原 著 論 文

加熱重合型床用アクリルレジンの重合ひずみ

III. 平板ダンベル型試験体の低温長時間温成

川良美佐雄 小見山 道 小林 紀彦 木本 統 寺本 一郎
矢崎 貴啓 小林 喜平 小松 光一* 根本 君也*

Distortion of Heat-Activated Acrylic Denture Base Resin

III. Flat Dumbbell Specimens Processed for Long Period at Low Temperature

Misao Kawara, Osamu Komiyama, Norihiko Kobayashi, Suguru Kimoto, Ichiro Teramoto,
Takahiro Yazaki, Kihei Kobayashi, Koichi Komatsu* and Kimiya Nemoto*

Abstract : This report shows the superiority of the long period curing at a low temperature, 24 hours at 70°C, in comparison with the result from the previous report, part I 90 minutes at 70°C—boiled 30 minutes, by using the same materials and methods.

The results were as follows :

1. The strain in the specimen produced the tensile strain during processing, and this tensile strain slightly decreased with the lapse of time.
2. The amount of contraction from completion of processing to deflasking was 70% as compared with the result of 90 minutes at 70°C—boiled 30 minutes in the curing cycle.
3. It was defined that the difference of amount of contraction between the long curing period and low-temperature and 90 minutes at 70°C—boiled 30 minutes in the curing cycle was due to the difference of temperature in final stage of processing.
4. The amount of contraction in each curing cycle showed a significant difference by storage in 37°C water for 7 days.

Key words : distortion, acrylic denture base resin, strain gauge, long period curing, low temperature

I. 緒 言

すでに 1930 年代後半より義歯床用材として使用されているアクリルレジンは、その供用以来、物性¹⁻⁵⁾および変形⁶⁻¹³⁾、適合性¹⁴⁻¹⁷⁾などについて広く検討されてきた。そのなかから材料自体の物性向上はもとより、義歯臨床の発

展に応じて種々の術式技法が開発され^{18,19)}現在に至っている。

アクリルレジンのひずみ、変形については、重合収縮ならびに熱収縮が原因として挙げられるが、多くの研究のなかで、最近では熱収縮が主たる原因と考えられている^{10,20)}。この推測は床用アクリルレジンの紹介され、粉液混合法が開発された直後からあったと思われ、Skinner²¹⁾は早くから検討を加えている。また、より良好な寸法精度を得るため、温成温度を低く設定し、しかも重合度を高める方法として、70~75°C で長時間温成する低温長時間温成法が推奨され²²⁾臨床応用されている。しかし、これまでの低温長時間温成に関する報告では、原型と重合後の形態の相違を比較しており、温成中から取り出し後に至る

日本大学松戸歯学部補綴学教室第 I 講座 (主任: 小林喜平教授)

*日本大学松戸歯学部理工学教室 (主任: 根本君也教授)

Department of Complete Denture Prosthodontics, Nihon University School of Dentistry at Matsudo (Chief: Prof. Kihei Kobayashi)

*Department of Dental Materials, Nihon University School of Dentistry at Matsudo (Chief: Prof. Kimiya Nemoto)

平成 6 年 7 月 25 日受付

一連のひずみ挙動について、定量的に差異を論じたものはみられない。

著者らは、拘束形態を持った平板ダンベル型試験体を用いて、加熱重合型床用アクリルレジンの重合ひずみについて熱収縮と形態の観点から検討しているが^{23,24)}、今回は低温長時間温成について検討したのでその結果を通法²³⁾との比較をまじえて報告する。

II. 材料および方法

本実験で用いた材料および試験体寸法は、第1報²³⁾ならびに第2報²⁴⁾と同一であり、実験方法においても、温成方法を低温長時間温成とする以外は通法²³⁾に準じた。

1. 試験体

図1にダンベル型試験体の原型寸法を示す。シリコン印象材で調製した原型から硬質石こうによる石こう型を作製し、これを上顎用フラスコへ埋没した。埋没から約24時間後、石こう型から原型を取り除き、レジン分離剤を塗布して加熱重合型床用アクリルレジン（アーバン、松風、0.45 ml/g）を填入した。試圧成形後、試験体の温度変化ならびにひずみ量変化計測のため、銅・コンスタンタン熱電対とひずみゲージ（3軸ロゼットゲージ、KFG-1-120-D 17-11 N 30 C 2、共和電業）を試験体厚さ約半分の位置に埋入した。ゲージ埋入部位は試験体両端部および中央部で、以後両端部を第1ゲージ、第3ゲージ、中央部を第2ゲージとする（図1）。

2. 温成方法および計測方法

温成は、クランピングしたフラスコを70°C一定に保った重合槽に投入し、24時間行った。

温成終了後は室温にて徐冷し、室温到達後試験体を取り出し、取り出し15分後に37°C温水中へ保管した。

試験体の温度（°C）ならびにひずみ量（ μst ：マイクロストレイン）の計測は、静ひずみ測定器（UCAM-70 A、共和電業）を用い、温成開始から温成完了、徐冷、取り出

し、温水保管7日間にいたる、一連の過程について経時的に行った。得られたデータはパーソナルコンピュータに取り込み、ひずみ量は温度補正を行って測定値とし、ロゼット解析により最大主ひずみ量、最小主ひずみ量、および角度を求めた。

測定インターバルは、温成開始2時間を5分間隔、その後60分間隔とし、放冷開始から取り出しを経て温水保管30分までを5分間隔、その後の温水保管中は180分間隔とした。

本実験では6試験体について、温水保管1週間まで測定を行った。

III. 結 果

1. 試験体温度の経時変化

図2に、70°C 24時間温成から徐冷、試験体取り出し、温水保管7日間にわたる経時的温度変化を示す。

温成開始後、試験体温度は約30分で70°Cに到達し、特に重合反応熱による温度上昇はみられず、温成中は24時間後の温成完了まで70°Cの一定温度で経過した。

温成完了後、室温にて徐冷すると約2時間30分で室温に到達し、試験体取り出し後の温水保管中では、37°C一定で経過した（図2）。

図2 低温長時間温成試験体の温度経時変化例
Temperature changes in a specimen during processing and strage in 37°C water with the lapse of time

図1 試験体寸法およびゲージ・熱電対埋入部位
Specimen size and position of gauges and thermocouples

図3 低温長時間温成試験体の最大主ひずみ量経時変化例
Maximum strain changes in a specimen during processing and strage in 37°C water with the lapse of time

表 1 各過程における最大主ひずみ量—低温長時間温成—
Maximum strain in each stage.
—Long, low-temperature curing cycle—

	第1ゲージ	第2ゲージ	第3ゲージ
70°C90分 分繋留後	1,753 (87)	1,757 (225)	1,730 (160)
6時間繋留後	1,443 (177)	1,702 (209)	1,486 (209)
12時間繋留後	1,377 (190)	1,655 (224)	1,408 (237)
18時間繋留後	1,309 (153)	1,562 (230)	1,320 (219)
温成完了(24時間)時	1,311 (133)	1,570 (217)	1,305 (208)
取り出し直前	-2,398 (197)	-641 (376)	-1,880 (497)
取り出し直後	-2,816 (258)	-2,260 (229)	-2,647 (369)
温水保管直後	-1,720 (138)	-1,339 (167)	-1,608 (302)
温水保管1日	-1,526 (141)	-1,276 (156)	-1,282 (218)
温水保管2日	-1,399 (112)	-1,180 (149)	-1,148 (254)
温水保管3日	-1,311 (156)	-1,067 (197)	-1,114 (275)
温水保管4日	-1,242 (163)	-934 (260)	-1,031 (270)
温水保管5日	-1,118 (215)	-908 (333)	-917 (340)
温水保管6日	-1,050 (260)	-851 (384)	-795 (396)
温水保管7日	-893 (235)	-780 (429)	-714 (413)

() : SD 単位: μst

表 2 各過程における最小主ひずみ量—低温長時間温成—
Minimum strain in each stage.
—Long, low-temperature curing cycle—

	第1ゲージ	第2ゲージ	第3ゲージ
70°C90分 分繋留後	1,324 (217)	1,403 (112)	1,324 (206)
6時間繋留後	1,164 (223)	1,137 (235)	1,175 (143)
12時間繋留後	1,097 (200)	986 (270)	1,127 (143)
18時間繋留後	977 (205)	856 (281)	1,036 (141)
温成完了(24時間)時	922 (229)	829 (278)	1,007 (150)
取り出し直前	-3,205 (453)	-3,682 (350)	-2,434 (652)
取り出し直後	-3,303 (427)	-3,361 (309)	-2,817 (514)
温水保管直後	-2,211 (321)	-2,266 (261)	-1,776 (444)
温水保管1日	-1,933 (372)	-1,973 (282)	-1,540 (370)
温水保管2日	-1,739 (354)	-1,913 (336)	-1,492 (406)
温水保管3日	-1,593 (332)	-1,690 (389)	-1,423 (394)
温水保管4日	-1,445 (282)	-1,583 (398)	-1,288 (421)
温水保管5日	-1,299 (284)	-1,462 (379)	-1,132 (464)
温水保管6日	-1,191 (249)	-1,364 (324)	-1,003 (491)
温水保管7日	-1,075 (276)	-1,242 (281)	-894 (515)

() : SD 単位: μst

図 4 低温長時間温成における最大主ひずみ量変化
Maximum strain changes in each stage at long, low-temperature curing cycle

図 5 低温長時間温成における最小主ひずみ量変化
Minimum strain changes in each stage at long, low-temperature curing cycle

2. ひずみ量変化

図 3 に, 最大主ひずみ量の経時変化を典型的な 1 例で示した。

表 1 および表 2 に, 温成開始時を原点とした, 各実験過程における最大主ひずみ量と最小主ひずみ量の, 6 試験体における平均値および標準偏差を示す。図 4, 5 は成績をグラフ化したものである。

図 6 に, 70°C 90 分後ならびに 70°C 24 時間温成完了時

の, 図 7 に取り出し直前, 直後の最大主ひずみ量と最小主ひずみ量, およびその方向を示す。

1) 温成開始から温成完了まで

温成中の最大主ひずみ, 最小主ひずみは, 引張りひずみを示すが, 70°C 90 分以後 24 時間まで, 引張りひずみ量は徐々に減少し, 低温長時間温成での試験体は, 温成中わずかに収縮する結果を得た (表 1, 2, 図 4, 5)。

温成開始後 90 分における最大主ひずみ量は第 1 ゲージ,

図6 温成中の最大主ひずみおよび最小主ひずみ
 Maximum and minimum strain after 90 minutes (a)
 and 24 hours (b) during processing at 70°C

第2ゲージ、第3ゲージともに約1,750 μ st, 最小主ひずみ量は1,300~1,400 μ stを示した(表1, 2, 図3)。

70°C 90分から70°C 24時間では、引張りひずみ量の減少を示すなかで、第1ゲージ、第3ゲージと第2ゲージでは異なる挙動を示した。すなわち、第1ゲージと第3ゲージでは70°C 90分から70°C 24時間にかけて、最大主ひずみ量、最小主ひずみ量ともにおよそ400 μ st減少し、ほぼ等方的な減少を示すのに対し、第2ゲージでは最大主ひずみ量で約190 μ st, 最小主ひずみ量で約570 μ stの減少であった(表1, 2, 図6)。

2) 温成完了から温水保管7日まで

温成完了後の室温徐冷では、温度の下降に伴って各部で収縮ひずみ量が増大する。温成完了から取り出し直前までの各部位での収縮ひずみ量は、最大主ひずみ量では第1ゲージ約3,710 μ st, 第3ゲージ約3,190 μ st, 第2ゲージ約2,210 μ stであった。最小主ひずみ量では第1ゲージ約4,130 μ st, 第3ゲージ約3,440 μ st, 第2ゲージ約4,510 μ stを示した(表1, 2, 図3~5)。

取り出し直前から取り出し直後にかけてのひずみ量変化では、最大主ひずみ量において第1ゲージ、第3ゲージでそれぞれ約420 μ st, 770 μ st, 第2ゲージで約1,620 μ stさらに収縮ひずみが増加した。最小主ひずみ量では第1ゲージ、第3ゲージでそれぞれ約100 μ st, 380 μ st収縮ひずみが増加したが、第2ゲージでは約320 μ st収縮ひずみが減少した。ロゼット解析により、第2ゲージでは最大主ひずみが試験体の長軸方向、最小主ひずみが試験体の幅方向となり、この結果から、第2ゲージの試験体中央部は取り出しによる拘束解除をうけ、長軸方向に大きく変形した(図7)。

図7 取り出し時の最大主ひずみおよび最小主ひずみ
 Maximum and minimum strain immediately before
 (a) and after (b) taking out from the stone mold

温水保管直後においては、温度上昇による試験体の熱膨張のため、みかけ上最大主ひずみ量、最小主ひずみ量ともに各部で1,000~1,100 μ st収縮ひずみ量が減少した。第2ゲージでの最大主ひずみ量はやや少なく920 μ stの収縮ひずみ量の減少であった(表1, 2, 図4, 5)。

温水保管直後から温水保管24時間では、各部位で最大、最小主ひずみともに収縮ひずみ量が若干減少し、以後7日まで収縮ひずみ量の減少が続いた(図4, 5)。

IV. 考 察

1. 実験方法について

加熱重合型床用アクリルレジン低温長時間温成については、Harman⁶⁾, Peyton²²⁾, Moweryら⁷⁾により、はやくから検討され、Woelfelら⁸⁾も収縮率において有利な方法であると述べている。現在でも、熱収縮の観点から、通常の短時間温成に比較して、より適合度の優れた義歯を得る温成法として広く受け入れられている。

低温長時間温成の寸法変化率に関する近年の検討には立野¹⁰⁾, 丸子¹²⁾がある。立野¹⁰⁾は、温成時の加熱条件と寸法精度との関連を、底面直径40 mm, 高さ20 mmのテーパーをもったリング型試験体を用いて検討し、原型からの浮き上がり量から硬化収縮率を算出した。丸子¹²⁾は、寸法変化率について、長方形プレート状試験体、および下顎総義歯を想定した山型実験義歯を用いて検討を加えた。著者らの実験方法においては、長軸方向に拘束形態をもつ平板ダンベル型試験体にストレインゲージを埋入し、温成開始から試験体取り出し後の温水保管にいたるまで、一連のひ

図 8 低温長時間温成および通法における最大主ひずみ量変化
Maximum strain changes in each stage at long, low-temperature curing cycle and conventional (70°C 90 min., 100°C 30 min.) curing cycle

図 9 低温長時間温成および通法における最小主ひずみ量変化
Minimum strain changes in each stage at long, low-temperature curing cycle and conventional (70°C 90 min., 100°C 30 min.) curing cycle

ずみ挙動を経時的に計測したものであり、アクリルレジンの寸法変化の実際を理解する一助としてさらに有効であると思われる。

また、試験体の寸法変化と、埋入したひずみゲージの出力電圧との関係は、第1報²³⁾で報告した試験体温度・ひずみ量曲線において、ひずみ量が試験体の温度上昇に比例し、熱膨張係数 $84 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の校正結果を得たこと、および今回の実験でも、収縮拘束を受けない第1ゲージ、第3ゲージでは、温水保管した際に、室温との温度差に熱膨張係数を乗じたひずみ量とほぼ同量のひずみ量が減少したことから、ゲージの出力電圧は、試験体のひずみに比例しているものと考えられる(表1, 2)。

今回検討した、低温長時間温成の加熱条件については、平沢ら⁴⁾、および立野¹⁰⁾の報告を参考にした。温度を 100°C へ上昇させず、低温にて重合する one-stage curing においては、必要とされる機械的性質を満たすには 70°C 9~12 時間では不足で、24 時間以上の温成が必要と思われる、実験条件として 70°C 24 時間とした。

2. 低温長時間温成と通法との比較

今回行った、平板ダンベル型試験体の、低温長時間温成におけるひずみ量変化について、第1報²³⁾の加熱条件 70°C 90 分、 100°C 30 分(通法)の結果と有意差検定を含めて比較検討した。

図8および9に、低温長時間温成と通法における、温成

開始時を原点とした各実験過程でのひずみ量をグラフで示す。試験体両端部のひずみ量は、第1ゲージをもって示した。

1) 温成開始から温成完了について

低温長時間温成における温成中のひずみは、通法と同じく引張りひずみを示した。また、通法と同条件下である 70°C 90 分での成績では、最大主ひずみ量、最小主ひずみ量ともに、低温長時間温成は通法と同様のひずみ量を示し、ここまで差異はみられない。

しかし、温成開始 90 分から 24 時間後の温成完了にかけて特徴的なひずみ挙動を示した。すなわち、温度一定の加熱条件下での、ゆるやかな引張りひずみ量の減少、つまり収縮傾向である。このような、長時間温成中の収縮挙動はこれまで報告されておらず、経時的ひずみ量計測によりはじめてその実際が示された(図3~5)。

この結果の理由として考えられるのは、低温の一定温度による加熱条件下で、時間の経過とともに進行する重合反応による収縮である。平沢ら⁴⁾は、重合過程にあるメタクリルレジンの残留モノマー濃度とヌーブかたさ数とは直線的に反比例関係が成立することを示し、各種定温加熱での長時間温成時のかたさ変化を報告している。 70°C 長時間温成では、24 時間で残留モノマー 1.3% (重合終結時 0.5%)、ヌーブかたさ 17.2 (重合終結時 17.5) を示し、時間の経過につれて重合度が徐々に高まる結果となっている。また立野¹⁰⁾は、加熱時間に対する硬化収縮率がある時

間後に最大値を示し、その後次第に減少する理由として、加熱時間が長くなるにつれ重合収縮による内部応力の蓄積は遅くなり、これに対してゆっくりとした応力緩和が顕在化するためと考察した。

したがって、本実験で温成中にみられた収縮傾向は、重合収縮に応力緩和が関与したものとも考えられるが、今回のひずみ量経時変化と、平沢ら⁹⁾および立野¹⁰⁾が示した残留モノマー量の経時変化をみると、ともに温成前半において大きく減少し、後半に減少がゆるやかとなる傾向が一致するため、その主たる理由は重合収縮によるものと思われる。さらに、両端部の拘束により収縮が規制される第2ゲージでは、温成前半の12時間までに生じた収縮量は、温成24時間で生じる収縮量の55%であり、温成後半もほぼ同じく収縮していることから、応力緩和の影響は少ないと考えられる(表1, 2)。

2) 温成完了から温水保管7日について

低温長時間温成の温成完了から取り出し直前にいたる収縮ひずみ量を通法と比較すると、第1ゲージ最大主ひずみ量では低温長時間温成3,710 μst 、通法5,140 μst であり、低温長時間温成の収縮ひずみ量は通法の72%を示した。最小主ひずみ量では、低温長時間温成4,130 μst 、通法6,020 μst で、低温長時間温成は通法の69%であった。第2ゲージでは、低温長時間温成の最大主ひずみ量は通法の68%、最小主ひずみ量で68%を示した。

さらに、温成完了から、取り出しによる残留ひずみ解放後の、取り出し直後までのひずみ量でみると、低温長時間温成の最大主ひずみ量は、第1ゲージ、第2ゲージにおいてそれぞれ通法の71%、79%、最小主ひずみ量では、第1ゲージ、第2ゲージにおいてそれぞれ通法の72%、67%を示した(図8, 9)。

以上より、70°C 24時間の低温長時間温成では、試験体の長軸方向および幅方向ともに、通法の約70%の収縮ひずみ量を示すことがわかった。また、温成完了時から温水保管7日にいたる、各過程での低温長時間温成と通法のひずみ量についてt検定を行った結果、第1ゲージおよび第2ゲージともにすべての過程で、危険率1%で有意な差を示した。

丸子¹²⁾は15×60×2 mmのプレート状試験体に設定した標点間距離計測による寸法変化試験において、60°C 8時間の加熱条件で通法の3/5の収縮率を示したが、多量のモノマーも残留しており、より重合が進んだ状況を想定すれば著者らの成績は近似するものと思われる。

低温長時間温成と通法での収縮ひずみ量の相違は、温成完了時の温度差によるものと思われる。すなわち、通法においては、温成完了から室温(24°C)までの温度差76°Cに、第1報で求めた試験体の熱膨張係数 $84 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を乗じた6,380 μst が想定される収縮ひずみ量となる。一方、低温長時間温成で、拘束を受けない第1ゲージおよび第3

ゲージの、温成完了から取り出し直後にいたる最大主ひずみ量の収縮ひずみ量の平均は約4,050 μst である。この値に、通法と低温長時間温成との温成完了時の温度差30°Cに試験体熱膨張係数を乗じた2,520 μst を加算すると6,570 μst となり、想定した収縮ひずみ量とほぼ同じ値となる。また、同じく最小主ひずみ量でみても、第1ゲージと第3ゲージの温成完了から取り出し直後までのひずみ量の平均は約4,030 μst であり同様である。したがって、低温長時間温成の収縮ひずみ量が通法と比較して少ないのは、温成完了時の温度差であることが、経時的ひずみ量計測から明らかである。

温水保管中のひずみ量変化では、通法第2ゲージ最大主ひずみ量変化の保管1日でみられた、遅延弾性により収縮傾向が続く、いわゆる履歴現象は低温長時間温成ではみられず、温水保管直後から7日にかけて試験体各部ともに、収縮ひずみ量がゆるやかに減少する傾向を示した。低温長時間温成の第2ゲージで履歴現象が生じなかった理由としては、蓄積された残留ひずみ量が通法よりも小さいためであり、これも温成完了時の温度差によるものと考えられる。

低温長時間温成の温水保管7日では、温成完了からの収縮ひずみ量が、通法のおよそ半分となっており、ひずみ量変化からみた低温長時間温成の通法に対する優位性は、さらに大きくなる傾向を示した(図8, 9)。

以上のことから、低温長時間温成では、温成中にわずかなではあるが重合収縮と思われる収縮ひずみ量の増加がみられ、温成完了から取り出し直後にかけては、通法と比較して明らかに少ない収縮ひずみ量変化を示し、それは温成完了時の温度差によることがわかった。また、温水保管7日においても、通法より有意に少ないひずみ変化量を示す結果を得た。

V. 結 論

加熱重合型床用レジンについて、70°C 24時間の加熱条件による、低温長時間温成でのひずみ量変化を、温成開始から、取り出し後温水保管7日にわたり経時的に計測し、第1報で報告した、70°C 90分、100°C 30分の通法における成績と比較検討した結果、以下の結論を得た。

1. 低温長時間温成では、試験体は温成中、経時的にゆるやかに収縮する傾向を示した。
2. 温成完了から取り出し直後にいたる、低温長時間温成の収縮ひずみ量は、通法と比較して約70%のひずみ量であった。
3. 低温長時間温成と通法の収縮ひずみ量の差は、温成完了時の温度差によることが明らかとなった。
4. 取り出し直後から温水保管7日にかけて、いずれの過程においても低温長時間温成は通法より有意にひずみ量

は少なかった。

本研究の一部は平成6年度日本大学学術研究助成金(課題番号C 94-018)によるものである。

文 献

- 1) Gieler, C.W. and Skinner, E.W. : Physical properties of some of the newer denture plastics, *J Dent Res*, 18 : 381~387, 1939.
- 2) 永井一夫 : 合成樹脂の歯科的応用に関する総説, *歯科月報*, 20 : 286~291, 1940.
- 3) Sweeney, W.T., Paffenbarger, G.C. and Beall, J.R. : Acrylic resin for dentures, *J Am Dent Assoc*, 29 : 7~33, 1942.
- 4) 平沢 忠, 永光達雄, 永田勝久ほか : 重合過程におけるメタクリルレジンのかたさ変化, *歯理工誌*, 15 : 211~218, 1974.
- 5) Faraj, S.A.A. and Ellis, B. : The effect of processing temperatures on the exotherm, porosity and properties of acrylic denture base, *Br Dent J*, 147 : 209~212, 1979.
- 6) Harman, I.M. : Effects of time and temperature on polymerization of a methacrylate resin denture base, *J Am Dent Assoc*, 38 : 188~203, 1949.
- 7) Mowery, W.E., Burns, C.L., Dickson, G. et al : Dimensional stability of denture base resins, *J Am Dent Assoc*, 57 : 345~353, 1958.
- 8) Woelfel, J.B., Paffenbarger, G.C. and Sweeney, W.T. : Dimensional changes occurring in dentures during processing, *J Am Dent Assoc*, 61 : 413~430, 1960.
- 9) McCabe, J.F. and Wilson, H.J. : The use of differential scanning calorimetry for the evaluation of dental materials, *J Oral Rehabil*, 7 : 235~243, 1980.
- 10) 立野治雄 : 義歯床用加熱重合レジンの寸法精度に関する基礎的研究, *鶴見歯学*, 11 : 89~107, 1985.
- 11) 木村 博, 寺岡文雄 : 床用レジンの重合過程の圧力に関する研究(その2) フラスコ内でのレジンの内部応力, *歯材器*, 4 : 580~583, 1985.
- 12) 丸子健二 : 各種重合法による義歯床用レジンの寸法変化について, *九州歯会誌*, 42 : 903~917, 1988.
- 13) 高橋 裕 : 上下顎レジン床総義歯粘膜面部の重合に伴う経日的形態変化について, *補綴誌*, 34 : 136~148, 1990.
- 14) Anthony, D.H. and Peyton, F.A. : Dimensional accuracy of various denture-base materials, *J Prosthet Dent*, 12 : 67~81, 1962.
- 15) 川良美佐雄 : 床用レジンの填塞・温成法に関する補綴学的検討—上顎総義歯について—, *日大口腔科学*, 7 : 375~388, 1981.
- 16) 古谷 容 : 加熱重合レジンの各種填塞・温成法に関する研究—下顎総義歯について—, *日大口腔科学*, 9 : 366~379, 1983.
- 17) Takamata, T., Setcos, J.C., Phillips, R.W. et al : Adaptation of acrylic resin dentures as influenced by the activation mode of polymerization, *J Am Dent Assoc*, 119 : 271~276, 1989.
- 18) 加藤吉昭, 平沼謙二, 堀部 隆ほか : 床用レジンの精密重合法, *DE*, 92 : 1~17, 1990.
- 19) 寺岡文雄, 岡崎卓司, 吉川郁司ほか : 床用レジンの精密重合法(その2), *DE*, 103 : 1~13, 1992.
- 20) Phillips, R.W. : Science of dental materials, 9th ed., 193~195, W.B. Saunders, Phila., 1991.
- 21) Skinner, E.W. and Cooper, E.N. : Physical properties of denture resin, Part I. Curing shrinkage and water sorption, *J Am Dent Assoc*, 30 : 1845~1852, 1943.
- 22) Peyton, F.A. : Packing and processing denture base resins, *J Am Dent Assoc*, 40 : 520~528, 1950.
- 23) 川良美佐雄, 木本 統, 小見山道ほか : 加熱重合型床用アクリルレジン of 重合ひずみ I. 平板ダンベル型試験体の室温徐冷, *補綴誌*, 37 : 669~677, 1993.
- 24) 川良美佐雄, 小見山道, 木本 統ほか : 加熱重合型床用アクリルレジン of 重合ひずみ II. 平板ダンベル型試験体の流水下急冷, *補綴誌*, 38 : 113~118, 1994.