原 著 論 文

マイクロ波重合法による床用レジンの検討

—表面硬度および三点曲げ強さについて—

田辺 直紀 佐藤 吉則* 高橋 博
土生 博義 阿崎 正之* 松津 里香*
永井 学 大木 一三*

Microwave Processing of Denture Base Resins

—Measurement of Surface Hardness and Transverse Strength—

Naoki Tanabe, Yoshinori Satoh*, Hiroshi Takahashi,
Hiroyoshi Habu, Masayuki Azaki*, Rika Matsuzu*,
Manabu Nagai and Katsuzo Ohki*

Abstract : In this study we compared the results of the superficial Rockwell hardness test and the transverse strength test of 6 denture base resins by curing all these specimens with microwave.

The following results were obtained from these tests :

1. Concerning heat curing resin, hardness of the most outer surface did not change between microwave curing and heat curing. However hardness of polished surface decreased. As to flexure strength there was no significant difference between the result of microwave curing and heat curing, but modulus of elasticity decreased.

2. Concerning self-curing resin, the type in which the size of powder polymers is reduced to increase its flow revealed the decrease of surface hardness by microwave curing comparing with the result of curing designated by the manufacturer. The flexure test showed no significant difference or some increase of flexure strength and modulus of elasticity by microwave curing comparing with curing designated by the manufacturer.

3. When each type of resin is cured by microwaves, hardness of polished surface decreases. However strength is assumed to increase by increased generation of internal heat due to increase of monomers during irradiation of microwaves.

Key words : denture base resin, microwave, surface hardness, transverse strength

日本大学歯学部総合歯学研究所材料研究室（主任：土生博義助教授）

*日本大学歯学部歯科補綴学教室局部床義歯学講座（主任：大木一三教授）

Dental Materials Research Division Nihon University School of Dentistry (Director : Assoc. Prof. Hiroyoshi Habu)

*Department of Removable Partial Denture Prosthodontics Nihon University School of Dentistry (Director : Prof. Katsuzo Ohki)

平成4年3月3日受付

I. 緒 言

床用レジンの重合法の 1 つとして、温水槽が不要で重合時間の短縮化が可能な、電子レンジを応用するマイクロ波重合法が開発¹⁾され、専用の床用レジンも市販されている。この方法は従来の方法と異なり、レジンを経部からの加熱ではなくて内部から加熱する方式である。マグネトロン発振器から照射されて吸収されたマイクロ波は、その吸収量に依じて、短時間にエネルギーが熱に転換（誘電加熱）され、その浸透力により短時間の照射でも被照射物質の表面と内部とが同時に加熱されることが特徴とされている。この方法は、新義歯の製作時のみならず床義歯の修理、増歯、リベースなどの際に応用することで、簡便にしかも旧義歯と同じレジンを用いた審美的な再製義歯を製作することが可能である。

そこで、市販の重合方法の異なる床用レジンマイクロ波重合した場合の理工学的性質を知ることは重要であると思われ、本研究ではレジン表面の硬度を、最表面と研磨面に分けて、また内部の硬化状態を三点曲げ試験により検討した。

II. 材料と方法

1. 材 料

実験に使用した材料は、表 1 に示す市販の 6 種類の床用レジン（以下、レジンと記す）で、加熱重合型（以下、加熱型と記す）の 3 製品、流し込み型の 2 製品およびマイクロ波重合型（以下マイクロ波型と記す）の 1 製品である。

2. 方 法

1) 試験体製作

試験体の製作は、規定の寸法のパラフィンワックスをフラスク中の石こうに埋没後、流し込んで得た石こう型に、製造者の指示に従って表 1 に示す粉液比で混和した各レジンを入りて重合する、石こう埋没法で行った。埋没用石こうには、普通石こう（下村石膏社製焼石こう〈Lot. No. 114160〉）を粉液比 0.37 で使用し、レジン分離剤（ジーシー社製アクロセップ〈Lot. No. 130101〉）を石こう型に小筆にて一層塗布した。

加熱型では、餅状化したレジン金属製フラスク内の石こう型に填入し、試圧後固定してから、70°C 温水中 90 分間および沸騰水中 30 分間で重合した。そして室温中 30 分間放冷につづき流水下で 15 分間の水中冷却の後、フラスクから重合体を取り出した。流し込み型では、パイプレータにより脱泡した混和物を石こう型に注入後、50°C 温水中で 20 分間、MC は 1.5 kgf/cm²、PR は 2.0 kgf/cm² の圧力下で重合させ、加熱型と同様に冷却してから取り出した。マイクロ波重合には、ジーシー社製 FRP (Fiber Reinforced Plastics) フラスク (HK タイプ) 内の石こう型に材料を填入し、試圧と固定後に電子レンジ（三洋電機社製 EM-M 535 T(w) 型、周波数 2,450 MHz、定格高周波出力 500 W）を使用して、上下面を反転させて 90 秒間ずつ計 180 秒間照射して重合させ、加熱型と同様に冷却してから取り出した。

2) 表面硬度試験

上記の方法で直径 20 mm、厚さ 5 mm の円盤状レジン板を製作した。一面を未研磨のまま、他の面を厚さが 4.5 mm になるまで耐水研磨紙 # 1200 で器械研

表 1 材料

重合型	製品名	製造者	Lot No.	粉液比	Code
加熱重合型	アクリン	ジーシー	粉 170801 液 041002	0.43	AC
	エルレジン	三金	粉 408 液 165	0.45	LR
	バイオレジン	松風	粉 109003 液 089045	0.50	BR
流し込み型	ニューモダンコア	三金	粉 223-302 液 224-003	0.70	MC
	ボアールレジン	松風	粉 0088984 液 069081	0.56	PR
マイクロ波重合型	アクリン MC	ジーシー	粉 101281 液 300112	0.43	ACm

表 2 未研磨面における各レジンの表面硬度と各レジン間の t 検定

Code	表面硬度				t 検定									
	指示重合		マイクロ波重合		指示重合					マイクロ波重合				
	Ave.	SD	Ave.	SD	LR	BR	MC	PR	ACm	LR	BR	MC	PR	ACm
AC	97.2	1.0	96.8	0.4	—	—	—	—	—	—	—	**	*	*
LR	97.1	0.3	96.9	0.3		—	—	*	—		—	**	*	—
BR	97.0	0.6	96.7	0.5			—	—	—			*	—	*
MC	96.8	0.3	96.0	0.7				—	*				—	**
PR	96.6	0.3	95.9	1.2					**					**
ACm	97.3	0.6	97.3	0.6										

* : 危険率 0.05 で有意

** : 危険率 0.01 で有意

磨, #1500 まで手研磨し, 室温水中に 24 時間保存した後, 研磨面と未研磨面の表面硬度を測定した。測定にはデジタル式スーパーフィシャルロックウェル硬度計 (松沢精機社製, DXT-3 型) に直径 3/4 インチの鋼球圧子を使用し, プラスティック測定仕様の基準荷重 3 kgf, 試験荷重 15 kgf, 荷重保持時間 15 秒の条件で行った。試験体各面について任意の 10 点を測定し, 平均値を求めて代表値とし, 各レジンの 8 個以上の試験体における代表値の平均値と標準偏差とを求めた。そしてレジン間の差および重合方法間の差を t 検定し, さらに研磨面と未研磨面とを対応させて平均値の差の検定を行った。

3) 三点曲げ試験

上記の方法で長さ 65 mm, 幅 10 mm, 厚さ 2.6 mm の板状レジン板を製作した。試験体の両面を厚さが 2.5 mm になるまで耐水研磨紙 #1200 で器械研磨し, 室温水中に 24 時間保存した後測定した。測定には, コンピュータ計測制御式精密万能試験機 (島津製作所社製, オートグラフ AGS-1000 B 型) を用い, ISO-1567 に準じて直径 3.2 mm の丸棒の支点間距離を 50.0 mm, クロスヘッドスピードを 5.0 mm/min の条件で, 三点曲げ強さと三点曲げ弾性率とを求めた。各重合方法による各レジンの 10 個ずつの試験体について, 平均値と標準偏差とを求め, レジン間の差および重合方法間の差を t 検定した。

4) 粉末ポリマーの電子顕微鏡観察

各レジンの粉末ポリマーの二次電子像を, 走査型電子顕微鏡 (日本電子 K.K. 社製, JSM-5300 型) により, 加電圧を 2.0 kV にて 75 倍で観察した。

図 1 各レジンの未研磨の表面硬度

(** : 危険率 0.01 で有意)

III. 結 果

1. 表面硬度試験

表 2 には, 未研磨面における各レジンの製造者指示による重合 (以下, 指示重合と記す) およびマイクロ波重合での表面硬度とレジン間の有意差検定 (平均値の差の t 検定) との結果を示す。図 1 にはこの結果を, 重合法の相違による差の検定結果を含んだグラフに示す。指示重合による硬度では, PR が最も小さく LR および ACm との間でのみ有意差があったが, 各レジン間の数値には大きな差が認められなかった。一方, マイクロ波重合による表面硬度では, ACm が最大で LR を除く他のレジンに対して有意に大きかった。流し込み型の PR は最小で, ACm, AC および LR に対して有意に小さく, 同じく流し込み型の MC は PR を除く他のレジンよりも有意に小さかった。

指示重合とマイクロ波重合との重合方法間で比較すると, 流し込み型の MC のみマイクロ波重合による硬度が有意に小さくなったが, 他のレジンでの有意差は

表 3 研磨面における各レジンの表面硬度と各レジン間の t 検定

Code	表面硬度				t 検定									
	指示重合		マイクロ波重合		指示重合					マイクロ波重合				
	Ave.	SD	Ave.	SD	LR	BR	MC	PR	ACm	LR	BR	MC	PR	ACm
AC	97.1	0.6	94.6	1.8	—	—	**	**	—	—	—	—	—	**
LR	97.0	0.4	95.1	1.2		—	**	*	—		—	**	—	*
BR	96.7	0.4	94.0	1.6			**	—	—			—	—	**
MC	95.9	0.5	93.6	1.1				—	—				**	**
PR	96.2	0.7	95.3	1.3					—					—
ACm	96.3	1.3	96.3	1.3										

* : 危険率 0.05 で有意
** : 危険率 0.01 で有意

表 4 指示重合およびマイクロ波重合における各レジンの曲げ強さとレジン間の t 検定

Code	曲げ強さ				t 検定									
	指示重合		マイクロ波重合		指示重合					マイクロ波重合				
	Ave.	SD	Ave.	SD	LR	BR	MC	PR	ACm	LR	BR	MC	PR	ACm
AC	9.32	1.11	8.58	0.54	*	—	*	*	—	**	—	—	—	**
LR	7.62	1.07	6.98	0.80		*	—	—	**		**	**	—	**
BR	9.23	1.37	8.48	0.91			—	—	—			—	—	**
MC	8.30	0.45	9.24	0.91				—	**				*	—
PR	8.11	0.67	7.83	1.15					**					**
ACm	10.31	1.34	10.31	1.34										

Unit : kgf/mm²

* : 危険率 0.05 で有意
** : 危険率 0.01 で有意

図 2 各レジンの研磨面の表面硬度
(** : 危険率 0.01 で有意)

図 3 各レジンの三点曲げ強さ
(** : 危険率 0.01 で有意)

認められなかった。

表 3 には、研磨面における各レジンの指示重合およびマイクロ波重合による表面硬度とレジン間の有意差検定との結果を示す。図 2 にはこの結果を、重合法の相違による差の検定結果を含んでグラフに示す。指示重合による硬度では、流し込み型レジン加熱型よりも小さくて有意差が認められた。一方、マイクロ波重合による硬度では、ACm が PR を除く他のレジンに比べて有意に大きく、MC は最小で、ACm、LR およ

び PR との間に有意差が認められた。

重合法間で比較すると、マイクロ波重合による硬度は指示重合によるより小さく、PR を除く他のレジンで高度な有意差が認められた。

2. 三点曲げ試験

表 4 には、指示重合およびマイクロ波重合での三点曲げ強さとレジン間の有意差の t 検定との結果を示し、図 3 にはこれをグラフで示す。指示重合ではマイ

表 5 指示重合およびマイクロ波重合における各レジンの曲げ弾性率とレジン間の t 検定

Code	曲げ弾性率				t 検定									
	指示重合		マイクロ波重合		指示重合					マイクロ波重合				
	Ave.	SD	Ave.	SD	LR	BR	MC	PR	ACm	LR	BR	MC	PR	ACm
AC	397.4	11.5	275.1	26.9	**	—	**	**	*	*	—	**	—	**
LR	277.3	36.0	304.7	27.5		**	—	—	**		—	**	*	**
BR	365.6	44.6	295.7	43.0			**	**	—			**	—	**
MC	259.0	10.1	348.7	12.7				—	**				**	—
PR	256.0	16.5	272.3	25.8					**					**
ACm	364.6	30.4	364.6	30.4										

Unit : kgf/mm²

* : 危険率 0.05 で有意

** : 危険率 0.01 で有意

図 4 各レジンの三点曲げ弾性率
(** : 危険率 0.01 で有意)

図 6 粉末ポリマーの SEM 像 (LR)

図 5 粉末ポリマーの SEM 像 (AC)

図 7 粉末ポリマーの SEM 像 (BR)

クロ波重合型の ACm は最大の曲げ強さを示したが、加熱型の AC および BR との間で有意な差は認められなかった。ACm および AC は、LR、MC および PR に対して有意に強く、LR は最低であったが MC および PR との間に有意差は認められなかった。マイクロ波重合では、MC と ACm との間に有意な差はなく、LR および PR に対して有意に強かった。

重合法間で比較すると、MC のみがマイクロ波重合で指示重合よりも有意に強い値を示した。しかし他のレジンでは反対に低くなる傾向を示したが、有意差は認められなかった。

表 5 には、指示重合およびマイクロ波重合での三点曲げ弾性率とレジン間の有意差の t 検定との結果を示し、図 4 にはこれをグラフで示す。指示重合では、

図 8 粉末ポリマーの SEM 像 (MC)

図 10 粉末ポリマーの SEM 像 (ACm)

図 9 粉末ポリマーの SEM 像 (PR)

AC および BR の比較的大きい値を示すグループと、LR, MC および PR の小さい値のグループとに分かれて、グループ間の各レジンの弾性率には高度な有意差が認められた。マイクロ波重合では、ACm および MC が大きく、他のレジンとの間に高度な有意差が認められた。

重合法間で比較すると、AC および BR ではマイクロ波重合が指示重合よりも小さくなり、MC では反対に大きくなって、ともに高度な有意差が認められた。LR および PR は、マイクロ波重合の方がわずかに大きくなる傾向を示したが、有意差は認められなかった。

3. 粉末ポリマーの電子顕微鏡観察

図 5~10 に、粉末ポリマー粒子の観察結果を示す。

IV. 考 察

家庭用の電子レンジを使用して床用レジン重合するマイクロ波重合法¹⁾は、歯科技工における重合操作

を容易にし、重合時間を短縮する効率的な方法であると考えられる。さらにこの方法は、ワックスの軟化、レジンの餅状化(ドゥ化)にも有効である²⁾とされている。しかしこの方法がすべてのレジンにとって有効であるかは不明である。またマイクロ波加熱は内部加熱であるがレジン内部に温度差が生じる³⁾とされ、実際に均一な重合がなされているか疑問である。そこで、市販のマイクロ波型、加熱型および流し込み型レジンを使用して、マイクロ波重合した場合のレジンの理工学的性質について、特にレジン表面および内部の硬化状態を、表面および内部の強さから知るために、表面硬度試験と三点曲げ試験とによって比較検討した。

1. 試験体製作について

試験体の製作では、埋没用石こうとして普通石こうを臨床に即して使用した。埋没用の石こうの中には、マイクロ波重合すると埋没用石こうが原因でレジン中に気泡を発生しやすいものがあるとの報告⁴⁾があるが、今回使用した普通石こうでは、石こうが原因すると考えられる気泡は認められなかった。またマイクロ波による重合時間に関しては、500 W の電子レンジを使用した場合には、1 分以内で水は 100°C に達する⁵⁾が、この時間ではまだレジンの重合体が不均一な収縮変形を起こす時間であり⁶⁾、2.5 分間でやっと石こうが 100°C に達し³⁾、レジンが完全な重合体になるためには 3 分間必要である^{4,7)}とされている。さらに長時間の照射は、レジンの劣化と FRP フラスクの著しい耐久性の低下を引き起こす⁸⁾などの報告があるが、今回は一般臨床で現在用いられている、アクリル MC の製造者指示であるマイクロ波照射法に準じて、フラスクの上下面を反転させて 90 秒間ずつ、連続 2

回に分けて行う方法を採用した。

2. 表面硬度試験について

レジンの表面硬度の測定には、スーパーフィシャルロックウェル硬度計を使用した。一般にロックウェル硬度は、金属の硬度を測定するために使用される押し込み硬さであり、測定荷重をかける前の基準荷重をかける段階で、レジンの表面は押しつぶされ、本来の表面の硬さではなく内部の硬さが測定されてしまうと同時に、基準荷重時のフローによって測定位置がばらつくことが考えられる。この点を考慮して、本実験では直径 3/4 インチの大きい直径の鋼球圧子を低荷重で測定するプラスチック仕様にて測定した。

試験体の未研磨面の表面硬度について、指示重合ではレジン間に大きな差は認められなかった。一方、マイクロ波重合で加熱型レジンでは、表面硬度が指示重合による場合とほとんど変わらず、有意差も認められなかった。マイクロ波加熱では重合時間が短いために、石こう中の水分のレジンへの拡散量は少なく、レジン中のモノマーの石こうへの拡散量も少ないので、レジン表面の粗さが小さくなる⁹⁾ことから、研磨を必要としない面については、加熱型レジンマイクロ波加熱することは効率的であると思われる。しかし流し込み型レジンでは、マイクロ波重合での表面硬度は指示重合よりも小さく、MC では高度に有意であった。流し込み型では、流動性が良好となるように粉末ポリマーと加熱型より多量の液体モノマーとが調製されていて、モノマー中に浮遊する粉末ポリマー粒子は石こう面に付着し、これがレジンの最表面での核（コア）となって密に配列した状態で重合する結果、指示重合の場合には最表面の硬度が加熱型に劣る大きさを示したと考えられる。しかしマイクロ波重合では、重合時間が短く、しかも内部から重合するために、粉末ポリマーの最表面での密度が低くなくなると思われる。

次に研磨面の硬度について、指示重合では流し込み型が加熱型より有意に小さかった。すなわち加熱型では、レジン温水槽から埋没用石こうを通じて加熱され、時間をかけて熱がレジンに伝わって重合するので、レジン全体が十分に加熱されて重合したと考えられるが、流し込み型では最表面以外の内部では、マトリックスとなる無構造のポリマーが多く占めるので、硬度は小さくなったと考えられる。特に MC の硬度が小さかったが、図 8 に示すように粉末ポリマー粒子が他のレジンに比べて非常に細かく、粉液比が大きい

ことと合せて、粒子の表面への浮き上がりによる最表面の硬度の増加に及ぼす効果が、他のレジンに比べて大きかったためであると考えられる。

一方、マイクロ波重合では、どのレジンも指示重合より著しく小さい硬度を示した。ここで、マイクロ波重合によるレジンの内部加熱について検討する。低分子の物質を振動させて熱を発生させるマイクロ波が照射されると、レジンのモノマーと石こう中の水が熱を発生する。この時石こう中の水は、どの部位でも同時に振動するので、石こうの内部では温度差を生ぜずに発熱する。そこで石こうに接するレジンの表面は、石こうによって均等な温度的影響を与えられると考えられる。一方、レジン中の低分子であるモノマーは振動して発熱するが、重合して高分子に変化すると、マイクロ波による内部発熱がなくなるために、石こうの発熱による外部からの熱の影響を大きく受けるようになると考えられる。そして、短時間の発熱であるため、レジン試験体の最表面にのみ石こうの熱による重合は進行するが、熱伝導性の低いレジンの内部への熱の伝導は悪くなり、このために加熱型の研磨面は未研磨面に比べて硬度は低くなったと思われる。このことはマイクロ波型の ACm の場合にも同様であるが、その差は加熱型より小さかった。流し込み型レジンのうち MC は、先に述べたように粉末ポリマー粒子が細かいので、これを多量のモノマーが取り巻いた状態で短時間で重合させるために、無構造のポリマーであるマトリックスの占める割合が大きくなり、さらにこれを研磨することで測定面のコアとマトリックスの構造変化も起こりやすく、最小の硬度になったものと考えられる。

以上により、マイクロ波重合法によるレジン床は、研磨しない場合には指示重合とほとんど変わらない硬度となるが、最表面を研磨または削除した場合には硬度が低下するので、表面滑沢硬化材などによる表面処理を施すことが好ましいと考えられる。

3. 三点曲げ試験について

表面のみならず内部の硬化状態が影響するレジンの強さを、三点曲げ試験によって検討した。ACm の曲げ強さは最大であり、表面硬度の結果と合せて良好な理工学的性質を示した。

一般に、流し込み型の粉液比は加熱型に比べて液量が多く、残留モノマーが多くなるために理工学的性質が劣る⁹⁾と報告されるように、指示重合では、流し込

み型の MC および PR は加熱型の AC および BR より曲げ強さと弾性率が小さかった。しかし加熱型の LR は、粉末に MMA-n-butylmethacrylate のコポリマーを使用して餅状期を延長させる特徴を有した材料であり^{10,11)}、このコポリマーは内部可塑剤として引張り強度を低下させる¹²⁾ため、曲げ強さも他の加熱型に比べて小さくなったものと考えられる。

一方、マイクロ波重合による加熱型の AC および BR は、わずかに曲げ強さが低下し、曲げ弾性率が高度に有意に低下した。これは表面硬度の場合と同様に、マイクロ波の短時間加熱により、石こうを通じての外部からの熱によってレジン表面は重合するが、早期にモノマーが減少してしまうために、レジンとは十分な内部加熱が得られず、未重合部分を残す結果であると考えられる。同じ加熱型でも LR の曲げ弾性率は、むしろ増加の傾向を示した。これは、マイクロ波重合では短時間にレジン全体に及んで重合するために、先に述べたコポリマーの内部可塑効果が減少すること、填入後のマイクロ波照射時期に低分子成分が多量に残っているために十分に内部発熱して重合し、曲げ弾性率の増加傾向を示したものと推定される。流し込み型は、流動性をよくするためにモノマーの量が多く調製されているので、マイクロ波照射時期のレジン中にモノマーが大量に存在している。この低分子のモノマーの振動による内部発熱により、レジンとは十分に加熱されて重合し、特に MC では曲げ強さおよび曲げ弾性率の増加が明瞭になった。またマイクロ波重合と流し込み法の組合せは、レジン床義歯の適合性が優れていることも報告¹³⁾されており、曲げ強さおよび曲げ弾性率の効果と合せて、効率的な方法であると考えられる。PR では、同様の影響が期待されるが、流動性を長期間維持させる化学重合の抑制剤の効果によって、加熱温度より加熱時間の影響の方が大きいため、3 分間のマイクロ波照射加熱では、指示重合の場合とほとんど変わらない結果になったものと思われる。

以上のように、マイクロ波重合法ではマイクロ波照射によって発生する、埋没用石こうの水分による加熱と合せ、モノマーによる内部加熱が重要であることが示唆された。

V. 結 論

市販の 6 種類の床用レジンに 180 秒間照射によるマ

イクロ波重合法により重合して、表面硬度試験および三点曲げ試験を行い、表面硬度、曲げ強さおよび曲げ弾性率を測定した。

その結果、以下の結論を得た。

1. 加熱重合型レジンの表面硬度については、マイクロ波重合した場合、指示重合の場合に比べて最表面の硬度はほとんど変わらなかったが、研磨面の硬度は低下した。

またこの曲げ試験については、マイクロ波重合した場合、指示重合の場合と曲げ強さに有意差は認められなかったが、曲げ弾性率は低下した。

2. 流し込み型レジンの表面硬度については、マイクロ波重合した場合、指示重合の場合に比べて粉末ポリマー粒子を小さくして流動性を高めたタイプのレジンでは低下した。

またこの曲げ試験については、マイクロ波重合した場合、指示重合の場合に比べて曲げ強さおよび曲げ弾性率に有意差が認められないかまたは増加した。

3. 各種のレジンにマイクロ波重合法で重合した場合、研磨面の硬度は低下するが、マイクロ波照射時にモノマーが多いと内部発熱量が多くなり強度が増すと考えられる。

文 献

- 1) 橋本弘一, 西井正道, 加藤仁朗: 極超短波によるレジン重合法について (予報), 歯材器誌, 17: 46~50, 1968.
- 2) 木村 博, 大西寛保: 特殊フラスコを用いたマイクロウェーブ重合法について, 歯科技工, 12: 965~974, 1984.
- 3) 木村 博, 寺岡文雄, 大西寛保ほか: マイクロ波の歯科への応用 (その 2) レジンの適合性, 歯材器, 2: 451~457, 1983.
- 4) 丸山松司: マイクロ波重合による床義歯の製作, 歯科技工, 15: 332~340, 1987.
- 5) Hogen, F. Paul and Mori Toshiko: Development of a method of continuous temperature measurement for microwave denture processing, Dent Mater J, 9: 1~11, 1990.
- 6) 安藤申直, 今野一敏, 長田伸一ほか: マイクロ波重合法によるアクリリックレジン床の内面適合, 歯科技工, 15: 354~362, 1987.
- 7) 木村 博, 寺岡文雄, 齊藤隆裕ほか: マイクロ波の歯科への応用 (その 1) レジンのドウ化とキュアリング, 歯材器, 2: 253~257, 1983.
- 8) 木村 博, 寺岡文雄, 大西寛保ほか: マイクロ波の歯科への応用 (その 3) レジンの表面粗さと石こうとの分離性,

歯材器, 2: 772~776, 1983.

- 9) 鈴木一臣: マイクロ波重合型義歯床用レジンの理工学的性質, 歯科技工, 15: 347~353, 1987.
- 10) 松川正一郎, 堀江港三, 野村 充: 餅状期間の延長された床用レジンのモノマーに対するポリマーの溶解現象の検討, 日大口腔科学, 3: 82~86, 1977.
- 11) 平林 茂, 奈須郁代, 原嶋郁郎ほか: 歯科用メタクリルレジンに関する研究 (第 9 報) 加熱重合レジン, ヒートショックレジン, 流し込みレジンおよび常温重合レジンの組成について, 歯材器, 3: 338~348, 1984.
- 12) 近藤清一郎, 大川昭治, 埴 隆夫ほか: 市販床用材料の引張強度特性と AE 特性, 歯材器, 10: 458~465, 1991.
- 13) 木村 博, 寺岡文雄, 杉田順弘: マイクロ波の歯科への応用 (その 5) レジン床義歯作製用注入式システムについて, 歯材器, 9: 74~78, 1990.