原 著 論 文

上下顎臼歯の機能状態に関する研究

—歯の三次元変位—

岡田 大蔵 三浦 宏之 長谷川成男

The Investigation of Upper and Lower Posterior Teeth in Function

—The Three Dimensional Tooth Displacement—

Daizo Okada, Hiroyuki Miura and Shigeo Hasegawa

Abstract : In this investigation, functional displacement of upper and lower molars were revealed using the displacement transducer type M-3. This transducer was invented by Miura in order to reveal three dimensional tooth displacement.

The results were as follows :

1. In general, each upper molar moved in the apical palatal direction while each lower molar moved in the lingual direction.
2. For each upper molar, the amount of displacement varied proportionally depending on the clenching force. The direction of displacement was towards the palatal side.
3. For each lower molar, the amount of displacement varied proportionally depending on the clenching force. The direction of displacement was to the lingual side.
4. The amount of displacement depending on the clenching force was larger in each upper molar than that in each lower molar.
5. It was suggested that the relative position of the upper and lower molars and the relation of their occlusal contacts at the intercuspal position vary depending on the clenching force.

Key words : tooth displacement, three dimensional analysis, clenching force

I. 結 言

歯冠補綴物を長期にわたって機能させるためには、歯周組織をはじめとする顎口腔系と調和するように歯冠形態、咬合接触関係を回復することが重要である。この調和した機能関係を求める一環として、歯周組織の機能状況を表す歯の変位に関する研究が行われてきた。

加藤^{1,2)}、三浦³⁾は歯の変位を、前頭面、水平面についてそれぞれに二次元測定を行い、その変位様相を相当程度ま

で明らかにしてきたが、噛みしめ強度と三次元での変位を関連づけるまでには至っていない。そこで今回は、三次元微小変位計 M-3 型⁴⁾を用いて上下顎大、小臼歯の機能時の変位経路を測定し、噛みしめ強さに伴う歯の変位の動態を解析した。

II. 研究方法

1. 被験者および被験歯

被験者は歯周組織や顎口腔系に特に異常を認めない成年男子 3 名（被験者 A 31 歳、被験者 B 25 歳、被験者 C 24 歳）で、各被験者の上下顎左側第二小臼歯および第一、第二大臼歯の計 6 歯を被験歯とし、各被験歯の頬側面中央部を測定点とした。今回の被験者 3 名に関しては、咬頭嵌合

東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第二講座（主任：長谷川成男教授）
Department of Prosthodontics II, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University (Chief : Prof. Shigeo Hasegawa)
平成 9 年 11 月 28 日受付

図 1 Measurement of tooth movement with displacement transducer Type M-3
三次元微小変位計 M-3 型による歯の変位の測定

図 2 Measurement of occlusal force (shema)
咬合力の測定 (模式図)

位において変位計固定源の動揺に影響を及ぼすような前歯部での咬合接触は存在しなかった。また、被験者の咬頭嵌合位における咬合接触関係をブラックシリコン (Bite-Checker, ジーシー)⁵⁾にて採得した。このとき、咬合力に関しては特に指示を与えなかった。

2. 歯の変位の測定

歯の変位経路の測定は前歯部を固定源として、三次元微小変位計 M-3 型⁴⁾を用いて行った (図 1)。この測定装置は口腔内定位装置、ヘッド部およびアンプ部からなり、測定子だけを被験歯の頬側面に固定する接触型の変位計である。本変位計は近遠心、頬舌、歯軸の 3 方向について相互干渉がなく、ともに $\pm 200 \mu\text{m}$ の範囲内において $\pm 2\%$ の精度で感度方向の変位に対してリニアな出力を示し、歯の変位経路を測定するのに十分な精度を有するものである。

3. 測定項目

以下の 1)~4) の項目について歯の変位経路を測定した。

- 1) 咬頭嵌合位での噛みしめ (軽度および強度噛みしめ)
- 2) 咬合紙 (アーティキュレーティングペーパー赤、ジーシー) 4 枚噛みしめ

(被験者 A, 左側上顎第一大臼歯咬合力測定時)

図 3 An example of the experimental data
実験データの 1 例

3) 咬合紙 8 枚噛みしめ

被験者 B においては、上記の咬合紙の噛みしめを軽度および強度噛みしめに分けて行った。

4) 咬合力計の噛みしめ (図 2)

咬合力計の噛みしめ時の測定は被験者 A についてだけ行い、同時に咬筋中央部の筋活動電位を、表面電極を用いて電極間距離 15 mm にて双極誘導した (図 3)。

4. データ処理方法

変位計、筋電計のアンプ部 (BIOTOP 6 R 12, 日本電気三栄) からの出力、および咬合力計 (咬合力計 MPM-3000, 日本光電工業) からの出力はレクチグラフ (OMNICORDER 8 M 15, 日本電気三栄) でモニタリングすると同時にすべてデータレコーダ (エルカセットデータレコーダ FE-39 A, ソニーマグネスケール) に収録した。データレコーダに収録したデータのうち、変位計の出力をシグナルプロセッサ (シグナルプロセッサ 7 T 17, 日本電気三栄) にサンプリングタイム 2.5 msec で取り込み、前頭面、水平面、矢状面のそれぞれにおける歯の投影変位経路として表示し、解析を行った。また、変位の原点、変位方向および変位量は以下のように定義した。

1) 変位の原点

歯に負荷のかかっていない噛みしめ直前の 250 msec の区間の平均電位をもって原点とした。

2) 変位方向および変位量

(1) 変位方向

・水平面投影角

上下顎ともに原点と変位の終点とを結ぶ直線が、原点において歯の頬側面に対して引いた接線の法線と近心方向になす角度によって表した (図 4)。

・前頭面投影角

上下顎ともに原点と変位の終点とを結ぶ直線が咬合平面と反時計回りになす角度で表した (図 5)。

(2) 変位投影量

水平面、前頭面、矢状面の各平面において原点と変位経

路上の各点との直線距離をすべて求め、そのなかでの最大値を変位量とした。

III. 結 果

1. 咬合接触

いずれの被験者のいずれの被験歯も $30\mu\text{m}$ 以下の咬合接触をもつシリコンブラック像を示したが、特に異常な咬合接触は認められなかった (図6)。第二小臼歯には1~3カ所、第一、第二大臼歯には2~7カ所の咬合接触が存在した。

2. 歯の三次元変位

上下顎左側第二小臼歯および第一、第二大臼歯の測定点での三次元変位経路を測定して、以下の結果を得た (図7~9, 表1~3)。

1) 咬頭嵌合位での噛みしめ

軽度および強度の噛みしめ時に被験者 A, B の上顎の各臼歯はいずれも遠心口蓋側歯根方向へ変位した。しかし、被験者 C では軽度噛みしめ時に頬側歯根方向へ、強度噛みしめ時に近心頬側歯根方向へ変位した。上顎の各臼

歯の変位量はいずれの歯においても軽度より強度の噛みしめ時に増加した。

一方、下顎の各臼歯は軽度の噛みしめ時に被験者 A, B で近心舌側あるいは舌側方向への変位を示したが、被験者 A の第二大臼歯では近心頬側への変位を示した (図7)。また、各臼歯で強度の噛みしめ時には変位方向が被験者 A では歯冠方向へ、被験者 B では歯根方向へと変化した。これに対して被験者 C で、各臼歯は軽度、強度のいずれの噛みしめ時においても遠心舌側歯冠方向への変位を示した。

下顎の各臼歯は上顎の同名臼歯に比べて一般に変位量が少なかった。しかし、下顎の各臼歯においても変位量は軽度に比べて強度の噛みしめ時に増加した。

2) 咬合紙噛みしめ

咬合紙4枚および8枚噛みしめ時に被験者 A, B の上顎の各臼歯は遠心口蓋側歯根方向へ変位したが、被験者 A の第二小臼歯は咬合紙4枚、8枚噛みしめ時のいずれにおいても近心口蓋側歯根方向へ変位した (図7)。また、被験者 C では咬合紙4枚、8枚噛みしめ時に第二小臼歯、第一大臼歯は近心頬側歯根方向へ、第二大臼歯は遠心口蓋側歯根方向へ変位した (図9)。咬合嵌合位と咬合紙噛みしめ時を比較すると被験者 A, B では、咬合紙を介在させたときには歯根方向への成分が減少し、口蓋側方向の成分が増加した。被験者 C では、第二小臼歯は咬合紙を介在させたときに、より近心に変位し、第一、第二大臼歯は

図4 Goniometry of tooth movement (Horizontal plane)
変位方向の計測法 (水平面)

図5 Goniometry of tooth movement (Frontal plane)
変位方向の計測法 (前頭面)

図6 Occlusal contacts of upper and lower posterior teeth
被験歯の咬合接触状態

図 7 The displacement projections of upper and lower posterior teeth (subject A)
被験者 A の歯の変位経路の 3 平面への投影図

図 8 The displacement projections of upper and lower posterior teeth (subject B)
被験者 B の歯の変位経路の 3 平面への投影図

図 9 The displacement projections of upper and lower posterior teeth (subject C)
被験者 C の歯の変位経路の 3 平面への投影図

表 1 Direction and the amount of tooth displacement of subject A
被験者 A の歯の変位方向および変位量

被験歯	咬頭嵌合位での噛みしめ時(軽度)						咬頭嵌合位での噛みしめ時(強度)						咬合紙 4 枚噛みしめ時						咬合紙 8 枚噛みしめ時					
	変位方向			変位量			変位方向			変位量			変位方向			変位量			変位方向			変位量		
	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	矢状面
[5]	247	108		57	75	87	246	112		62	98	101	121	104		37	67	73	124	107		38	52	59
[6]	227	111		34	64	64	219	111		50	96	94	167	164		61	62	37	170	159		62	66	33
[7]	206	124		77	123	109	192	129		108	169	142	170	142		70	88	55	169	134		68	96	72
[5]	105	261		7	22	22	118	252		17	19	22	152	229		13	17	16	176	234		15	22	18
[6]	209	241		17	23	22	162	167		30	29	23	204	189		27	25	13	194	183		36	35	14
[7]	33	325		32	49	43	60	40		35	51	43	230	230		23	23	25	195	196		29	30	27

(単位: 変位方向は度, 変位量は μm)

歯根方向および頬側方向への成分が減少した (図 9)。また, 各被験者のいずれの被験歯も咬合紙 4 枚と 8 枚噛みしめ時の変位方向に大きな差は認められなかったが, 被験者 C の第二小臼歯だけは咬合紙 8 枚噛みしめ時に近心に変位方向を大きく変えた (図 9)。

一方, 下顎の各臼歯はすべての被験者で咬合紙噛みしめ時に舌側方向へ変位した。咬頭嵌合位と咬合紙噛みしめ時を比較すると被験者 A, B では変位方向にほとんど変化がないか, あるいは歯根方向の成分が若干減少しているかであったが, 被験者 A の第二大臼歯だけは咬頭嵌合位で近心頬側方向へ変位していた変位経路が咬合紙を介在させ

ると舌側方向へ大きく変化した。被験者 C では咬合紙噛みしめ時のほうが歯冠方向への成分が少なかった。また, 各被験者のいずれの被験歯でも咬合紙 4 枚と 8 枚噛みしめ時の変位方向に大きな差は認められなかった。

なお, 被験者 B においては咬合紙噛みしめ時に軽度および強度の噛みしめを行わせたが, 咬合紙 4 枚, 8 枚噛みしめ時のいずれにおいても強度噛みしめ時のほうが上顎の臼歯では遠心口蓋側歯根方向へ, 下顎の臼歯では近心舌側方向へ大きく変位した。変位量はいずれの被験歯においても強度噛みしめ時に増加した。また, 同被験者の咬頭嵌合位での軽度噛みしめ時と咬合紙 4 枚, 8 枚噛みしめ時の変

表 2 Direction and the amount of tooth displacement of subject B
被験者 B の歯の変位方向および変位量

被験歯	咬頭嵌合位での噛みしめ時(軽度)					咬頭嵌合位での噛みしめ時(強度)				
	変位方向		変位量			変位方向		変位量		
	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面
5	249	115	11	9	13	224	117	38	43	45
6	255	96	41	142	146	229	110	83	148	152
7	205	110	60	151	144	207	111	73	177	168
5	103	295	14	14	16	120	301	53	53	65
6	173	189	37	37	17	150	214	50	52	39
7	176	227	32	48	36	168	223	61	77	56

被験歯	咬合紙 4 枚噛みしめ時(軽度)					咬合紙 4 枚噛みしめ時(強度)					咬合紙 8 枚噛みしめ時(軽度)					咬合紙 8 枚噛みしめ時(強度)				
	変位方向		変位量			変位方向		変位量			変位方向		変位量			変位方向		変位量		
	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面
5	240	192	38	22	35	237	118	44	51	60	233	132	37	28	33	279	84	33	54	62
6	218	125	61	83	79	224	109	65	114	114	215	122	58	68	64	215	127	70	88	80
7	196	142	96	116	76	200	137	104	130	97	216	202	35	31	24	198	183	128	120	61
5	150	225	19	23	19	142	310	22	21	18	115	304	45	48	58	113	243	55	50	66
6	184	196	57	59	20	183	194	55	56	15	167	213	38	43	29	186	185	69	69	19
7	156	227	56	76	60	154	206	33	84	69	117	253	47	75	83	115	235	50	39	57

(単位: 変位方向は度, 変位量は μm)

表 3 Direction and the amount of tooth displacement of subject C
被験者 C の歯の変位方向および変位量

被験歯	咬頭嵌合位での噛みしめ時(軽度)					咬頭嵌合位での噛みしめ時(強度)					咬合紙 4 枚噛みしめ時					咬合紙 8 枚噛みしめ時				
	変位方向		変位量			変位方向		変位量			変位方向		変位量			変位方向		変位量		
	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面	水平面	前頭面	水平面	前頭面	矢状面
5	37	76	30	100	98	71	80	47	130	134	68	80	57	114	124	103	110	42	53	66
6	13	70	36	89	83	68	96	37	135	137	70	80	35	64	70	73	86	32	46	53
7	47	81	25	102	101	192	96	29	103	103	191	107	28	88	85	196	118	46	82	74
5	195	152	19	20	11	191	149	71	82	45	203	174	57	52	23	215	184	52	43	31
6	229	116	32	49	45	211	145	148	153	118	194	179	86	84	25	198	179	102	96	36
7	198	169	75	76	18	180	166	94	96	25	192	187	80	78	23	194	190	73	72	23

(単位: 変位方向は度, 変位量は μm)

位置を比較すると, 上顎の臼歯では第二小臼歯を除いて, 前頭面, 矢状面で咬頭嵌合位でのほうが大きかった。これは強度噛みしめ時での比較においても同様な結果であった。下顎の臼歯では, 咬頭嵌合位での軽度噛みしめ時より咬合紙 4 枚, 8 枚噛みしめ時のほうが変位量は大きく, 強度噛みしめ時には逆に咬頭嵌合位でのほうが大きくなる傾向を示した。

3. 歯の変位量と咬合力との関係

被験者 A について咬合力計噛みしめ時の歯の変位経路を測定した (図 10, 11)。図 10 は咬合力と上下顎第一大臼歯の変位量との関係を表す荷重-変位曲線で, 図 11 はそのときの歯の変位経路である。上顎第一大臼歯の頬舌方向

および近遠心方向の変位量と咬合力との間には直線的な関係があった。しかし, 歯根方向では荷重-変位曲線は 2 相性を示した。第 1 相は咬合力が 3 kg までの期間に相当し, わずかな咬合力の増加で変位量は急激に増加した。咬合力が 3 kg 以上で生じる第 2 相で咬合力と変位量は直線的な関係にあつて, この第 1 相と第 2 相とでの変化の様相は三次元変位量で表した荷重-変位曲線にも現れている。

一方, 下顎第一大臼歯で荷重-変位曲線は頬舌方向, 近遠心方向および歯冠歯根方向ともに 1 相性を示し, 三次元変位量で表した荷重-変位曲線もまた 1 相性を示した。

図 10 Stress-strain curve of first molar (subject A)
第一大臼歯の荷重-変位曲線 (被験者 A)

図 11 Displacement path during measurement of occlusal force (subject A)
咬合力測定時の歯の変位経路 (被験者 A)

IV. 考 察

1. 咬頭嵌合位での噛みしめ時における歯の三次元変位

咬頭嵌合位での噛みしめ時に上顎の各臼歯は被験者 A, B では遠心口蓋側歯根方向へ、被験者 C では近心頬側歯根方向へと変位した (図 7~9)。

この被験者間での変位経路の差異は、咬頭嵌合位における咬合接触関係に原因するものであろう^{2,6)}(図 6)。すなわち、被験者 A, B では主に舌側咬頭頂および内斜面に咬合接触点をもつものに対して、被験者 C では舌側咬頭外斜面に加えて頬側咬頭内斜面にも咬合接触点をもつので、噛みしめ時に頬側方向への咬合力を受けた結果としての変位経路を示したものと考えられる。加藤^{2,6)}は咬合接触点と歯の変位方向との関係について、前頭面方向からの二次元での測定結果に基づく研究から考察を加えているが、歯の三次元変位についても、隣接接触点の存在によって近遠心方向への変位量は小さく抑えられているので、この考え方を適用できるであろう。

このように咬合接触点は歯の変位方向に大きな影響をもつので、歯冠補綴物での咬合接触点の付与には、十分な配慮が必要ということになる。

また、歯の変位の方向は同一被験者の歯種間のほうが、各被験者の同名歯間よりも類似していたが、このことは機

能時に個々の歯としてではなく、歯列として機能参加していることを示唆する⁷⁾ものである。したがって、歯冠補綴に際しては歯列内の歯であるという観点からの咬合接触点の付与が重要なことになる。

下顎の各臼歯は被験者 A, B では主に舌側方向へ、被験者 C では遠心舌側歯冠方向へ変位した (図 7~9)。これらの変位方向もまた、上顎の各臼歯と同様に咬合接触関係の影響を受けた結果と考えられる。被験者 C では、歯冠方向への変位がみられたが (図 9)、これは歯が全体として挺出したのではなく、歯根の回転中心⁸⁾を中心として舌側方向へ歯が回転した結果に伴う頬側面中央部の測定点の歯冠方向への変位である。

下顎臼歯の歯軸は咬合平面に対して舌側方向に傾斜していることから、咬合力に対して回転成分の強い変位を示すので、このような現象がしばしばみられることになる。また、被験者 A の第二大臼歯は軽度噛みしめ時に頬側方向への変位を示したが (図 7)、これは頬側咬頭内斜面での強い咬合接触のためと考えられる。

このように、下顎の各臼歯についても上顎の各臼歯と同様に咬合接触点と変位方向との間に密接な関係がみられ、歯冠補綴物への咬合接触点の付与に際しては、歯軸あるいは歯根の方向に対しても留意することの重要性が示唆された。

2. 咬合紙噛みしめ時における歯の三次元変位

咬合紙 4 枚噛みしめ時に上顎の各臼歯は、いずれの被験者においても咬頭嵌合位での噛みしめ時と比較して、さらに口蓋側方向へ向かう変位経路を示した (図 7~9)。

一方、下顎の各臼歯も咬頭嵌合位での噛みしめ時よりさらに舌側へ向かう変位経路を示し、被験者 C においても歯冠方向への回転成分の少ない、舌側方向への変位経路となった (図 7~9)。ここでは、被験者 A の第二大臼歯も舌側への変位経路を示した。また、咬合紙 4 枚と 8 枚噛みしめ時にはそれぞれの歯の変位経路に大差はなかった。

咬合紙噛みしめによる歯の変位経路の口蓋側あるいは舌側への変化は、咬合紙の介在によって咬合接触点の影響を

直接には受けなくなったことによるものと考えられる。したがって、こうした歯の変位経路は、ある意味では機能時の変位経路ともいえ、咬頭嵌合位での噛みしめ時、換言すれば空口時の変位経路とは区別されるべきもので、両者間の機能的関連性については、今後議論を深めていくことが必要となろう。

3. 荷重-変位曲線

荷重-変位曲線は、図 2 に示すように受圧用テーブルを介した 1 点荷重という非機能的な測定による結果であるが、同時測定した歯の変位経路は咬合紙噛みしめ時と類似している (図 11) ので、機能時の歯周組織の粘弾性的挙動を表現しているといえよう。

咬合力と三次元変位量による荷重-変位曲線は上顎第一大臼歯では 2 相性を、下顎第一大臼歯では 1 相性を示した (図 10)。

上顎第一大臼歯での荷重-変位曲線の第 1 相は主に歯根方向への変位で、しかもわずかな咬合力によって大きな変位を示すことから歯根膜の歪みに由来し、第 2 相は咬合力の増加に対してゆるやかな変位量の増加を示すことから、歯槽骨を含む歯周組織の歪みに由来するものと考えられる。

一方、下顎第一大臼歯での荷重-変位曲線は 1 相性を示したが (図 10)、これは歯の植立状態が舌側に傾斜しているために歯根膜の歪みはわずかとなる反面、歯槽骨あるいは下顎骨に起因する歪みが比較的小さい咬合力によって生じたことによるのであろう。こうしたことによって、加藤²⁾、三浦³⁾らの荷重に対する 2 相性の変位と異なる結果を示したものと考えられる。以上のことより、上下顎臼歯部の歯周組織の性状には力学的に差異があることがわかる。

4. 噛みしめ強さによる歯の変位

上顎の各臼歯はいずれの被験者においても咬頭嵌合位での噛みしめ強さの増加で、変位量が増加し、変位方向は口蓋側寄りとなった (図 7~9)。これは荷重-変位曲線 (図 10) にもみられるように、咬合力の増加に伴ってまず歯根方向へ、次いで口蓋側方向へ変化する結果である。下顎の各臼歯もいずれの被験者においても咬頭嵌合位での噛みしめ強さの増加で、変位量が増加し、変位方向は舌側寄りとなった (図 7~9)。これは荷重-変位曲線 (図 10) からも明らかなように、咬合力の増加に伴う変位が主に舌側方向に起こることに基づいている。

また、被験者 B についてであるが、咬合紙噛みしめ時の咬合力の強さによっても同様の傾向がみられ、機能時にも咬合力によって歯の変位経路が変化することがわかった。

以上のことから、上下顎の各臼歯は咬合接触点の影響を受け、また作用する咬合力の強さに伴う三次元変位を示し、下顎臼歯より上顎臼歯のほうが大きく変位することがわかった。したがって、上下顎の各臼歯は咬合力の強さによって、あるいは各種の機能によって咬頭嵌合位においてすら異なる咬合接触関係を示すものと考えられる。

V. 結 論

歯の機能時における動態を生理的な状態で測定可能な三次元微小変位計 M-3 型を用いて、3 名の被験者の上下顎左側各臼歯の変位様相を測定した結果、以下の結論が得られた。

1. 一般的に上顎の各臼歯は口蓋側歯根方向へ変位し、下顎の各臼歯は舌側方向へ変位した。
2. 上顎の各臼歯は噛みしめ強度の増加に伴って変位量は増加し、変位方向は口蓋側寄りとなった。
3. 下顎の各臼歯は噛みしめ強度の増加に伴って変位量は増加し、変位方向は舌側寄りとなった。
4. 噛みしめ強度の増加に伴う三次元変位量の増加は、上顎の各臼歯のほうが下顎の各臼歯よりも大きかった。
5. 上下顎の各臼歯の咬頭嵌合位における相対的位置関係、ひいては咬合接触関係は噛みしめ強度によって変化するものと考えられる。

本論文の要旨の一部は、第 95 回日本補綴歯科学会学術大会 (平成 8 年 5 月 31 日、広島) において発表した。本研究の一部は平成 7 年度科学研究費補助金 (課題番号: 07457468) および、平成 8 年度科学研究費補助金 (課題番号: 0886772226) で行われた。

文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 三浦宏之. 機能下にある歯牙の水平面内における変位に関する研究. 補綴誌 29: 735-754, 1985.
- 4) 三浦宏之, 長谷川成男, 加藤 均ほか. 歯牙の変位経路の三次元測定法について. 顎機能誌 2: 1-10, 1995.
- 5) 中尾勝彦. 正常天然歯列における咬合小面と歯牙接触に関する研究 (咬頭嵌合位). 補綴誌 14: 1-21, 1970.
- 6) 長谷川成男. 咬合学序説 2-50, 医歯薬出版: 東京, 1988.
- 7) 益田高行, 三浦宏之, 加藤 均ほか. 咬合力による上顎臼歯部歯周組織の歪みの三次元的測定. 補綴誌 40: 154-159, 1996.
- 8) 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.