

[原著] 松本歯学 20 : 50~57, 1994

Key words : 延長ブリッジ - 下顎骨 - 応力

延長ブリッジ装着時の咬合面垂直荷重に対する 下顎骨の力学的反応

岩崎精彦, 吉原隆二, 甘利光治

松本歯科大学 歯科補綴学第2講座 (主任 甘利光治 教授)

Dynamic Responses of the Mandible to Vertical Load
with Extension-Bridges

KIYOHICO IWASAKI, RYUJI YOSHIHARA and MITSU HARU AMARI

Department of Prosthodontics II, Matsumoto Dental College

(Chief : Prof. M. Amari)

Summary

Extension-bridge has been accepted as the substitute for removable partial dentures for patients missing most distal teeth due to the fact that removable partial dentures cause discomfort for patients. On the other hand, it is pointed out that the cantilever force of the extension-bridge causes periodontal disease with absorption of bone and gingivitis of the abutment teeth.

In this study, we attached the three-unit-extension-bridge to the dried mandibular bone of an adult human and force corresponding to 5 kg was applied to the bridge. The stress of various areas on the buccal surface of bone was measured using a strain gauge. On the other side, the same force was applied to natural teeth and the strain was measured as a control.

In the control, the stress was revealed to be dispersed widely throughout the bone, which could be the result of a change in direction of the strain in response to the magnitude.

In the experimental side, a different response was observed between two abutments ; stress was concentrated in the abutment adjacent to a missing tooth as a result of the unchanged direction of the strain, and because the direction of strain changed only slightly, stress was not concentrated around the anterior abutment tooth.

緒 言

延長ブリッジは、可撤性部分床義歯に比べて装着感が良いため最後方臼歯欠損の補綴方法として

臨床で広く用いられ、2~7年間の良好な経過が報告されている¹⁻⁶⁾。ところが、延長ブリッジはポ
ンティックに対する支台歯の配列位置から、咬合
力および咀嚼力によって槓杆作用が生じやすく、
中間架工義歯に比べて支台歯周辺の歯周組織へ為
害作用を及ぼす危険性がある。したがって、延長

(1994年3月3日受理)

ブリッジを製作するときには、延長ブリッジに加わる咬合力および咀嚼力に対する下顎骨の力学的特性を十分に検討しなければならない⁷⁻⁹⁾。

延長ブリッジに荷重したときの力学的な研究は、光弾性法あるいは有限要素法を用いた報告があり、Glantz, et. al.¹⁰⁾ Laurell, et. al.¹¹⁾は延長ブリッジそのものについてポンティックと欠損側支台歯の間に曲げ応力が作用するとし、Wylie et. al.¹²⁾ Awadalla et. al.¹³⁾は欠損側最後方歯にもっとも応力が集中するとしている。しかし、下顎骨自体の力学的な反応を直接測定観察し、その影響を考察したものはない。

そこで、私たちは延長ブリッジを装着したときの下顎骨の力学的な反応を解明する目的で、ストレインゲージ法を用いてヒト成人乾燥下顎骨のひずみを測定した。

材料および方法

1. 実験材料

1) 下顎骨およびその固定法

人工歯根膜としてビニルシリコン印象材（エクザファイン，G-C社製）を用いヒト成人乾燥下顎骨の咬合平面が床と平行になるように、下顎骨下縁を超硬石膏で固定した。

なお、人工歯根膜への植立は、抜歯窩に印象材を満たして歯を手指圧にて圧入した。

2. 実験方法

実験は左側を実験側、右側を対照側とし以下の方法で行った。

1) 延長ブリッジの製作

実験に供した延長ブリッジは、左側第二大臼歯を抜去し第二小臼歯および第一大臼歯を支台歯とし、これに通法にしたがってフルキャストクラウンを12%金銀パラジウム合金（キャストウエル[®]，M. C. G-C社製）を用いて製作した。

なお、ポンティックは小臼歯形態とし、その大きさは頬舌径および近遠心径を抜去した歯の大きさのそれぞれ約3/4および約1/2とし、基底面形態は離底型とした。また、延長ブリッジの支台歯への合着は、ガラスアイオノマーセメント（KETAC[®]，ESPE社製）を用い通法に従い練和し、手指圧にて合着した。

2) ストレインゲージの貼付

実験側および対照側の下顎骨頬側面をエチルア

ルコールで清掃し、三軸ストレインゲージ（KFC-2-120-D17-11L3M2S，低抗値：119.6 $\Omega \pm 0.4$ ，ゲージ率：2.07 $\pm 1.0\%$ ，共和電業社製）をシアノアクリレート系瞬間接着剤（アロンアルファ[®]，東亜合成化学社製）で、第一、第二小臼歯，第一大臼歯および第二大臼歯の歯根中央部付近の下顎骨表面に貼付した（図1）。

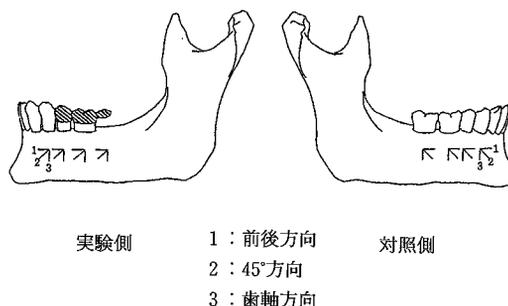


図1：ストレインゲージの貼付部位および方向

3) 荷重の方法

実験側および対照側の第一小臼歯と第二小臼歯は咬合面中央部に、第一大臼歯は中央窩に、実験側のポンティックは、第一大臼歯遠心辺縁隆線より約2 mmのポンティック近心部および約5 mmのポンティック遠心部に、そして対照側の第二大臼歯は近心小窩および中央窩に、プシュブルゲージ（AE-10，アイコーエンジニアリング社製）を用いて、5 kgの垂直荷重を加えた。

4) ひずみの測定および記録方法

下顎骨骨体表面に現れるひずみをひずみ計用ブリッジボックス（N4297，三栄測器社製）を介して、動ひずみ測定器（6M-62S，三栄測器社製）で測定し、ペンオシログラフ（8K-22L，三栄測器社製）に記録した。

結 果

1. ひずみの量および性質

1) ひずみ量

(1) 実験側

三軸ストレインゲージの各軸に生ずるひずみ量の総和（以下総ひずみ量とする）は、ポンティック遠心部荷重時に第二小臼歯および第一大臼歯骨面でそれぞれ、95 μs ，115 μs を示し、またポン

ティック近心部荷重時は第一大臼歯部の骨表面で $95 \mu s$ と他の測定部位より大きかった (表 1).

(2) 対照側

第二小臼歯および第二大臼歯近心小窩に荷重したときに、第一小臼歯および第二大臼歯の骨面にそれぞれ $85 \mu s$ と他の測定部位よりも大きな総ひずみ量が認められた (表 2).

2) ひずみの性質

(1) 実験側

どの部位に荷重を加えても、第一小臼歯および第二小臼歯の骨面では伸展する傾向を示したのに対して第一大臼歯および第二大臼歯の骨面では圧縮する傾向が認められた (表 3).

(2) 対照側

表 1：実験側各測定部位に生ずる総ひずみ量

荷重部位 測定部位	左側下顎 第二小臼歯	左側下顎 第一大臼歯	ポンティック 近心	ポンティック 遠心
左側下顎 第一小臼歯	35	25	45	60
左側下顎 第二小臼歯	90	45	75	95
左側下顎 第一大臼歯	35	75	95	115
左側下顎 第二大臼歯	15	25	35	55

(μs)

表 2：対照側各測定部位に生ずる総ひずみ量

荷重部位 測定部位	右側下顎 第二小臼歯	右側下顎 第一大臼歯	右側下顎 第二大臼歯 近心	右側下顎 第二大臼歯 中央
右側下顎 第一小臼歯	85	25	25	15
右側下顎 第二小臼歯	70	35	60	25
右側下顎 第一大臼歯	35	40	85	70
右側下顎 第二大臼歯	15	25	25	40

(μs)

表 3：実験側各測定部位におけるひずみの性質

荷重部位 測定部位	左側下顎 第二小臼歯	左側下顎 第一大臼歯	ポンティック 近心	ポンティック 遠心
左側下顎 第一小臼歯	1	+	-	-
	2	-	+	+
	3	+	+	+
左側下顎 第二小臼歯	1	-	-	-
	2	-	+	+
	3	-	+	+
左側下顎 第一大臼歯	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	+
左側下顎 第二大臼歯	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-

どの部位に荷重を加えても第一大臼歯および第二大臼歯の骨面の前後方向と45°方向とは圧縮し、歯軸方向は伸展する傾向が認められた(表4)。

2. 主ひずみの量および方向

1) 主ひずみ量

(1) 実験側

総主ひずみ量(主ひずみの伸展ひずみと圧縮ひ

ずみ量との和)は、ポンティック遠心部に荷重を加えたときに、第二小臼歯および第一大臼歯の骨面でそれぞれ130 μ s、112 μ sと他の測定部位に比べて著しく大きな値を示した(表5)。

(2) 対照側

第二小臼歯および第一大臼歯に荷重を加えたときには、それぞれの被験歯の骨面に、また第二大

表4: 対照側各測定部位におけるひずみの性質

測定部位 \ 荷重部位	右側下顎 第二小臼歯	右側下顎 第一大臼歯	右側下顎 第二大臼歯 近心	右側下顎 第二大臼歯 中央
右側下顎 第一小臼歯	1 2 3	- + -	- - +	- - -
右側下顎 第二小臼歯	1 2 3	+ + +	- - +	+ - -
右側下顎 第一大臼歯	1 2 3	- - +	- + +	- - +
右側下顎 第二大臼歯	1 2 3	- - +	- - +	- - +

表5: 実験側各測定部位に生ずる総主ひずみ量

測定部位 \ 荷重部位	左側下顎 第二小臼歯	左側下顎 第一大臼歯	ポンティック 近心	ポンティック 遠心
左側下顎 第一小臼歯	41	22	38	51
左側下顎 第二小臼歯	63	60	92	130
左側下顎 第一大臼歯	25	60	75	112
左側下顎 第二大臼歯	10	15	25	23

(μ s)

表6: 対照側各測定部位に生ずる総主ひずみ量

測定部位 \ 荷重部位	右側下顎 第二小臼歯	右側下顎 第一大臼歯	右側下顎 第二大臼歯 近心	右側下顎 第二大臼歯 中央
右側下顎 第一小臼歯	64	40	21	10
右側下顎 第二小臼歯	81	30	51	29
右側下顎 第一大臼歯	30	51	65	67
右側下顎 第二大臼歯	14	21	22	35

(μ s)

臼歯近心小窩および第二大臼歯中央窩に荷重を加えたときには、第一大臼歯の骨面に他の測定部位と比べて大きな総主ひずみ量が認められた(表6).

2) 主ひずみの方向

(1) 実験側

第一小臼歯の骨面の圧縮ひずみの方向は、第二小臼歯に荷重を加えたときは、前下方から後上方に向かっていたが、第一大臼歯、ポンティック近

心部およびポンティック遠心部に荷重を加えたときには、時計の針の進行方向へ約50°変わった(図2, 表7).

第二小臼歯の骨面の圧縮ひずみの方向は、第二小臼歯荷重時には前下方から後上方に向かっていた。しかし、第一大臼歯、ポンティック近心部およびポンティック遠心部に荷重を加えると、第二小臼歯に荷重を加えたときとはまったく反対方向、すなわち時計の針の進行方向に約90°変わった

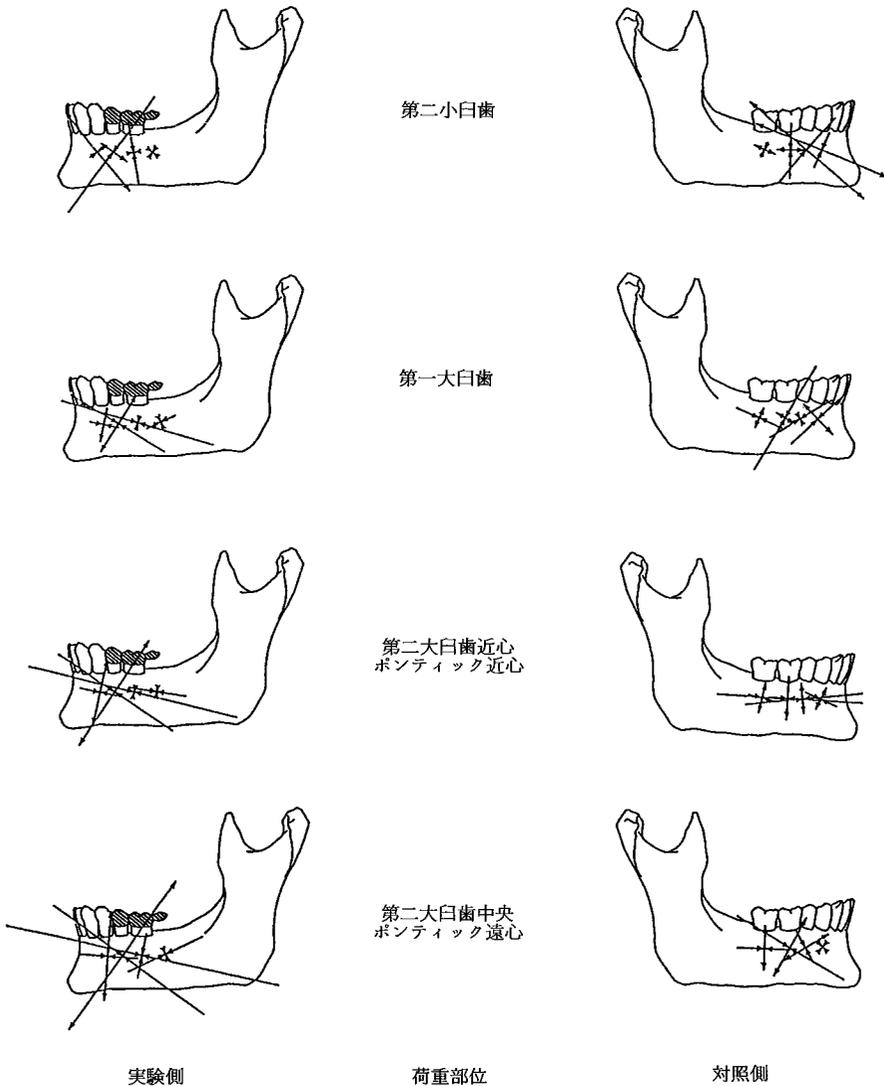


図2：荷重部位と主ひずみ量および方向

20μs

(図2, 表7).

第一大臼歯の骨面の主ひずみは圧縮ひずみのみであったが、二つの主ひずみのうち大きな主ひずみの方向は第二小臼歯へ荷重したときは、歯軸方向であった。しかし、第一大臼歯、ポンティック近心部およびポンティック遠心部に荷重を加えたときには前後方向に変わった(図2, 表7)。

第二大臼歯骨面の主ひずみも圧縮ひずみのみであった。二つのうち大きな主ひずみは第二小臼歯に荷重を加えたときには前下方から後上方に向かっていたが、第一大臼歯およびポンティック遠心部荷重時には約20°, ポンティック近心部荷重時には約54°, 時計の針の進行方向に変わった(図2, 表7)。

(2) 対照側

第一小臼歯の骨面の圧縮ひずみの方向は第二小臼歯荷重時には前上方から後下方に向かっていたが、第一大臼歯に荷重を加えると約20°, 第二大臼歯の近心小窩および中央窩に加えたときにはさらに90°それぞれ時計の針の進行方向に変わった(図

2, 表8)。

第二小臼歯の骨面の圧縮ひずみの方向は、第二小臼歯荷重時には前上方から後下方に向かっていたが、第一大臼歯へ荷重したときには約20°, 第二大臼歯近心小窩へ荷重した時には約40°, それぞれ時計の針の進行方向へ、第二大臼歯遠心小窩へ荷重したときには約70°, 時計の針の進行方向とは反対の方向へ変わった(図2, 表8)。第一大臼歯の骨面の圧縮ひずみの方向は第二小臼歯荷重時には歯軸の方向であったが、第一大臼歯へ荷重すると約60°, 第二大臼歯近心小窩へ荷重した時にはさらに約30°, そして第二大臼歯中央窩荷重時にはさらに約60°, それぞれ時計の針の進行方向へ変わった(図2, 表8)。

第二大臼歯の骨面の圧縮ひずみの方向は、第二小臼歯荷重時には前上方から後下方に向かっていたが、第一大臼歯、第二大臼歯近心小窩および第二大臼歯中央窩荷重時には時計の針の進行方向へそれぞれ、約90°, 50°および30°変わった(図2, 表8)。

表7：実験側各測定部位の主ひずみの方向

荷重部位 測定部位	左側下顎 第二小臼歯	左側下顎 第一大臼歯	ポンティック 近心	ポンティック 遠心
左側下顎 第一小臼歯	38.0°	-13.3°	-11.6°	-5.7°
左側下顎 第二小臼歯	-35.8°	-32.8°	-33.8°	-37.2°
左側下顎 第一大臼歯	9.2°	-18.4°	-14.2°	-13.3°
左側下顎 第二大臼歯	45.0°	22.5°	-9.2°	22.5°

表8：対照側各測定部位の主ひずみの方向

荷重部位 測定部位	右側下顎 第二小臼歯	右側下顎 第一大臼歯	右側下顎 第二大臼歯 近心	右側下顎 第二大臼歯 中央
右側下顎 第一小臼歯	-22.5°	45.0°	-22.5°	45.0°
右側下顎 第二小臼歯	-41.4°	31.7°	5.7°	29.5°
右側下顎 第一大臼歯	0°	-30.5°	-2.2°	-31.7°
右側下顎 第二大臼歯	-22.5°	-22.5°	-13.3°	-4.1°

考 察

延長ブリッジは、装着感が良いことから臨床でよく用いられる方法である。ところが、残存支台歯の配列位置から咬合力および咀嚼力による槓杆作用が著しく、歯周組織に為害作用を及ぼすことが懸念されている^{6,12,13)}。臨床面では、槓杆作用を軽減し装着後長期にわたって使用するための一つの方法として、注意深い咬合調整を行うことが必要とされている¹⁴⁾。しかし、咬合調整の根拠となるべき延長ブリッジに荷重が加わったときの下顎骨の力学的反応については十分に解明されていない。

そこで、私たちはヒト乾燥下顎に延長ブリッジを装着して、ブリッジの咬合面に垂直荷重を加えたときの下顎骨の力学的反応をストレインゲージ法を用いて測定し、上述の実験結果を得た。

以下、これを考察する。

まず荷重に対するひずみ量について検討すると、第一大臼歯およびポンティックに荷重を加えると、実験側の各測定部位は対照側よりも総ひずみ量が著しく大きかった。この傾向は、ポンティック部へ荷重を加えたときに特に著しく1.5~4.0倍を示した。この現象は、ポンティック部に荷重を加えると第一大臼歯および第二小臼歯が変位していることを示すものである。さらに、第一小臼歯の骨面の主ひずみ量も増加していることから(表5)、接触点を介してブリッジ前方の歯を変位させるため、その結果、前方歯の骨面にも応力の影響が及んでいることがわかる。

次に主ひずみの方向について検討を加えると、実験側において、第二小臼歯骨面の主ひずみの方向は、第二小臼歯に荷重を加えたときと第一大臼歯、ポンティック近心部およびポンティック遠心部に荷重を加えたときとは著しく異なっていた(図2)。また、第一大臼歯骨面の主ひずみの方向は、第二小臼歯荷重時と第一大臼歯、ポンティック近心部およびポンティック遠心部荷重時とは、大きく異なったが、後三者間にはほとんど差はなかった(図3)。これに対して、対照側においては、荷重歯が変わるとそれともなって、荷重時の下顎骨表面の主ひずみの方向も著しく変化した(図2)。

以上のことから、対照側においては歯に加わっ

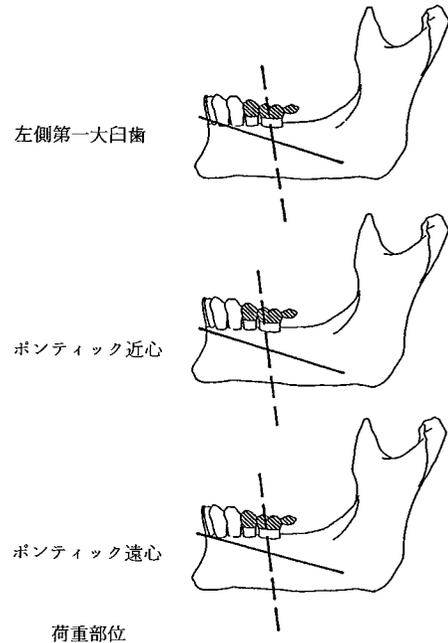


図3：左側第二大臼歯骨面の主ひずみの圧縮ひずみの方向。

破線：[5]に垂直荷重を加えたときの圧縮ひずみの方向。

実線：各荷重部位における方向。[6]に荷重を加えると[5]に荷重を加えたときとは約90°変わった。そして[7]近心、[7]遠心と荷重部位を後方に変えるにつれて圧縮ひずみの方向は時計の針の進向方向にわずかずつ変わった。

た荷重は下顎骨内で広い範囲に分散されているのに対して、実験側においては単根歯であり歯根の表面積が小さい第二小臼歯は歯の位置を微妙に変えることによって応力を分散するが、複根歯であり、連結されている第一大臼歯は応力を広く分散できないために同部に応力が集中することがわかる。

ところで、ポンティックに荷重を加えたときには、第一大臼歯の骨面には圧縮ひずみしか現れなかった。さらに、荷重を第一大臼歯に加えたときとポンティック近心部へ荷重したときとは主ひずみの方向は類似している。このことから、第一大臼歯は頰側方向に強く傾斜し、その結果第一大臼歯の骨面には応力が集中しやすくなることがわかる。

以上のことから、延長ブリッジに荷重が加わる

と支台装置に連結された支台歯は一体となって荷重に抵抗するが、欠損側最後方歯の周辺の歯槽部には応力が集中することから、同部は槓杆作用の中心となっていることが想像できる。即ち、欠損側最後方歯は槓杆作用により、圧迫側である頬側面の歯槽骨の吸収を起こす可能性のあることが示唆された。

結 論

ヒト乾燥下顎骨最後方臼歯の左側第二大臼歯を抜去し、同第二小臼歯および同第一大臼歯を支台歯とする延長ブリッジを装着し、第二小臼歯、第一大臼歯、ポンティック近心部およびポンティック遠心部に垂直荷重を加えたときの下顎骨表面のひずみを測定した結果、ポンティックへ荷重すると、歯周組織へ為害作用を及ぼすと考えられる応力が欠損側最後方歯周辺の歯槽骨に集中する可能性のあることが示唆された。

文 献

- 1) Budtz-Jørgensen, E., Isidor, F. and Karring, T. (1985) Cantilevered fixed partial dentures in a geriatric population: Preliminary report. *J. Prosthet. Dent.* **54**: 476—473.
- 2) Isidor, F. and Budtz-Jørgensen, E. (1987) Periodontal conditions following treatment with cantilever bridges or removable partial dentures in geriatric patients. A 2-year study. *Gerodontics.* **3** (3): 117—121.
- 3) Hochman, N., Ginio, I. and Ehrlich, J. (1987) The cantilever fixed partial denture: A 10-year follow-up. *J. Prosthet. Dent.* **58**: 542—545.
- 4) Budtz-Jørgensen, E. and Isidor, F. (1987) Cantilever bridge or removable partial dentures in geriatric patients: a two-year study. *J. Oral Rehabil.* **14**: 239—249.
- 5) Carson, B. R., Yontchev, E. and Carson, C. E. (1989) Extensive fixed partial dentures on mandibular canine teeth: A 5-year recall study. *Int. J. Prosthodont.* **2**: 265—271.
- 6) Himmel, R., Pilo, R., Assif, D. and Aviv, I. (1992) The cantilever fixed partial denture-A literature review. *J. Prosthet. Dent.* **67**: 484—387.
- 7) Wright, W. E. (1986) Success with the cantilever fixed partial denture. *J. Prosthet. Dent.* **55**: 537—539.
- 8) 伊藤創造, 沖野憲司, 石橋寛二(1989)延長ブリッジをどうかんがえるか 補臨床綴, 別冊 47—50.
- 9) Lang, W. (1990) 延長ブリッジにおける矢状的荷重配分 *Quintessence Dent. Technol.* **15**: 1693—1694.
- 10) Glantz, P. O., Nyman, S., Strandman, E. and Randow, K. (1984) On functional strain in fixed mandibular reconstruction. *Acta. Odontol. Scand.* **42** (5): 269—276.
- 11) Laurell, L. and Lundgren, D. (1988) Distribution of occlusal forces along unilateral posterior two-unit cantilever segments in cross-arch fixed partial dentures. *J. Prosthet. Dent.* **60**: 106—112.
- 12) Wylie, R. S. and Caputo, A. A. (1991) Fixed cantilever splints on teeth with normal and reduced periodontal support. *J. Prosthet. Dent.* **66**: 737—742.
- 13) Awadalla, H. A. and Azarbal, M. (1992) Three-dimensional finite element stress analysis of a cantilever fixed partial denture. *J. Prosthet. Dent.* **68**: 243—247.
- 14) Laurell, L. and Lundgren, D. (1992) Influence of occlusion on posterior cantilevers. *J. Prosthet. Dent.* **67**: 645—652.