する研究, 第 2 報 臼歯の機能時の変位と安静時の脈動, 補綴誌, 26: 133~147, 1982.
- 幸阪保雄: 歯の動態に関する研究, 下顎歯の水平的変位, 口病誌, 54: 156~174, 1987.
- 瀧川博嗣, 山内六男, 苦瓜明彦, 佐藤文明, 清水真知男, 川野襄二: “ペリオテスト®” の補綴臨床応用に対する検討, 補綴誌, 32: 189~198, 1988.
- 近常 正, 湯浅慶一郎, 大平洋志, 中沢 章, 高橋俊之, 腰原 好, 羽賀通夫: 歯牙の動揺に関する二次元的解析, 第 1 報, 歯科学報, 87: 670~671, 1987.
- 湯浅慶一郎, 近常 正, 大平洋志, 中沢 章, 高橋俊之, 腰原 好, 羽賀通夫: 歯牙の動揺に関する二次元的解析, 第 2 報, 補綴誌, 31 (第 78 回特別号): 139, 1987.
- 中沢 章, 大川秀樹, 湯浅慶一郎, 近常 正, 大平洋志, 腰原 好, 羽賀通夫: 臨床的な歯牙の動揺度測定法に関する研究, 第 1 報, 歯科学報, 88: 710, 1988.
- 上條雅彦: 口腔解剖学, 1. 骨学 (頭蓋学), 195, アナトーム社, 東京, 1969.