原 著 論 文

マイクロ波重合法の応用に関する研究

第2報 レジン部の厚さを9 mm 一定および9 から 3 mm 移行型 とした金属床義歯の重合

林 純子 堀江 康夫 金子 和幸
刑部 仁三 廣瀬 英晴* 西山 實*

Application of Microwave Polymerization

Part 2. Polymerization of Methacrylate Resin with Metallic Plate : 9 and 9 to 3 mm Thick Denture Resin

Junko Hayashi, Yasuo Horie, Kazuyuki Kaneko,
Jinzo Osakabe, Hideharu Hirose* and Minoru Nishiyama*

Abstract : An experiment was carried out to investigate the application of microwaves to resin polymerization of metallic dentures. The relationship between the irradiation output, irradiation time and the polymerization state (surface hardness, internal porosities), and internal temperature of the cured resin was evaluated when the resin thickness was uniform (9 mm) and not (9 to 3 mm). At an irradiation output of 500 W, there was no irradiation time range in which properly cured resin was obtained from all specimens. At an output of 200 W, there was an irradiation time range in which properly cured resin was obtained from all specimens. This was 0.5 minutes (5.5–6.0 minutes) with a uniform resin thickness of 9 mm and 1.5 minutes (6.0–7.5 minutes) with an uneven resin thickness of 9 to 3 mm.

Key words : microwave polymerization, metallic denture, temperature inside resin, porosity, hardness

I. 緒 言

床用レジンの重合は、一般に石こう型のような熱の不良導体を型材として用い、温水加熱法で重合が行われている。その一方、重合時間の短縮化が可能なマイクロ波重合¹⁻¹⁹⁾も行われている。この方法は、従来の方法と異なり、レジンを内部より発熱させる方法であることから、型材の熱伝導に左右されず、内部まで短時間で加熱すること

ができる。しかし、金属床義歯のレジンの重合では、マイクロ波が金属面で反射されてしまうこと^{1,4,5)}から、金属床と一緒にレジンを重合にマイクロ波を応用した研究はきわめて少なく、わずかに局部床義歯のクラスプなどの金属類と一緒にレジンを重合した場合についての報告^{1,7,10,11)}がみられるにすぎない。そこで、レジンの重合にマイクロ波を応用し、技工操作時間の短縮化を図る研究の一環として、前報¹⁷⁾において、レジン部の厚みを3.0および4.5 mmとし、金属床と一緒に重合した場合について検討した。その結果、マイクロ波の出力を制御すれば、良好な硬化物が得られることを明らかとした。

今回は、臨床を考慮しレジン部の厚さを前報の2~3倍と大きくして一定とした場合(厚さ9 mm)および厚さを移行型とした場合(厚さ9 から 3 mm)について、それらの硬化物の重合状態について検討した。

日本大学歯学部附属歯科技工専門学校(校長:五十嵐孝義教授)

*日本大学歯学部歯科理工学講座(主任:西山 實教授)

Dental Technician Training School, Nihon University School of Dentistry (Principal: Prof. Takayoshi Igarashi)

*Department of Dental Materials, Nihon University School of Dentistry (Chief: Prof. Minoru Nishiyama)

平成7年1月20日受付

とした。なお、金属床は、8個のなかから無作為に4個を選択して用いた。

III. 結 果

1. マイクロ波出力を500Wとした場合の照射時間とレジンの重合状態

対照の試験体の硬さは、レジンの厚さが9 mm一定および9→3 mm移行型で、いずれも90を示した。また、いずれの試験体にも気泡は観察されなかった。

1) 厚さが9 mm一定の場合

図2および表3に、マイクロ波照射時間と硬化物の硬さおよび気泡の発生状態との関係を示した。

照射出力500 Wでの重合状態は、resin-Pおよび resin-

A群では、照射時間2.0分以下で硬さが不十分となり、また、3.0分以上では内部気泡の発生により不良な硬化物となり、いずれの照射時間の場合も、5個すべての試験体が不良となった。

一方、metal-Pおよびmetal-A群では、いずれも照射時間2.0分の場合の1試験体に良好な硬化物が得られたが、2.0分以下では硬さが不十分で、3.0分以上では内部気泡が発生し重合状態が不良であった。すなわち、厚さ9 mmの場合では、すべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間範囲は存在しなかった。

2) 厚さが9→3 mm移行型の場合

図3および表4に、マイクロ波照射時間と硬化物の硬さおよび気泡の発生状態との関係を示した。

resin-Pおよびresin-A群では、照射時間1.5分以下で

図2 レジン部の厚さが9 mmでのマイクロ波照射時間と良好な硬化物の個数との関係 (照射出力500 W)

Number of no porosity polymerized specimens of 9 mm thickness and microwave irradiation time (microwave output 500 W)

図3 レジン部の厚さが9→3 mm移行型でのマイクロ波照射時間と良好な硬化物の個数との関係 (照射出力500 W)

Number of no porosity polymerized specimens of 9→3 mm thickness and microwave irradiation time (microwave output 500 W)

表3 重合物の硬さおよび気泡の発生状態 (照射出力500 W, 厚さ9 mm)

Polymerized state (hardness and porosity) and microwave irradiation time (microwave output 500 W, resin thickness 9 mm)

Irradiation time (min)	Code			
	resin-P	resin-A	metal-P	metal-A
1.0	79/84/83/76/75	74/75/73/77/78	82/80/82/79/74	76/84/80/86/76
2.0	87/86/85/88/89	86/85/87/88/89	86/89/87/90/88	89/87/89/88/90
3.0	90/90/90/90/90	90/90/90/90/90	90/91/92/93/93	92/93/93/92/93
4.0	90/90/91/91/93	90/90/92/90/92	93/94/95/92/94	92/93/94/95/94
5.0	91/90/92/91/90	90/91/92/93/92	94/93/95/94/93	94/93/95/96/95

(1/2/3/4/5) : hardness, ____ : porosity observed specimen

表 4 重合物の硬さおよび気泡の発生状態 (照射出力 500 W, 厚さ 9 → 3 mm)
 Polymerized state (hardness and porosity) and microwave irradiation time
 (microwave output 500 W, resin thickness 9 → 3 mm)

Irradiation time (min)	Code			
	resin-P	resin-A	metal-P	metal-A
1.0	81/80/76/78/80	75/81/80/80/76	88/79/87/82/89	80/86/85/80/78
1.5	85/87/84/86/85	82/86/85/81/79	88/89/89/88/89	85/89/89/86/85
2.0	90/90/85/87/89	90/90/84/86/87	90/90/91/91/90	90/90/91/90/91
2.5	91/91/90/90/90	90/91/91/90/90	90/90/90/91/91	90/90/91/91/90
3.0	92/90/93/91/90	90/91/91/92/93	91/91/93/92/90	92/92/91/93/90
4.0	92/91/92/91/91	93/92/92/91/91	91/92/92/93/92	91/92/93/93/92
5.0	92/91/92/91/91	91/92/93/93/91	91/92/93/94/92	93/94/94/93/95

(1/2/3/4/5) : hardness, ____ : porosity observed specimen

図 4 レジン部の厚さが 9 → 3 mm 移行型, 測定位置 x でのマイクロ波照射時間とレジンの内部温度の変化との関係 (照射出力 500 W)
 Temperature change at position x in resins of 9 → 3 mm thickness and microwave irradiation time (microwave output 500 W)

図 5 レジン部の厚さが 9 → 3 mm 移行型, 測定位置 y でのマイクロ波照射時間とレジンの内部温度の変化との関係 (照射出力 500 W)
 Temperature change at position y in resins of 9 → 3 mm thickness and microwave irradiation time (microwave output 500 W)

は, 試験体の硬さが不十分で不良, 2.0 分では 2 試験体が良好, 3 試験体が硬さ不十分で不良であった。また, 2.5 分以上ではすべての試験体に内部気泡が発生して不良となった。

一方, metal-P および metal-A 群では, 照射時間 1.5 分以下では, resin 群の場合と同様, すべての試験体の硬さが不十分で不良, 2.0 分では 2 試験体が良好, 3 試験体が内部気泡の発生で不良, 2.5 分では型材 P で 1 試験体が良好となったが, 他の試験体はすべて内部気泡が発生して不良となった。さらに, 3.0 分以上ではすべての試験体に内部気泡が発生して不良となった。すなわち, 厚さ 9 → 3 mm 移行型の場合では, すべての試験体が良好な硬化物と

して得られる照射時間範囲は存在しなかった。

2. 厚さを 9 → 3 mm 移行型とした場合のレジンの内部温度の変化

1 の結果から, 金属床義歯のレジン部の厚さが 9 mm 一定および 9 → 3 mm 移行型の場合, マイクロ波出力 500 W ではすべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間範囲が存在しなかった。その原因を検討するため, この条件についてレジンの内部温度を測定した。

1) マイクロ波出力を 500 W とした場合の内部温度の変化

図 4 および 5 に, マイクロ波の照射時間とレジンの内部

図6 レジン部の厚さが9→3 mm 移行型, 測定位置xでのマイクロ波照射時間とレジンの内部温度の変化との関係 (照射出力 200 W)
Temperature change at position x in resins of 9→3 mm thickness and microwave irradiation time (microwave output 200 W)

図7 レジン部の厚さが9→3 mm 移行型, 測定位置xでの放冷時間 (照射出力 200 W で6分間照射後) とレジンの内部温度の変化との関係
Temperature change at position x in resins of 9→3 mm thickness and cooling time after microwave irradiation for 6 min with 200 W output

温度との関係を示した。

内部温度は, 部位xおよびyのいずれの場合も, 照射時間3.0分まで急激な上昇を示し, その後は緩慢な上昇を示して, 5.0分で130°C前後に達した。照射時間2.5分までの範囲について, resin群とmetal群での内部温度を比較すると, 部位xおよびy (ただしmetal群の1.5分を除き) いずれの部位でもmetal群の場合がわずかに高い傾向であった。

一方, 部位xのレジン厚さは9 mm, 部位yのレジン厚さは3 mmと異なるが, 内部温度は2.0分程度までは, 厚さが薄いyの方がわずかに高くなる傾向であった。しかし, 100°Cを越える照射時間2.5分~3.0分を過ぎると逆転し, レジンの厚さが大きい部位xでわずかに高くなる傾向であった。

2) マイクロ波出力を200 Wとした場合の内部温度の変化

図6に, マイクロ波出力を200 Wとした場合の照射時間とレジンの内部温度との関係を示した。但し, metal群の部位xおよびyの場合を測定したがほぼ同程度の値を示したことから代表例として部位xを示した。

レジンの内部温度は, 照射時間の延長にともないほぼ直線的に上昇し, 3.0~3.5分で約60°C, 6.5~7.0分で100°Cに達した。照射時間1分当りの平均昇温速度は約12°Cとなり, 500 Wの場合の約1/3に低下した。

図7に, マイクロ波照射 (200 W-6.0分間) 後の放冷

時間とレジンの内部温度との関係を示した。

冷却時の内部温度は, 部位xおよびyいずれの場合もほぼ同程度の値を示したことから, 代表例として部位xを示した。

冷却時の内部温度は, 放冷時間の延長に伴い緩慢に低下し, 5分で約75°C, 15分で約60°C, 20分で約55°Cを示し, 測定位置および型材による差はほとんどなかった。

3. マイクロ波出力を200 Wとした場合の照射時間とレジンの重合状態

2の結果から, 試験体の厚さが9→3 mm移行型の場合, マイクロ波の出力を200 Wとすると, 照射初期での内部温度の上昇速度は500 Wの場合の約1/3に低下し緩慢となった。そこで, マイクロ波の出力を200 Wとした場合の硬化物の重合状態を測定・観察した。

1) 厚さが9 mm一定の場合

図8および表5に, マイクロ波照射時間と硬化物の硬さおよび気泡の発生状態との関係を示した。

metal-P群の重合状態は, 照射時間5.0分では1試験体が良好, 4試験体が硬さが不十分で不良となったが, 5.5と6.0分ではすべての試験体が良好であった。その後照射時間の延長に伴い内部気泡が観察され良好な硬化物の個数は減少し, 7.5分では2個, 8.0分では0個となった。

metal-A群の重合状態は, 照射時間5.0分ではすべて

図 8 レジン部の厚さが 9 mm でのマイクロ波照射時間と良好な硬化物の個数との関係 (照射出力 200 W)

Number of no porosity polymerized specimens of 9 mm thickness and microwave irradiation time (microwave output 200 W)

表 5 重合物の硬さおよび気泡の発生状態 (照射出力 200 W, 厚さ 9 mm)

Polymerized state (hardness and porosity) and microwave irradiation time (microwave output 200 W, resin thickness 9 mm)

Irradiation time (min)	Code	
	metal-P	metal-A
5.0	88/89/89/88/90	88/89/88/85/89
5.5	90/90/90/90/90	90/90/90/90/90
6.0	90/90/90/90/90	90/90/90/90/90
6.5	90/90/90/90/91	90/91/91/92/90
7.0	90/90/90/91/92	90/92/92/91/90
7.5	90/90/91/92/91	91/92/93/90/90
8.0	95/90/95/90/92	95/95/95/95/95

(1/2/3/4/5) : hardness, ____ : porosity observed specimen

の試験体の硬さが不十分で不良であったが、照射時間 5.5～6.0 分の範囲ではすべての試験体が良好であった。さらに照射時間が延長すると、内部気泡の発生に伴い良好な硬化物の個数は、6.5 分で 1 個、7.0 分以上で 0 個と急減した。

2) 厚さが 9 → 3 mm 移行型の場合

図 9 および表 6 に、マイクロ波照射時間と硬化物の硬さおよび気泡の発生状態との関係を示した。

metal-P および metal-A 群の重合状態は、照射時間 5.5 分まではすべての試験体の硬さが不十分で不良であったが、6.0～7.5 分の範囲では、すべての試験体が良好で

図 9 レジン部の厚さが 9 → 3 mm 移行型でのマイクロ波照射時間と良好な硬化物の個数との関係 (照射出力 200 W)

Number of no porosity polymerized specimens of 9 → 3 mm thickness and microwave irradiation time (microwave output 200 W)

表 6 重合物の硬さおよび気泡の発生状態 (照射出力 200 W, 厚さ 9 → 3 mm)

Polymerized state (hardness and porosity) and microwave irradiation time (microwave output 200 W, resin thickness 9 → 3 mm)

Irradiation time (min)	Code	
	metal-P	metal-A
5.0	85/89/89/89/88	85/83/89/85/87
5.5	88/89/89/88/89	87/89/89/86/89
6.0	90/90/90/90/90	90/90/90/90/90
6.5	90/90/90/90/90	90/90/90/90/90
7.0	90/90/90/90/90	90/90/90/90/90
7.5	90/90/90/90/90	90/90/90/90/90
8.0	90/90/90/93/91	90/90/90/92/92

(1/2/3/4/5) : hardness, ____ : porosity observed specimen

あった。さらに、照射時間が 8.0 分となると、内部気泡の発生に伴い 2 試験体が不良、3 試験体が良好となった。

以上の結果から、厚さが 9 mm 一定および 9 → 3 mm 移行型のレジン金属床と一緒にマイクロ波で重合した場合、すべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間範囲は出力 500 W では存在しなかったが、出力 200 W では、照射時間 5.5～6.0 分 (9 mm 一定) および 6.0～7.5 分 (9 → 3 mm 移行型) の条件で得られた。すなわち、重合状態が良好な硬化物が得られる照射時間範囲として 0.5 および 1.5 分の幅が得られた。

IV. 考 察

技工操作時間の短縮化を目的とし、金属床義歯のレジンの重合にマイクロ波を応用した場合のレジンの重合状態および内部温度を観察・測定し、実用的なマイクロ波照射条件について検討した。

1. マイクロ波出力を 500 W とした場合のレジンの重合状態と照射時の内部温度との関係

金属床義歯のレジンの厚さが 9 mm 一定 (図 2, 表 3) および 9 → 3 mm 移行型 (図 3, 表 4) の場合では、マイクロ波の照射出力 500 W では、すべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間範囲が存在しなかった。これに対し、前報¹⁷⁾のレジンの厚さが 3 mm の場合では、良好な硬化物が得られる照射時間は 1.5~5.0 分の範囲で得られた。本研究の場合、照射時間が 2.0 分では硬さが不十分で、一方、2.5 (9 → 3 mm 移行型) および 3.0 分 (9 mm 一定) では内部気泡の発生が認められることから、照射時間 2.0~3.0 分でのレジンの内部温度の上昇が急激であることが推測された。そこで、マイクロ波照射時の内部温度を検討した。

レジンの内部温度 (図 4, 5) から、マイクロ波出力 500 W の場合の照射時間 1.0 から 3.0 分での平均昇温速度を求めると約 30°C/分であった。したがって、レジンの重合開始剤である過酸化ベンゾイル (BPO) の分解温度である約 60°C には、マイクロ波照射 1.0 ないし 1.5 分で達するものの、その後の昇温が早すぎて、メチルメタクリレート (MMA) の沸点である約 100°C を短い時間で越えて、3.0 分では 107~124°C に達するから、1.5 分では内部温度が低く未重合となり、2.5~3.0 分では内部温度が高すぎて内部気泡が発生したものと考えられた。すなわち、昇温速度を低下させ、内部温度を制御しなければ、良好な硬化物は得られないものと考えられた。

一方、部位 x (厚さ 9 mm) と部位 y (厚さ 3 mm) の内部温度にわずかな相違が認められた。すなわち、内部温度は、照射時間が 2.0 分程度までは、厚さが薄い部位 y の方がわずかに高くなる傾向であったが、100°C を越える照射時間 2.5 分から 3.0 分を過ぎると逆転し、レジンの厚さが大きい部位 x で高くなる傾向であった。

レジンの厚さの増大は体積の増加となることから、照射時間が短い範囲 (レジンの重合が開始するまで) ではその内部温度の上昇は緩慢となる。しかし、過酸化ベンゾイル (BPO) の熱分解温度に達し重合が始まると、重合に伴う発熱量が体積の増加に伴い急増すること、また、レジンの熱伝導率が低いこと²⁰⁾から蓄熱し、レジンの内部温度は厚さが薄い場合に比較して急上昇するものと考えられた。

一般にゴムや合成樹脂類は、温度が上昇すると損失係数の値が大きくなり、マイクロ波の吸収が増加して、さらにその部分の温度が上昇すること、また、マイクロ波加熱は内部発熱であるため、一般に内部の方が外表面よりも高温になることが多いこと⁴⁾から、肉厚部の部位 x の内部温度が照射時間 2.5~3.0 分以上で部位 y のそれより高くなったものと考えられた。

以上、硬化物の重合状態と内部温度との関連を検討した結果、マイクロ波の照射出力 500 W の条件では、昇温速度が早すぎて、硬さが不十分な硬化物が得られる温度域から内部気泡の発生が生ずる温度域に短時間で到達してしまい、良好な硬化物が得られないことが明らかとなった。

そこで、マイクロ波の出力を 200 W に低下させて昇温速度の低下を図った場合について検討した。

2. マイクロ波出力を 200 W とした場合のレジンの重合状態と照射時の内部温度との関係

レジンの内部温度 (図 6) は、照射時間の延長に伴いほぼ直線的に上昇し、照射 3.0~3.5 分で約 60°C、6.5~7.0 分で 100°C に達した。照射時間 1 分当りの平均昇温速度は約 12°C となり、500 W の場合 (図 4, 5) の約 1/3 に低下した。また、部位 x と y の内部温度を比較すると、ほぼ同程度であった。

また、冷却時の温度変化を測定するに当たり、マイクロ波照射後の最終加熱温度は以下の様に設定した。すなわち、500 W のマイクロ波出力で、40% (2 個/5 個) の確率で良好な硬化物が得られた場合の内部温度範囲は 73~101°C であり、前報¹⁷⁾の 4.5 mm の場合も同様に 70~105°C であった。そこで、これらの温度領域の中間の温度 (90°C 前後) を最終加熱温度とし、照射時間は 6 分とした。

冷却時の内部温度 (図 7) は緩慢に低下し、5 分で約 75°C、15 分で約 60°C、20 分で約 55°C を示した。また、測定位置および型材による差はほとんどなかった。この結果から、冷却時にもレジンの重合に必要な 60°C 以上の温度領域に 15 分程度保持されることが判明した。

次に、レジンの厚さが 9 mm 一定の metal 群の重合状態 (図 8, 表 5) は、照射時間 5.0 分では硬さが不十分な試験体がほとんどで不良であり、この場合の内部温度 (図 6) は約 75°C であった。また、照射時間 5.5~6.0 分では 5 個すべての試験体が良好となり、この場合の内部温度は 80~93°C の範囲であった。さらに、照射時間 6.5 分以上では内部気泡の発生した試験体が増加する傾向を示したが、これらの場合の内部温度は 100°C 以上であった。

一方、レジンの厚さが 9 → 3 mm 移行型の metal 群の重合状態 (図 9, 表 6) は、照射時間 5.5 分以下ではすべての試験体の硬さが不十分で不良であり、この場合の内部温度 (図 6) は 80°C 以下であった。また、照射時間 6.0~7.5 分では 5 個すべての試験体が良好となり、この場合

の内部温度は 89~105°C であった。さらに、照射時間 8.0 分では 2 個の試験体に内部気泡が認められたが、この場合の内部温度は 107~109°C であった。

上記のうち、5 個すべての試験体が良好な硬化物として得られた温度域を比較すると、9 mm 一定では 80~93°C、9 → 3 mm 移行型で 89~105°C および前報¹⁷⁾の 4.5 mm 一定で 70~105°C であるから、レジン部の体積の増加に伴い狭くなる傾向であることが判明した。

また、5 個すべての試験体が良好な硬化物として得られた照射時間域を比較すると、9 mm 一定で 5.5~6.0 分の 0.5 分の幅、9 → 3 mm 移行型で 6.0~7.5 分の 1.5 分の幅および前報¹⁷⁾の 4.5 mm 一定で 2.0~4.0 分 (あるいは 3.0~5.0 分) の 2.0 分の幅であるから、レジン部の体積の増加に伴い照射時間域が狭くなることが判明した。

以上総合すると、厚さ 9 mm 一定および 9 → 3 mm 移行型のレジン部を有する金属床義歯の重合にマイクロ波を応用した場合、マイクロ波出力 500 W の条件では、5 個すべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間範囲は存在せず、照射時間 2.0 分で 20~40% の確率で良好な硬化物が得られたにすぎなかった。これは最適な重合温度を短時間で通過してしまうためで、良好な硬化物を得るには昇温速度の制御が必要であった。そこで、マイクロ波の出力を 200 W に低下させたところ、昇温速度は 500 W の場合の約 1/3 の 12°C/分に低下し、5 個すべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間範囲として、レジン部の厚さが 9 mm 一定の場合で 5.5~6.0 分の 0.5 分の幅が、厚さ 9 → 3 mm 移行型の場合で 6.0~7.5 分の 1.5 分の幅が得られ、照射出力 500 W の場合と比較して技工操作性が格段に向上した。また、通常の温水加熱の方法に比較して、技工操作時間の短縮化が可能であった。

V. 結 論

金属床義歯のメタクリレートレジンの重合にマイクロ波の応用を検討した。レジン部の厚さが 9 mm 一定の場合と 9 から 3 mm 移行型の場合について、マイクロ波の照射出力、照射時間と硬化物の重合状態 (表面硬さ、内部気泡) および内部温度との関係を測定・観察し、良好な硬化物が得られる実用的なマイクロ波照射条件について検討した。その結果、以下の結論を得た。

1. マイクロ波出力 500 W では、レジン部の厚さが 9 mm 一定および 9 から 3 mm 移行型いずれの場合も、すべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間範囲は存在しなかった。

2. マイクロ波出力 500 W では、照射時間 1.0~3.0 分での平均昇温速度は約 30°C/分であった。

3. マイクロ波出力 200 W では、照射時間 8.0 分までの平均昇温速度は約 12°C/分であった。

4. マイクロ波出力 200 W では、すべての試験体が良好な硬化物として得られる照射時間は、レジン部の厚さが 9 mm 一定で 5.5~6.0 分、厚さが 9 から 3 mm 移行型で 6.0~7.5 分であり、それぞれ実用的な照射時間範囲として前者で 0.5 分、後者で 1.5 分の幅が得られた。

文 献

- 1) 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.
- 2) 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 2) - レジンの適合 -, 歯材器, 2: 451~457, 1983.
- 3) 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 3) - レジンの表面粗さと石こうの分離性 -, 歯材器, 2: 772~776, 1983.
- 4) 柴田長吉郎: 工業用マイクロ波応用技術, 第 1 版, 19~20, 89~99, 電気書院, 東京, 1986.
- 5) 橋本弘一: マイクロウェーブ重合の概要, 歯科技工, 15: 341~346, 1987.
- 6) 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 4) - マイクロ波重合用模型の開発, 歯材器, 6: 432~436, 1987.
- 7) 丸山松司: マイクロ波重合による床義歯の製作上の要点, 歯科技工, 15: 332~340, 1987.
- 8) 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.
- 9) 安藤直直, 今野一敏, 長田伸一ほか: マイクロ波重合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.
- 10) 斉木好太郎, 百瀬淳一, 齊藤哲ほか: 持続的加圧・注入法を応用したマイクロウェーブ重合-PVPM システムについて -, 歯科技工, 15: 1581~1596, 1987.
- 11) 木村 博, 寺岡文雄: マイクロウェーブ重合の基本を考える - マイクロウェーブ重合をよりよくするために -, QDT, 13: 91~98, 1988.
- 12) 林 純子, 今井 昇, 蒔田勝繁ほか: エチレン酢酸ビニルエラストマーの物性と接着性, 日大歯技誌, 7: 37~42, 1988.
- 13) 林 純子, 中沢 清, 西山 實: Vinyl Acetate-Ethylene を利用した栓塞部中空体顎義歯の製作法, 顎顔面補綴, 12: 25~29, 1989.
- 14) Hayashi, J., Nishiyama, M. and Miyake, M. et al: Construction of a maxillary prosthesis with a hollow obturator by balloon technique and a case report, J Nihon Univ Sch Dent, 31: 585~596, 1989.
- 15) 林 純子, 工藤ゆかり, 蒔田勝繁ほか: LTV ビニルシリコーンゴムのマイクロ波による加硫の検討, 日大歯学, 65: 608~615, 1991.
- 16) 田辺直紀, 佐藤吉則, 高橋 博ほか: 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 -, 補綴誌, 36: 959~967, 1992.
- 17) 林 純子, 古山貴敏, 刑部仁三ほか: マイクロ波重合法の応用に関する研究 第 1 報 金属床義歯におけるメタクリレートレ

ジンの重合について, 補綴誌, 36: 612~620, 1993.

- 18) 林 純子, 今井 昇, 山中信幸ほか: マイクロ波加硫による LTV ビニルシリコンゴムと床用金属との接着, 歯材器, 12: 393~398, 1993.
- 19) 廣瀬英晴, 林 純子, 山中信幸ほか: マイクロ波加硫による

LTV ビニルシリコンゴムと床用金属材との接着II—金属被着面の表面処理と接着強さ—, 歯材器, 13: 140~148, 1994.

- 20) 齊藤仁弘, 山中信幸, 金子和幸ほか: 歯科材料の熱的性質に関する研究 7. 歯科用金属の熱的性質, 歯材器, 13: 340~345, 1994.