原

著

咬合力によって生ずる補綴物の表面ひずみに関する研究

—— クラウンと3ユニットブリッジ ——

川 和 篤 史

東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 口腔機能再構築学系 摂食機能保存学講座 摂食機能保存学分野
(主任・指導：三浦宏之教授)

(2001年12月4日 受付)

Measurement of Surface Strains in Crowns and 3-unit Bridges during Function

KAWAWA Atsushi

Fixed Prosthodontics, Department of Restorative Sciences, Division of Oral Health Sciences,
Graduate School, Tokyo Medical and Dental University
(Chief and Director : Prof. MIURA Hiroyuki)

The purpose of this study was to determine the surface strain distribution of a crown and bridge, and to compare the biomechanical behavior of a crown and bridge.

The complete crown and 3-unit bridge, whose abutments were the second premolar and the second molar, for three cases of first molar deficit in the mandible, were produced, and the surface strain of prostheses under static loading was measured with strain gauges.

When a load was applied, although only a small strain was observed near the margin of the crown, a comparatively large tensile strain was observed near the deficit side margin of the distal retainer on the bridge.

In the case of a 3-unit bridge, since there is the possibility that strain will occur in the distal retainer, it is necessary to consider the design of the distal retainer during preparation.

I. 緒 言

クラウンやブリッジは咬合力によって微小に変形する。咬合力が長期にわたって加わると、クラウンやブリッジの変形による影響はしだいに大きくなり、合着用セメントが破壊し、支台歯の二次う蝕や支台装置の離脱を惹起することがある。したがって、装着後間もない初期の段階で、補綴物に生ずる微小変形を検索することは臨床的に大きな意義がある。この微小変形を検討するうえで、補綴物の表面に発生するひずみは一つの指標となるが、形状や大きさからみて、クラウンとブリッジではひずみの様相が異なるものと考えられる。

従来、荷重を加えた際に補綴物表面に生ずるひずみの測定は行われてきたが^{1-16,18)}、その多くは模型実験によるシミュレーションであった。補綴物に発生する表面ひずみをシミュレートされた模型実験からのみで正確に測定することは困難であり、ひずみの実体を的確に把握す

るためには被験者による口腔内での実測が必要不可欠である^{11,12)}。

ブリッジに関しても、大半の研究は、発生する表面ひずみを模型上で測定したものであり⁷⁻⁹⁾、実際に口腔内で測定した研究は少なく^{10-12,16)}、とくに、3ユニットブリッジについては、咬合によって生ずるマージン部付近でのひずみの様相は明らかにされていない。

本研究では、下顎大白歯部1歯欠損症例を対象として、支台歯にクラウンのみを装着し荷重を加えた場合と同一部位に固定性3ユニットブリッジを装着し、荷重を加えた場合の補綴物の表面ひずみを測定し、それぞれの補綴物におけるひずみの様相に比較、検討を加えた。

II. 研究方法

クラウンおよびブリッジに、咬合力による荷重を加え、発生する表面ひずみを測定した。

1. 被験者

被験者は顎口腔系に異常を認めない成人女性 2 名（被験者 1：22 歳，被験者 2：67 歳）である。支台歯の支持組織には特別な異常所見は認められず，対合歯は天然歯または固定性の補綴物装着歯である。症例数は 3 例で，被験者 1 では左右両側について測定した。

2. クラウンとブリッジ

各症例ともに第 2 小臼歯および第 2 大臼歯を支台歯とするクラウンとブリッジを作製し，被験者 1 の右側のクラウンを症例 A-Cr (7 5)，左側のクラウンを症例 B-Cr (5 7)，被験者 2 のクラウンを症例 C-Cr (5 7) とし，被験者 1 の右側のブリッジを症例 A-Br (7 6 5)，左側のブリッジを症例 B-Br (5 6 7)，被験者 2 のブリッジを症例 C-Br (5 6 7) とした（表 1）。

第 2 小臼歯ならびに第 2 大臼歯にマージン形態がショルダーレスタイプの支台歯形成を施し，通法に従って，個歯トレー印象を応用したシリコン印象法（エクザファイン，ジーシー）にて印象採得を行った。印象に超

硬質石膏（ニューフジロック，ジーシー）を注入し，精密模型を作製した。その模型上で，まず，それぞれの支台歯に対合歯と適切な咬合接触を有する歯冠形態を金銀パラジウム合金で回復した。次いで，回復した歯冠形態の印象をシリコン印象材（エクザファイン，ジーシー）にて採得し，その印象にワックスを流し込み，支台歯に圧接して，ワックスパターンを 2 個ずつ作製した。それぞれのワックスパターンは可及的に同一厚さ，同一形態となるように配慮した。ワックスパターンの一方は単独のクラウンとし，他方はブリッジの支台装置とした。そのワックスパターンをもとにクラウンおよびブリッジを type IV 金合金（Casting-Gold MC，ジーシー）にて作製した。ブリッジはワンピース法により作製し，ポンティック部は充実性の船底型とした（図 1，2）。

3. ひずみゲージ

咬合力によるクラウンおよびブリッジのマージン部に生ずる表面ひずみを測定するために，長さ 1.0 mm，幅 0.7 mm，ベース直径 4.5 mm のひずみゲージ（ロゼットゲージ，FRA-1-17-03，東京測器研究所）をゲージセメント（cc-33 A，共和）にて貼付した。図 3 に本研究で貼付したロゼットゲージの貼付部位を示す。貼付部位は小臼歯部では遠心マージン部の頬舌側，大臼歯部では近心および遠心マージン部の頬舌側の計 6 カ所とした。貼付後，各ひずみゲージは湿度と温度の影響を避けるためシリコン系のコーティング材（バスコーク，セメダイン株式会社）で被覆した。

表 1 各症例の測定部位

被験者	クラウン	ブリッジ
1	7 5 (症例 A-Cr)	7 6 5 (症例 A-Br)
1	5 7 (症例 B-Cr)	5 6 7 (症例 B-Br)
2	5 7 (症例 C-Cr)	5 6 7 (症例 C-Br)

図 1 クラウン（症例 C-Cr）

図 2 ブリッジ（症例 C-Br）

図 3 ロゼットゲージの貼付部位

図4 咬合力計を埋入したバイトテーブル

4. 荷重部位

クラウンおよびブリッジをリン酸亜鉛セメント (Elite 100, ジーシー) にて支台歯に合着し、荷重は上顎に咬合力計 (LM 6-100 s, ST 研究所) を埋入したバイトテーブルを介しての最大噛みしめにより加えた (図4)。荷重を加える部位は、クラウンでは第2小臼歯機能咬頭部および遠心辺縁隆線部、第2大臼歯近心辺縁隆線部および近心機能咬頭部のそれぞれ2点とし、ブリッジではクラウンと同様に第2小臼歯機能咬頭部および遠心辺縁隆線部、第2大臼歯近心辺縁隆線部および近心機能咬頭部の4点に加えて、ポンティック中央部、ポンティック遠心頬側咬頭部の6点とした (図5)。

さらに、クラウン、ブリッジともに、咬頭嵌合位での最大噛みしめ時のひずみについても測定を行った。測定回数は各荷重部位ごとに3回とした。

5. 測定方法

クラウンおよびブリッジに貼付した各ゲージのリード線をブリッジボックスに接続し、動ひずみアンプ (DRA 1000, 東京測器研究所) を介して、データレコーダ (PC 208 Ax, PC 216 Ax, SONY) に荷重とひずみを同時記録した。得られたひずみはコンピュータにてロゼット解析を行った。ロゼット解析に使用したひずみのデータは 100 N 荷重時の値とした。

6. ロゼット解析

各ゲージから得られたひずみデータ $\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_c$ を以下に示すロゼット解析の式に代入し、それぞれの測定部位における最大主ひずみ $\epsilon_{\max}$ 、最小主ひずみ $\epsilon_{\min}$ およびそれぞれの方向を求めた。

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{2}(\epsilon_a + \epsilon_c) + \frac{1}{2}\sqrt{(\epsilon_a - \epsilon_c)^2 + (2\epsilon_b - \epsilon_a - \epsilon_c)^2}$$

$$\epsilon_{\min} = \frac{1}{2}(\epsilon_a + \epsilon_c) - \frac{1}{2}\sqrt{(\epsilon_a - \epsilon_c)^2 + (2\epsilon_b - \epsilon_a - \epsilon_c)^2}$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\epsilon_b - \epsilon_a - \epsilon_c}{\epsilon_a - \epsilon_c}$$

7. 結果の表示方法

作製したクラウンとブリッジの支台装置の形態は、同一被験症例では、両者が可及的に同一となるように配慮

図5 荷重部位 (症例 A-Cr, A-Br)

したが、異なる症例間ではそれぞれの形状が異なるので、補綴物に生ずるひずみの値を各補綴物の対応するひずみゲージ貼付部位ごとに平均しても、ひずみの様相を正確に表現することはできない。そのため、症例ごとに結果を示し、代表例については図示した。

補綴物に生ずるひずみは補綴物の形状、荷重条件、支台歯の歯周組織の状態により異なり、異なる症例間では比較することはできないが、同一症例内ではクラウン、ブリッジの支台装置としての形態を可及的に同一にしてあるので、同一症例内の同一部位に荷重を加えた場合のクラウン、ブリッジの対応する部位に生ずるひずみの大きさについて平均値の差の検定 (Student-t 検定) を行い、比較検討を行った。

III. 結 果

症例ごとに結果を示し、代表例については図示した (表2, 図6)。このとき、表2には、100 N 荷重下および咬頭嵌合位での噛みしめ時における各症例の最大主ひずみ $\epsilon_{\max}$ 、最小主ひずみ $\epsilon_{\min}$ の大きさおよび最大主ひずみの角度を表記した。+は引張ひずみを、-は圧縮ひずみを示す。角度は歯軸方向を 0° とし、欠損側を正とした。なお、最大主ひずみと最小主ひずみの方向は直交する。

1. クラウン

1) 第2小臼歯機能咬頭部への加重 (図6-a)

いずれの症例でも、荷重を加えた側 (以下、荷重側) である頬側面のひずみの大きさは、荷重を加えていない側 (以下、非荷重側) である舌側面のひずみと比較して大きかった。症例 B-Cr でその傾向が顕著であり、頬側面で $115 \mu\epsilon$ の圧縮ひずみ、 $95 \mu\epsilon$ の引張ひずみを記録した。しかし、その他の部位に生じたひずみの大きさは、いずれも $100 \mu\epsilon$ 以下であり、ことに、舌側面のひずみの大きさはいずれの症例でも $25 \mu\epsilon$ 以下にとどまっていた。

2) 第2小臼歯遠心辺縁隆線部への加重 (図6-b)

第2小臼歯遠心辺縁隆線部に荷重を加えると、症例 C-Cr の舌側面を除けば、マージン付近には荷重方向と直角

表2 クラウンおよびブリッジの主ひずみの大きさと方向 (100 N 荷重時, 咬頭嵌合位における噛みしめ時)

<クラウン>

ゲージの部位		第2小臼歯 頬側面			第2小臼歯 舌側面			第2大臼歯 近心頬側面			第2大臼歯 近心舌側面			第2大臼歯 遠心頬側面			第2大臼歯 遠心舌側面		
荷重部位	症例	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度
第2小臼歯 機能咬頭部	A-Cr	20	-20	164	20	-5	164												
	B-Cr	95	-115	98	25	1	5												
	C-Cr	30	-70	99	5	-10	15												
第2小臼歯 遠心 辺縁隆線部	A-Cr	10	-20	101	80	-30	87												
	B-Cr	60	-75	91	25	5	95												
	C-Cr	160	-235	102	15	-20	166												
第2大臼歯 近心 辺縁隆線部	A-Cr							115	-105	141	105	-85	120	25	-5	76	20	-10	15
	B-Cr							10	-10	129	80	-85	123	20	-1	170	25	5	79
	C-Cr							130	-145	114	95	-125	87	5	-20	24	10	-10	27
第2大臼歯 近心 機能咬頭部	A-Cr							105	-120	130	40	-30	126	15	1	128	25	-5	11
	B-Cr							40	-50	81	5	-25	29	5	-5	178	20	5	179
	C-Cr							105	-135	95	40	-15	104	10	-5	24	10	-1	178
咬頭嵌合位 での 噛みしめ	A-Cr	10	-1	177	10	-5	133	35	-30	104	5	0	18	50	-5	144	10	-5	27
	B-Cr	10	1	125	5	1	35	20	-1	125	30	-20	172	15	-10	170	40	-50	32
	C-Cr	1	-1	140	5	-1	174	20	-30	117	10	-5	81	5	-1	170	10	-1	7

<ブリッジ>

ゲージの部位		第2小臼歯 頬側面			第2小臼歯 舌側面			第2大臼歯 近心頬側面			第2大臼歯 近心舌側面			第2大臼歯 遠心頬側面			第2大臼歯 遠心舌側面		
荷重部位	症例	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	角度
第2小臼歯 機能咬頭部	A-Br	35	-20	89	15	5	121	10	-1	113	1	-1	104	1	-5	107	5	0	0
	B-Br	70	-200	116	20	-10	169	25	-20	78	65	-20	77	10	-5	176	10	-20	74
	C-Br	10	-40	100	5	1	14	20	-35	120	5	-5	60	5	0	63	5	-10	22
第2小臼歯 遠心 辺縁隆線部	A-Br	10	-45	55	55	-20	120	70	-20	79	5	-5	58	10	1	146	10	1	155
	B-Br	60	-80	96	60	-40	100	-20	-55	50	50	-20	102	40	-40	19	5	-30	24
	C-Br	1	-5	146	0	-5	163	35	-85	121	15	-15	88	5	-5	11	5	-1	4
第2大臼歯 近心 辺縁隆線部	A-Br	25	-10	76	25	-1	174	340	-115	83	140	-125	58	40	-25	150	35	-15	113
	B-Br	45	-160	117	20	0	31	190	-100	51	220	-85	89	45	1	147	40	-10	128
	C-Br	30	-60	108	15	-5	172	535	-105	49	90	-90	76	20	-10	84	20	-15	98
第2大臼歯 近心 機能咬頭部	A-Br	15	-10	82	25	-15	165	310	-120	82	130	-110	64	40	-30	153	40	-20	116
	B-Br	100	-350	119	60	-45	10	275	-130	52	175	-80	84	75	5	146	40	-1	128
	C-Br	45	-85	107	25	-5	5	455	-95	49	65	-45	70	30	-20	93	15	-10	102
ポンティック 中央部	A-Br	30	-40	103	30	-1	166	175	-55	87	85	-75	59	15	-1	145	15	-5	103
	B-Br	80	-250	116	20	5	48	90	-65	58	90	-50	99	95	-15	4	10	-5	116
	C-Br	30	-75	119	0	-5	44	50	-5	90	45	-50	81	1	0	87	5	-5	115
ポンティック 遠心 頬側咬頭部	A-Br	70	-60	104	15	-10	14	55	-40	88	120	-65	73	20	-15	143	25	-10	118
	B-Br	105	-390	118	50	-40	15	90	-95	65	200	-105	78	40	5	172	25	-10	120
	C-Br	65	-140	109	30	-5	12	120	-25	83	20	-10	19	10	-1	66	5	-10	140
咬頭嵌合位 での 噛みしめ	A-Br	15	-5	69	20	-10	14	275	-145	75	115	-85	66	105	-80	141	60	-45	118
	B-Br	45	-160	119	20	-20	33	310	-200	47	360	-180	73	160	35	168	60	-45	129
	C-Br	25	-35	109	15	-5	7	165	-50	41	40	-55	78	10	0	25	25	-25	100

* $\epsilon_{\max}$ と $\epsilon_{\min}$ の単位: $\times 10^{-6}\epsilon$, 角度: 歯軸から欠損側方向への最大主ひずみの角度, +: 引張ひずみ, -: 圧縮ひずみ

に引張りずみが認められた。また、症例 C-Cr の頬側面を除けば、ひずみの大きさは、圧縮ひずみ、引張りひずみとも 100 $\mu\epsilon$ 以下にとどまっていた。症例 C-Cr の荷重側である頬側面マージン付近では、引張りひずみが 160 $\mu\epsilon$ 、圧縮ひずみが 235 $\mu\epsilon$ とやや大きなひずみが認められたが、非荷重側である舌側面マージン付近では、その値はいずれも 20 $\mu\epsilon$ 以下の小さな値を示した。

3) 第2大臼歯近心辺縁隆線部への加重 (図 6-c)

いずれの症例でも、荷重を加えた部位に近い近心マージン付近に生じたひずみの大きさは遠心マージン付近より大きくなる傾向にあった。近心マージン付近には、い

ずれも歯軸方向に圧縮ひずみ、歯軸と直角方向に引張りひずみが認められ、その大きさは 10~145 $\mu\epsilon$ であった。遠心歯頸部では、ひずみが生じた方向に一定性は認められなかったが、その大きさはいずれも 25 $\mu\epsilon$ 以下であった。

4) 第2大臼歯近心機能咬頭部への加重 (図 6-d)

いずれの症例でも、荷重を加えた部位に近い近心頬側部に生じたひずみは、遠心頬側部、近遠心舌側部のそれと比較して、大きな値を示したが、最大でも 135 $\mu\epsilon$ であった。その他の部位でのひずみの大きさは最大でも 40 $\mu\epsilon$ にとどまった。とくに、症例 B-Cr では、荷重を加えた部位に近い近心頬側部を含めて、いずれの部位でも大

図 6 a~e: クラウンの主ひずみの分布 (100 N 荷重時、咬頭嵌合位における噛みしめ時)
単位: $\times 10^{-6}\epsilon$, + : 引張りひずみ, - : 圧縮ひずみ

(f) 第2小臼歯機能咬頭負荷

(j) ポンティック中央部負荷

(g) 第2小臼歯遠心辺縁隆線負荷

(k) ポンティック部遠心頬側咬頭負荷

(h) 第2大臼歯近心辺縁隆線負荷

(l) 咬頭嵌合位での噛みしめ

(i) 第2大臼歯近心機能咬頭負荷

↑ : 最大主ひずみ ↓ : 最小主ひずみ ↓ : 荷重部位

図6 f~l:ブリッジの主ひずみの分布(100 N 荷重時,咬頭嵌合位における噛みしめ時)
単位: $\times 10^{-6} \epsilon$, + : 引張ひずみ, - : 圧縮ひずみ

きなひずみは認められず、圧縮ひずみ、引張ひずみともに $50\ \mu\epsilon$ 以下の大きさであった。

5) 咬頭嵌合位での噛みしめ (図 6-e)

いずれの症例でも、近心支台装置、遠心支台装置ともに大きなひずみを示す部位は認められなかった。また、圧縮ひずみ、引張ひずみともに、その大きさはすべてのマージン付近で $50\ \mu\epsilon$ 以下であった。

2. ブリッジ

1) 第2小臼歯機能咬頭部への加重 (図 6-f)

症例 A-Br, C-Br では、荷重を加えた近心支台装置のマージン付近でさへ大きなひずみがみられず、ひずみの大きさは引張ひずみが $35\ \mu\epsilon$ 以下、圧縮ひずみが $40\ \mu\epsilon$ 以下にとどまっていた。

症例 B-Br では、荷重を加えた近心支台装置の頬側面マージン付近で、歯軸方向に $200\ \mu\epsilon$ の圧縮ひずみが認められたが、舌側面マージン付近には、症例 A-Br, C-Br と同様に、大きなひずみは認められなかった。

また、いずれの症例でも、遠心支台装置に生じたひずみは小さかった。

2) 第2小臼歯遠心辺縁隆線部への加重 (図 6-g)

すべての症例で、近心支台装置、遠心支台装置のいずれの部位でも大きなひずみは認められず、最も大きなひずみを示したもののでも、症例 B-Br の荷重側に相当する近心支台装置の頬側面マージン付近に生じた $80\ \mu\epsilon$ の圧縮ひずみであった。とくに、症例 C-Br の近心支台装置では圧縮ひずみ、引張ひずみとも $5\ \mu\epsilon$ 以下と小さな値を示した。

したがって、近心支台装置の連結部付近に加わった荷重は、近心支台装置のみならず、遠心支台装置にも影響を及ぼすことはなかった。

3) 第2大臼歯近心辺縁隆線部への加重 (図 6-h)

3 症例すべてで、荷重を加えた部位に相当する遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に大きな引張ひずみがみられ、ひずみの大きさは $190\sim 535\ \mu\epsilon$ で、ひずみの方向は歯軸から欠損方向に約 $50\sim 80$ 度傾斜した方向であった。それと直交した方向に、 $100\sim 115\ \mu\epsilon$ の圧縮ひずみが認められた。

さらに、症例 A-Br, B-Br においては遠心支台装置の連結側の舌側面でも比較的大きなひずみが認められ、ひずみの大きさは引張ひずみが $140\sim 220\ \mu\epsilon$ 、圧縮ひずみが $85\sim 125\ \mu\epsilon$ で、ひずみの方向は頬側面とほぼ同じ方向であった。

また、症例 B-Br ではもう一方の支台装置である近心支台装置の頬側面マージン付近に $160\ \mu\epsilon$ の圧縮ひずみが認められたが、その他の症例では近心支台装置には大きなひずみは認められなかった。

以上のように、すべての症例で荷重を加えた遠心支台

装置のマージン付近に引張ひずみが認められた。

4) 第2大臼歯近心機能咬頭部への加重 (図 6-i)

すべての症例で、荷重を加えた部位に近い遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に、歯軸から欠損側に約 $50\sim 80$ 度傾斜した方向に引張ひずみが認められ、ひずみの大きさは $275\sim 455\ \mu\epsilon$ であった。

さらに、症例 A-Br, B-Br においては、遠心支台装置の連結側の舌側面マージン付近にも歯軸とほぼ直交する方向に $130\sim 175\ \mu\epsilon$ の引張ひずみが認められた。

また、症例 B-Br では近心支台装置の頬側面マージン付近にも、歯軸から欠損方向に 30 度傾斜した方向に $350\ \mu\epsilon$ の圧縮ひずみがみられた。この圧縮ひずみの大きさは第2大臼歯近心辺縁隆線部に荷重を加えたときに同部位に発生したひずみの約2倍の値を示した。しかし、症例 A-Br, C-Br では同部位の圧縮ひずみ、引張ひずみとも $85\ \mu\epsilon$ 以下であった。

その他の部位のマージン付近では、すべての症例で大きなひずみはみられず、近心支台装置の舌側面、遠心支台装置の頬舌側遠心部では、圧縮ひずみ、引張ひずみとも $75\ \mu\epsilon$ 以下であった。

以上のように、3 症例ともに遠心支台装置の連結側のマージン付近に大きな引張ひずみが発生していた。また、3 症例中1 症例 (症例 B-Br) で近心支台装置に大きな圧縮ひずみが認められた。

5) ポンティック中央部への加重 (図 6-j)

症例 A-Br では遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に荷重方向と直角方向に $175\ \mu\epsilon$ の引張ひずみが生じていた。その他の部位では圧縮ひずみ、引張ひずみとも $85\ \mu\epsilon$ 以下であった。

症例 B-Br では近心支台装置の頬側面マージン付近に荷重方向から欠損側に約 25 度傾斜した方向に $250\ \mu\epsilon$ の圧縮ひずみが生じていた。また、遠心支台装置の連結側の頬舌面マージン付近に荷重方向と直角方向に $90\ \mu\epsilon$ の引張ひずみが認められた。

症例 C-Br ではすべてのマージン付近でひずみの値は小さく、圧縮ひずみ、引張ひずみともに $75\ \mu\epsilon$ 以下であった。

以上のように、1 症例 (症例 C-Br) では大きなひずみが生ずる部位はみられず、1 症例 (症例 A-Br) では遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に引張ひずみが認められ、もう1 症例 (症例 B-Br) では遠心支台装置に加えて近心支台装置にもひずみが生じていて、一定の傾向は認められなかった。

6) ポンティック遠心頬側咬頭部への加重 (図 6-k)

ポンティックの遠心頬側咬頭部に荷重を加えると、いずれの症例でも、遠心支台装置の連結側マージン付近に大きなひずみが認められたが、その発現部は症例によっ

て異なっていた。すなわち、症例 A-Br では舌側面に $120\ \mu\text{E}$ の引張りひずみが、症例 B-Br では舌側面に $200\ \mu\text{E}$ の引張りひずみが、症例 C-Br では頬側面に $120\ \mu\text{E}$ の引張りひずみが認められた。そして、この遠心支台装置の連結部には、症例 C-Br の舌側面を除けば、歯軸とはほぼ垂直方向に引張りひずみが生じていたがその大きさは区々であった。

また、症例 B-Br, C-Br では近心支台装置の頬側面マージン付近に荷重方向から欠損側に約 $20\sim30$ 度傾斜した方向で $140\sim390\ \mu\text{E}$ の圧縮ひずみが生じていた。

その他の部位でのひずみの大きさは小さかった。とくに、すべての症例で近心支台装置の舌側部、遠心支台装置の頬舌側遠心部マージン付近のひずみは小さく、圧縮ひずみ、引張りひずみとも $50\ \mu\text{E}$ 以下であった。

7) 咬頭嵌合位での噛みしめ (図 6 -I)

すべての症例において、遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に、歯軸から欠損方向に約 $40\sim75$ 度傾斜した方向に $165\sim310\ \mu\text{E}$ の引張りひずみが、それと直交する方向に $50\sim200\ \mu\text{E}$ の圧縮ひずみが認められた。さらに、症例 B-Br では遠心支台装置の連結側の舌側面マージン付近においても $360\ \mu\text{E}$ の引張りひずみ、 $180\ \mu\text{E}$ の圧縮ひずみが認められた。

また、症例 B-Br では近心支台装置の頬側面マージン付近に $160\ \mu\text{E}$ の圧縮ひずみが生じていた。

3. クラウンとブリッジの比較

第 2 小臼歯に荷重を加えた場合には、第 2 小臼歯のクラウンのひずみとブリッジの近心支台装置のひずみとを比較し、第 2 大臼歯に荷重を加えた場合には、第 2 大臼歯のクラウンのひずみとブリッジの遠心支台装置のひずみとを比較した。

1) 第 2 小臼歯機能咬頭部への加重 (図 7-a, b)

第 2 小臼歯機能咬頭部に荷重を加えて、第 2 小臼歯に装着した支台装置が単独のクラウンである場合とブリッジの支台装置である場合のひずみを比較したところ、第 2 小臼歯の頬側面において症例 A では有意差がみられなかったが、症例 B, 症例 C では最大主ひずみはクラウンが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。最小主ひずみでも症例 C ではクラウンが有意に大きな値を示した ($P<0.05$) が、症例 B ではブリッジが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。舌側面ではすべての症例で有意差はみられなかった。

2) 第 2 小臼歯遠心辺縁隆線部への加重 (図 7-c, d)

第 2 小臼歯遠心辺縁隆線部に荷重を加えた場合、頬側面において症例 A では最大主ひずみ、最小主ひずみともに有意差はみられなかった。症例 B では最小主ひずみのみブリッジが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 C では最大主ひずみ、最小主ひずみともにクラウンが有

意に大きな値を示した ($P<0.05$)。舌側面においては症例 A では最大主ひずみ、最小主ひずみともにクラウンの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 B では最小主ひずみのみブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 C では最大主ひずみのみクラウンが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。

3) 第 2 大臼歯近心辺縁隆線部への加重 (図 7-e, f, g, h)

第 2 大臼歯近心辺縁隆線部に荷重を加えた場合、近心頬側面の最大主ひずみはすべての症例でブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。最小主ひずみでは症例 A, B においてブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$) が、症例 C ではクラウンが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。近心舌側面においては症例 A では最大主ひずみ、最小主ひずみともブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 B では最大主ひずみのみブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 C では有意差はみられなかった。遠心頬側面では最大主ひずみはすべての症例でブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。最小主ひずみは症例 A ではブリッジが有意に大きな値を示し ($P<0.05$)、症例 B では有意差はみられず、症例 C ではクラウンが有意に大きな値を示す ($P<0.05$) など一定性がみられなかった。遠心舌側面においては症例 A では最大主ひずみのみブリッジが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 B では最大主ひずみ、最小主ひずみともブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 C では最小主ひずみのみブリッジが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。

4) 第 2 大臼歯近心機能咬頭部への加重 (図 7-i, j, k, l)

第 2 大臼歯近心機能咬頭部に荷重を加えた場合、近心頬側面において症例 A では最大主ひずみのみブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 B では最大主ひずみ、最小主ひずみともブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。近心舌側面においては症例 A, B ともに最大主ひずみ、最小主ひずみともブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。遠心頬側面においては症例 A では最大主ひずみ、最小主ひずみともにブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 B では最小主ひずみのみクラウンの方が有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。遠心舌側面においては症例 A では最小主ひずみのみブリッジが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 B では最大主ひずみのみブリッジが有意に大きな値を示した ($P<0.05$)。症例 C ではクラウンの咬合力が $100\ \text{N}$ に達したのが 3 回の測定のうち 1 回のみであったため統計的な処理はできなかった。

A 第2小臼歯
機能咬頭負荷

B 第2小臼歯
遠心辺縁隆線負荷

C 第2大臼歯
近心辺縁隆線負荷

D 第2大臼歯
近心機能咬頭負荷

■Cr □Br

*: P<0.05

図7 100 N 荷重時におけるクラウンとブリッジの主ひずみの比較

5) 咬頭嵌合位での噛みしめ

咬頭嵌合位での噛みしめは加わった荷重の大きさが明らかでないため、一概に同一被験者間でクラウンとブリッジとを比較することは困難であり、統計処理を行うことは不可能である。ただし、被験者には最大噛みしめを行わせているので咬頭嵌合位での最大噛みしめ時におけるひずみの様相として、クラウンとブリッジを比較することは可能であると考えられる。そこで各症例におけるクラウンとブリッジの代表例を挙げて、発生するひずみの様相を比較した。結果としてすべての症例において遠心支台装置の近心頬側部に生ずる最大主ひずみ、最小主ひずみはブリッジの方がクラウンより大きな値を示した。

IV. 考 察

1. 研究方法

1) 被験症例

測定の対象とした下顎第 1 大臼歯欠損症例は、少数歯欠損症例としては臨床的に最も頻度が高く¹⁷⁾、本欠損部に作製される 1 歯欠損 3 ユニットブリッジはブリッジの基本形とされている。したがって、下顎第 1 大臼歯欠損症例におけるブリッジの機能時に生ずるひずみを明らかにすることは臨床的にきわめて意義がある。

今回、下顎第 1 大臼歯欠損症例を対象として、同一部位に単独支台装置としてクラウンを装着した場合とブリッジを装着した場合の補綴物表面に生ずるひずみの様相を検討した。それぞれの補綴物の表面ひずみは荷重を加えたことによって生ずる補綴物の内部応力のある程度表現している¹³⁾、両者のひずみを比較することによって、3 ユニットブリッジの構造的な弱点を明らかにすることができるものとする。また、欠損数が増加した場合のブリッジ作製の指標としても期待できる。

2) クラウンとブリッジ

実験に供した 3 症例ともに、同一部位にクラウンとブリッジを装着し、それぞれのひずみの様相を測定したが、クラウンとブリッジでの支台装置の形態に相違があると、両者のひずみの違いを正確に比較することができない。今回は、印象法を応用することによって、クラウンとブリッジでの支台装置が可及的に同一形態、同一厚さになるように配慮した。また、マージン部のひずみの様相が明確に測定できるように、ひずみゲージを貼付したマージン部付近の厚さを 0.5 mm 前後に調整した。

3) ひずみゲージ

クラウンやブリッジのように複雑な形態の表面に発生するひずみを正確に測定するためには、主ひずみの大きさと方向を知る必要があり、単軸のゲージを用いた測定では主ひずみの方向を明らかにすることはできない。今

回使用した 3 軸のロゼットゲージは、最大主ひずみ、最小主ひずみの大きさおよびそれぞれの方向を知ることが可能である。

2. 結果

1) クラウンについて

(1) 第 2 小臼歯クラウン

機能咬頭に荷重を加えたときに第 2 小臼歯クラウンのマージン付近に生じたひずみの大きさは、症例 A-Cr では荷重側である頬側面と非荷重側である舌側面で差がなかったが、症例 B-Cr, C-Cr では差が認められ、荷重側である頬側面に発生したひずみの方が大きな値を示した。症例 B-Cr, C-Cr と異なり、症例 A-Cr において荷重側である頬側面のひずみが大きくならなかったことは荷重とひずみの関係を明らかにする手がかりとなる。

一般に、クラウンに生ずる表面ひずみの大きさは、ひずみゲージ貼付部位の厚さが大きく関わっている¹⁸⁾、測定対象となる部位の厚さが厚いと、ひずみは小さくなるので、各症例におけるゲージ貼付部位のクラウンの厚さを測定したところ、症例 B-Cr, C-Cr と比較して、症例 A-Cr がとくに厚いということではなかった。したがって、症例 A-Cr で頬舌側面のひずみに差が生じなかったことには、クラウンの形状以外の要素が関与しているものと思われる。

そこで、各クラウンの荷重を加えた部位とゲージ貼付部位の位置関係を精査したところ、症例 B-Cr, C-Cr では荷重を加えた部位の直下にゲージの貼付部位が位置していたが、症例 A-Cr では直下からややずれていることが明らかとなった。このことは、荷重が加わる部位の直下のマージン部にはひずみが生じやすいことを示唆している。さらに荷重を加えた部位とゲージ貼付部位までの距離も症例ごとに異なっており、このことも発生するひずみに影響を与える一因であると考えられる。

また、遠心辺縁隆線部に荷重を加えた場合に、症例 C-Cr の頬側面マージン付近で $235 \mu\epsilon$ の比較的大きな圧縮ひずみが認められた。この $235 \mu\epsilon$ の圧縮ひずみ量は 100 N 荷重下での値であるが、実際に咬合力によって発生した最大荷重は約 113 N であり、このときのクラウンのひずみは $265 \mu\epsilon$ であった。一般に、金合金の弾性ひずみの限界は約 $5,000 \mu\epsilon$ であり、工業界の安全係数を 5 とすると使用時の許容ひずみは $1,000 \mu\epsilon$ と考えられている¹⁹⁾。すなわち、口腔内で補綴物の表面に $1,000 \mu\epsilon$ のひずみが生ずるとその補綴物には破壊が予想され、 $500 \mu\epsilon$ 程度では壊れるまでかなりの時間を要し、 $200 \mu\epsilon$ 程度であれば問題は生じないと考えられる。したがって、今回実際に、第 2 小臼歯のクラウンに発生した $265 \mu\epsilon$ の最大ひずみはほとんど問題となる大きさではない。そして、咀嚼力によって小臼歯部に加わる荷重の一般の平均値が

図8 第2小臼歯遠心辺縁隆線荷重時の第2小臼歯頬側部の荷重-ひずみ曲線（症例 C-Br）

120 N 程度であることを考慮すると²⁰⁾、小臼歯部に装着したクラウンが咀嚼時に大きくひずむことはないものと思われる。

さらに、本症例で、実際に 113 N の荷重が加わったときの荷重-ひずみ曲線を精査したところ、負荷を解除したときに主ひずみの値は 0 に戻っており、セメントの破壊は起こっていなかった（図8）。すなわち、113 N 程度の荷重が金合金に疲労を生じさせることは考えにくい。

以上のことより、現在の方法で製作されたクラウンは咬合力によって変形することではなく、それを着合しているセメントをも破壊することはないものと考えられる。

（2）第2大臼歯クラウン

いずれの症例でも、機能咬頭、近心辺縁隆線部のいずれに荷重を加えても、荷重を加えた部位に最も近接した近心頬側面に貼付したひずみゲージ部で大きなひずみが記録されていた。このことは、すべての症例で認められ、荷重部のマージン付近にひずみが生じやすいことを示している。

しかし、実際に口腔内で咬合力によって生じた最大荷重量である約 190 N 荷重時のひずみは 155 $\mu\epsilon$ であり、このことを考慮しても、第2大臼歯部に加わった荷重がクラウンの金属に疲労を与えることはないものと思われる。

（3）咬頭嵌合位での噛みしめ時のクラウンの様相

咬頭嵌合位での噛みしめは、最大噛みしめを行わせているが、いずれの症例のクラウンでも、大きなひずみが発生する部位は認められなかった。とくに、第2小臼歯部では発生するひずみの大きさは 10 $\mu\epsilon$ 以下にとどまっていて、第2小臼歯の機能咬頭部および遠心辺縁隆線部にバイトテーブルを介して 1 点荷重を加えたときに発生したひずみと比較して小さな値であった。このように、咬頭嵌合位で噛みしめた場合には、咬合力が各歯で分散

されるため 1 点荷重と異なり咬合力がすべてのマージン付近で均等に分散されることが明らかとなった。そして最大噛みしめによって生じた最大のひずみは、すべてのクラウンを通して 50 $\mu\epsilon$ であり、咬頭嵌合位での噛みしめは金属に疲労を与える可能性はないと考えてよい。

2) ブリッジについて

ブリッジの近心支台装置である第2小臼歯部に荷重を加えても、1 症例（症例 B-Br）の荷重側を除いて大きなひずみが認められた部位はなく、近心支台装置に加わった荷重によって遠心支台装置にはもちろん、近心支台装置自体にもほとんどひずみは生じていなかった。

例外的な症例 B-Br では荷重を加えた近心支台装置の頬側面のマージン付近で、圧縮ひずみの発生がみられた。症例 B-Br の支台歯の高さは、他の 2 症例に比べて、近心歯支台歯の遠心面で約 3/5、遠心支台歯の舌側面では約 1/2 であり、ブリッジの形態も他の 2 症例と比較すると支台装置の丈が低くポンティック部の厚みが薄いなど剛性が低い形態であった。このことは症例 B-Br のひずみの発生に深く関与しているものと思われ、支台歯の形態が支台装置のひずみに及ぼす影響は大きいことが示唆された。

一方、遠心支台装置である第2大臼歯部に荷重を加えた場合、3 症例すべてにおいて遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に大きな引張ひずみが認められた。さらに、症例 A-Br, B-Br では、遠心支台装置の連結側の舌側面マージン付近にも大きな引張ひずみが発生していた。この引張ひずみの方向から推測するとマージン部付近を押し広げるようなひずみが生ずることとなる。ひずみの大きさによっては、このようなひずみが繰り返し発生すると、セメントの溶解や破壊などが惹起される可能性があるため、辺縁隆線部に強い荷重が加わるような咬合接触は避けるべきと思われる。

症例 B-Br では、非荷重側にあたる舌側面の引張りひずみの値が荷重側である頬側面の値を上回っていた。先にも述べたように、症例 B-Br の遠心支台装置舌側面の高さは頬側面の約 1/2 程度であり、ブリッジ自体も他の 2 症例に比べて剛性が低い形態であった。このことが、遠心支台装置の頬側面のみならず舌側面においても大きなひずみを生じさせた原因と思われる。

さらに、症例 B-Br では、第 2 大臼歯部に荷重を加えた際に近心支台装置である第 2 小臼歯の頬側面マージン付近に圧縮ひずみの発生がみられた。この圧縮ひずみは第 2 大臼歯部の近心辺縁隆線部に荷重を加えたときより機能咬頭部に荷重を加えたときの方が約 2 倍の大きさを示した。これは、症例 B-Br のような剛性が低い形態のブリッジではモーメントの影響を受けやすく、第 2 小臼歯からより離れた部位に荷重を加えたためにひずみの値が大きくなったものと考えられる。この現象は、剛性が低い形態のブリッジでは、遠心支台装置に加わった荷重が近心支台装置に影響を与える可能性があることを示唆している。

ポンティックに加わった荷重も支台装置に影響を及ぼした。ポンティック中央部に荷重を加えた場合、症例 A-Br では遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に大きな引張りひずみが、症例 B-Br では近心支台装置の頬側に大きな圧縮ひずみが発生していた。そして、症例 C-Br ではいずれのマージン付近にも大きなひずみの発生はみられなかった。さらに、ポンティック遠心頬側咬頭部に荷重を加えた場合、症例 A-Br, B-Br では、遠心支台装置の連結側舌側面に大きな引張りひずみの発生がみられ、症例 C-Br では、同部位の頬側面には大きな引張りひずみが発生したが、舌側面では発生しなかった。症例 B-Br ではその他に近心支台装置の頬側面に大きな圧縮ひずみの発生がみられた。

以上のことから、ポンティックに加わった荷重は、近心支台装置、遠心支台装置の両方に影響を及ぼすが、同一荷重点に加重を加えても、発生するひずみはすべての症例で異なるパターンを示したことから、ポンティックに加わる荷重により発生する応力は複雑であることが明らかとなった。したがって、ポンティックには大きな応力がかからないように、ポンティックの形態や咬合調整に留意する必要があることが示唆された。

咬頭嵌合位での噛みしめでは、すべての症例で遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近に比較的大きな引張りひずみがみられた。また、症例 B-Br では近心支台装置の頬側面マージン付近でも圧縮ひずみが認められた。すなわち、ブリッジでは咬頭嵌合位で噛みしめた際に、咬合力がすべてのマージン付近で均等に分散されず遠心支台装置の連結側の頬側面マージン付近がひずむことが明

らかとなった。これはブリッジに与える咬合接触点の強さ、大きさ、数などによってかなり変化するものと考えられる。今回の実験では均等に咬合を与えるように留意したが、第 2 小臼歯よりポンティック部や第 2 大臼歯の方が咬合面の面積も広く、この部位で咬合力をより負担したことにより、このような結果になったものと思われる。以上のことから、ブリッジの場合は遠心支台装置のひずみが減少するようにマージン部の厚みを厚くしたり、補助保持装置をつけたりするなどの工夫をすることが望ましいことが分かった。

3) クラウンとブリッジの比較

近心の支台装置である第 2 小臼歯部に荷重を加えると、症例 A, C では、有意差がみられないか、もしくは単独クラウンの方がひずみは有意に大きくなり ($P < 0.05$)、症例 B では、有意差がみられないか、もしくはブリッジに発生するひずみの方が有意に大きくなった ($P < 0.05$)。すなわち、症例 B では近心・遠心支台装置の高さが低いために、ブリッジは剛性が低くなり、荷重によってブリッジ全体がたわむ可能性があり、このことにより加わった荷重が遠心支台装置も含めたブリッジ全体に分散されにくくなったものと思われる。このことがブリッジに発生するひずみの方が大きくなった一因と考えられる。

一方、第 2 大臼歯に荷重を加えた場合、最大主ひずみに関しては、すべての症例で単独クラウンよりもブリッジの方が有意に大きな値を示す ($P < 0.05$) か、有意差がないという結果を示した。とくに、欠損側ではほとんどの症例でブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P < 0.05$)。最小主ひずみに関しても、半数以上の症例でブリッジの方が有意に大きな値を示した ($P < 0.05$)。このように、第 2 大臼歯に荷重が加わると、ブリッジに発生するひずみは単独のクラウンに発生するひずみと同等か大きくなる傾向にあることが明らかになった。

一般に、3 ユニット程度のブリッジでは歯を連結しても各支台歯の変位経路に影響を及ぼすことは少ない²¹⁾。また、今回の実験では第 2 小臼歯に大きなひずみが発生した症例 B と発生しなかった症例 A とは同一被験者であり、石膏模型やレントゲン写真から支台歯の方向、歯根の方向や形態、歯槽骨の状態などを調べたところ、明らかな違いはみられなかった。また、症例 C も異なる被験者であるが症例 A, B と比較して歯周組織の状態に明らかに異なる点はなかった。したがって、近心支台装置である第 2 小臼歯のひずみが症例 B のみ大きくなった原因はブリッジが剛性の低い形態であったためと推測できる。

一方、遠心支台装置である第 2 大臼歯ではすべての症例でブリッジの方が大きなひずみを示したことから、ブ

リッジの剛性にかかわらず、遠心支台装置では歯を連結するとひずみが大きくなることが示された。

このことよりブリッジでは遠心支台装置の連結部に大きなひずみが生ずる可能性が高いので、ひずみが生じないような工夫をすべきであり、さらに症例 B のように剛性が低い形態の場合は遠心支台装置のみならず近心支台装置にも何らかの工夫をすることが望ましい。

3. 臨床的意義

今回の実験結果から、クラウンに荷重が加わった場合には、下顎第 2 小臼歯、第 2 大臼歯のいずれのクラウンでも大きなひずみが認められる部位はほとんどなかった。したがって、単独のクラウンでは、加わった荷重は比較的均等に分散され、マージン付近にひずみが生ずることは少なく、合着用セメントが破壊する確率は低いものと考えられる。

一方、同一歯を支台歯とした下顎第 1 大臼歯欠損のブリッジでは、遠心の支台装置である下顎第 2 大臼歯クラウンの連結側マージン付近に大きなひずみが生ずることが明らかとなった。このことは、3 ユニットブリッジを装着した場合には、遠心の支台装置が離脱する可能性が高いことを示しており、臨床的には、遠心支台歯に補助的保持形態を付与したり、マージン付近の変形を防ぐ意味で、マージン部のクラウンの厚さを厚くしたりして、変形を防止し、遠心支台装置の離脱防止対策を考慮する必要があるものと考えられる。

V. 結 論

下顎第 1 大臼歯欠損症例を対象として、同一支台歯にクラウンのみを装着した場合と固定性 3 ユニットブリッジを装着した場合に、咬合力によって生じた補綴物の表面ひずみを測定して、以下の結論を得た。

1. 支台装置に荷重を加えると、クラウン、ブリッジともに、荷重を加えた部位のマージン付近で歯軸方向に圧縮ひずみが、歯軸と直角方向に引張ひずみが認められた。
2. クラウンでは、マージン付近に大きなひずみが生ずることは少なかった。ブリッジでは、遠心の支台装置である下顎第 2 大臼歯クラウンの連結側マージン付近に大きなひずみが生じた。
3. 近心支台装置に荷重を加えても、クラウン、ブリッジともに、マージン付近に生ずるひずみは小さかった。
4. 遠心支台装置に荷重を加えると、荷重を加えた部位のマージン付近に生ずるひずみの大きさはクラウンと比較してブリッジの方が大きく、とくにブリッジでは遠心支台装置の連結側である近心歯頸部のマージン付近に大きな引張ひずみが認められた。

5. ブリッジでは、近心支台装置に荷重を加えても、遠心支台装置のひずみの大きさには変化がなかったが、遠心支台装置に荷重を加えたときには、剛性が低い形態であった 1 症例で近心支台装置に大きな圧縮ひずみが認められた。

6. ブリッジのボンティックに荷重が加わると、両支台装置にひずみが生じたが、その傾向は一定ではなかった。

以上のことより、単独のクラウンでは、加わった荷重は比較的均等に分散され、ブリッジでは、大きなひずみが生ずる部位があることが明らかとなった。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 口腔機能再構築学系 摂食機能保存学講座 摂食機能保存学分野 三浦宏之教授、本学生体材料工学研究所システム研究部門機械分野 宮入裕夫教授ならびに本研究の緒を与えられ、ご指導いただきました長谷川成男 明倫短期大学教授に謹んで感謝の意を表します。

また、本研究に際し多大なるご助言、ご教示をいただきました本学附属病院インプラント治療部 塩沢育己助教授ならびに本学生体材料工学研究所システム研究部門機械分野 高久田和夫助教授に心から感謝の意を表します。

さらに種々なるご援助、ご協力をいただきました本学摂食機能保存学講座 摂食機能保存学分野ならびに生体材料工学研究所システム研究部門機械分野の諸先生方に厚くお礼申し上げます。

本研究の要旨の一部は、第 104 回日本補綴歯科学会学術大会（平成 12 年 11 月、大阪）において発表した。

文 献

- 1) Craig, R. G. and Peyton, F. A. : Measurement of stresses in fixed-bridge restorations using a brittle coating technique. *J. Dent. Res.* 44 : 756-762, 1965.
- 2) Farah, J. W. and Craig, R. G. : Distribution of stresses in porcelain-fused-to-metal and porcelain jacket crowns. *J. Dent. Res.* 54 : 255-261, 1975.
- 3) El-Ebrashi, M. K., Craig, R. G. and Peyton, F. A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part VII. Structural design and stress analysis of fixed partial dentures. *J. Prosthet. Dent.* 23 : 177-186, 1970.
- 4) Goldstein, G. R., Wesson, A., Schweitzer, K., *et al.* : Flexion characteristics of four-unit fixed partial denture frameworks using holographic interferometry. *J. Prosthet. Dent.* 67 : 609-613, 1992.
- 5) Randow, K. and Dérand, T. : On functional strain in some fixed and removable partial dentures. An experimental in vitro study. *Acta. Odontol. Scand.* 51 : 153-159, 1993.
- 6) Randow, K. and Dérand, T. : On functional strain in fixed and removable partial dentures. An experimental in vivo study. *Acta. Odontol. Scand.* 51 : 333-338,

- 1993.
- 7) Glantz, P. O., Strandman, E., Svensson, S. A., *et al.* : On functional strain in fixed mandibular reconstructions. I. An in vitro study. Acta. Odontol. Scand. 42 : 241-249, 1984.
- 8) Craig, R. G. and Peyton, F. A. : Measurement of strains in fixed bridges with electronic strain gauges. J. Dent. Res. 46 : 615-619, 1967.
- 9) Tillitson, E. W., Craig, R. G. and Peyton, F. A. : Experimental stress analysis of fixed partial dentures by use of a dynamic method. J. Dent. Res. 50 : 422-429, 1971.
- 10) Glantz, P. O., Nyman, S., Strandman, E., *et al.* : On functional strain in fixed mandibular reconstructions. II. An in vivo study. Acta. Odontol. Scand. 42 : 269-276, 1984.
- 11) 山下潤朗 : 機能下におけるクラウンおよびブリッジの表面ひずみに関する研究. 補綴誌 40 : 952-963, 1996.
- 12) Yamashita, J., Shiozawa, I. and Takakuda, K. : A comparison of in vivo and in vitro strain with posterior fixed partial dentures. J. Prosthet. Dent. 77 : 250-255, 1997.
- 13) Yamashita, J., Shiozawa, I., Takakuda, K. and Miyairi, H. : Surface strain on crown and luting cement fractures. Int. J. Prosthodont. 10 : 332-339, 1997.
- 14) Yamashita, J., Shiozawa, I., Takakuda, K. and Miyairi, H. : Deformation of restoration and fracture of luting cement film. J. Dent. 26 : 459-466, 1998.
- 15) Yamashita, J., Takakuda, K., Shiozawa, I., Nagasawa, M. and Miyairi, H. : Fatigue behavior of the zinc-phosphate cement layer. Int. J. Prosthodont. 13 : 321-326, 2000.
- 16) 松島 諒 : 咬合時における固定性ブリッジのひずみについて. 歯科医学 34 : 371-389, 1971.
- 17) 清水 勲 : 第 1 大臼歯の喪失に関する研究 特に抜歯の頻度についての年令的考察. 歯科医学 23 : 1094-1099, 1960.
- 18) 杉田拓也 : クラウンの合着に関する力学的研究—クラウン軸面の厚さによる影響—. 歯材器 18 : 472-479, 1999.
- 19) Unwin, W. C. : The elements of machine design fourteenth edition. London, 1894, Longmans, Green, and Co, 23-24.
- 20) 森川昭彦 : 下顎第一大臼歯における機能時の咬合力に関する研究. 口病誌 61 : 250-274, 1994.
- 21) 古木 謙 : 連結固定が歯牙の変位様相に及ぼす影響. 補綴誌 37 : 26-40, 1993.