

床用レジンの表面応力値の一測定法

斎藤 設雄 桂 啓文 池田 政明
松崎 愛一郎 神 達 宏

岩手医科大学歯学部歯科理工学講座 (主任: 亀田 務教授)

〔受付: 1987年6月16日〕

抄録: 床用レジンの表面応力は加熱条件および冷却条件により異なる。発生した応力をレーザー表面応力計で測定した。離型前と離型後の表面応力値を測定し、合わせて床の浮き上がり量との関係についても検索した。

1. 表面応力値は、加熱後徐冷したものに比べ、急冷したものでは増加がみられた。
2. 表面応力値は、70°Cで加熱したものに比べ、100°Cで加熱したものでは増加傾向にあった。
3. 顎堤部では、離型前および離型後の表面応力値は、ほぼ一定で応力緩和が見られない。口蓋部では、離型後に応力緩和が見られた。
4. 浮き上がり量は、70°Cで加熱したものより100°Cで加熱したものの方が大きく、また、徐冷より急冷の方が大きく測定された。
5. 義歯に発生する表面応力の直接測定法には、レーザー表面応力計が使用可能である。

Key word : denture base resin, surface stress value, laser surface stress meter.

緒 言

義歯の主な目的は、歯の欠損に伴う咀嚼等の機能低下の回復にあるが、一般に義歯を装着した患者の咬合力は、正常な天然歯列を有する人の $\frac{1}{2}$ 程度にすぎないことが知られている¹⁾。できるだけ咀嚼能率を低下させないためには、義歯の適合性も重要な条件の一つとなってくる。

現在、義歯床用材料としてはメタクリル樹脂や金属などが使用されているが、審美性が良く、操作性が容易で、化学的に安定しているなどの理由によりメタクリル樹脂を用いた、いわゆるレジン床の使用頻度が高くなっている。

レジン床と顎堤との適合性に影響を及ぼす、レジン床の変形の原因としては、成形中に生じた残留応力の緩和が主なものとしてあげられ、

中井ら²⁾は成形用セッコウ型材の種類、成形後の冷却条件、成形物の保存条件等がレジン床の変形に関与していると報告している。越中ら³⁾によると型材による影響は見られなかったが、その他の要因については中井らと同様の見解を述べている。これらの見解から、適合性に直接関係する因子として、残留応力の測定が必要とされる。

応力の定性的および定量的測定法としては、偏光を利用して内部歪みの残留状態を調べる方法⁴⁾、無歪の物体に静的に外力を加えることにより生じた歪みを、偏光のもとに観察する光弾性を利用する方法⁵⁻⁷⁾、ストレインゲージにより測定した歪み量から応力を求める方法⁸⁾など、いくつか報告がなされている。

本実験では、残留した内部応力値の直接的測

A measuring method of surface stress value on the denture base resin.

Setsuo SAITO, Hirofumi KATSURA, Masaaki IKEDA, Aiichiro MATSUZAKI and Tatsuhiko KAMI.

(Department of Dental Technology, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka 020)

岩手県盛岡市中央通1丁目3-27 (〒020)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 12: 195-200, 1987

定法として、窯業界においてガラス製品^{9, 10)}や珪瑯¹¹⁾、陶磁器釉薬層¹²⁾の表面応力の非破壊的測定に用いられ、我々も以前に、陶材表層の表面応力測定に用いたレーザー表面応力計を使用し、床用レジン中の応力測定を試み、床用レジンの加熱条件および加熱後の冷却条件の違いによる表面応力値への影響、およびセッコウ型中から取り出す前と取り出した後のレジン床の表面応力値の変化と浮き上がり量との関連について検討し、若干の知見を得たので報告する。

実験材料および方法

1. 材 料

本実験材料には加熱重合レジンとして、アクロン（而至社製）のポリマー（クリアー Batch No.221231）とモノマー（Batch No.161011）を用いた。

2. 試料作製

Fig.1 に示すような黄銅製の山型原型を用い、アルジネート印象材にて印象採得後、ただちに硬セッコウをメーカー指定混水比で練和して作業模型を作製した。これにパラフィンワックス2枚分の厚さでワックス床を作製し、さらに表面応力測定の際、滑沢な面を得るために測定部位にガラス板を貼り、通法により埋没後流ろう

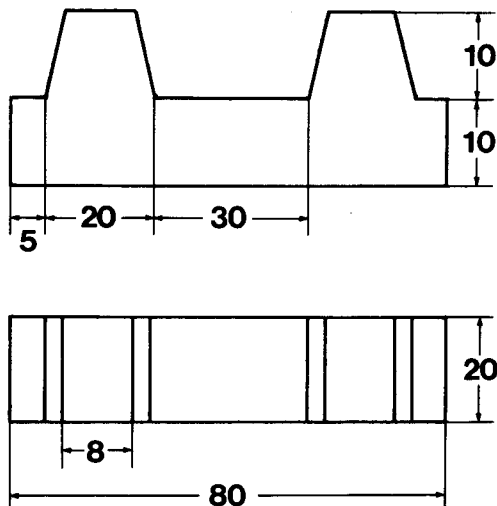


Fig.1 Schematic diagram of metallic die used for the measurement of surface stress and discrepancy.

した。レジンは粉液比 (L/P) 0.50 で混和し、餅状物を填入後 3 回試圧を行い加熱重合して、試料を作製した。

3. 加熱および冷却条件

1) 加熱条件は以下の 2 条件とした。

- a) 70°C で 1 時間加熱後、さらに 100°C で 30 分加熱した。
- b) 100°C で 30 分加熱した。

2) 冷却条件は以下の 2 条件とした。

- a) 加熱後に温浴中で徐冷した。
- b) 加熱後にただちに水中にて急冷した。

以上の条件を組み合わせる 4 条件とし、おのおの試料を 3 個ずつ作製した。

4. 測定方法

1) 表面応力

表面応力は、まず重合後セッコウ型中に埋没したままの状態測定し、型から取り出した後に再度測定を行った。測定部位は Fig.2 に示すように、顎堤部 A、C および口蓋部 B とし、測定機はレーザー表面応力計 FSM-50（東芝硝子社製）を用いた。測定はそれぞれの部位について 3 回行い、算術平均値をもって応力値とした。

2) 浮き上がり量

セッコウ型中より取り出したレジン床を

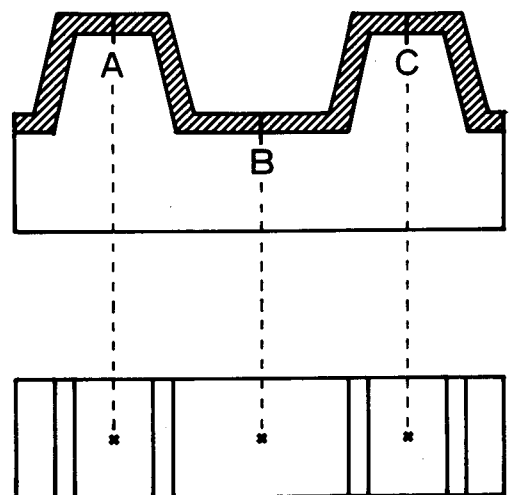


Fig.2 Measured points of surface stress and discrepancy.

山型原型にのせ、Fig.2に示す測定点A, B, C3点での金型との隙間を万能投影機V-12 (Nikon社製)を用いて測定した。

なお、表面応力値、浮き上がり量の有意差検定は危険率5%のt検定にて行った。

実験結果

1. 表面応力

Fig.3は顎堤部 (A or C) における表面応力測定の結果である。(a)の条件で加熱し徐冷したものは、離型前および離型後のいずれにおいても応力値は非常に小さく、本装置の感度では測定することができなかった。一方、急冷では離型前で0.7 kg/mm²の応力値を示し、離型後

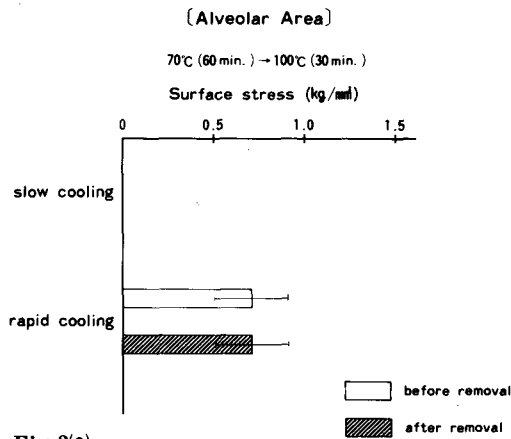


Fig.3(a)

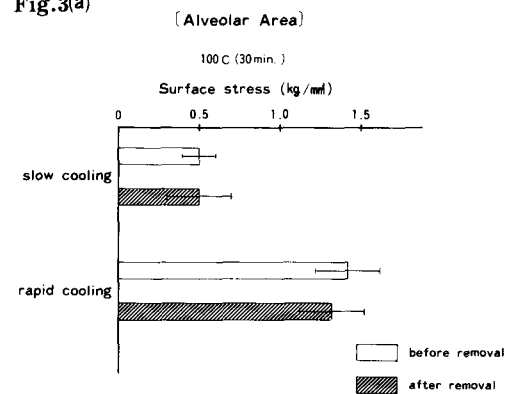


Fig.3(b) Surface stress value on the alveolar area. The surface stress value was almost constant before and after removal from the mold on this area. The heating conditions are as follows. (a)70°C 60min. →100°C 30 min. (b)100°C 30min.

の応力値も離型前とほとんど変わらなかった。(b)の条件で加熱後徐冷した場合には、離型前で0.5 kg/mm²、離型後もほぼ同じ値を示した。一方、急冷では離型前で1.4 kg/mm²、離型後は1.3 kg/mm²と、やや応力値が減少しているものの、離型の前後では有意差は見られなかった。

Fig.4は口蓋部 (B) での表面応力値で、(a)の条件では徐冷、急冷それぞれ離型前で1.2 kg/mm²、1.1 kg/mm²と、同一試料の顎堤部より大きな応力値となっている。しかし、冷却条件による有意差は見られなかった。一方、離型後の応力値は徐冷で0.2 kg/mm²、急冷で0.6 kg/mm²と、離型前の応力値よりそれぞれ

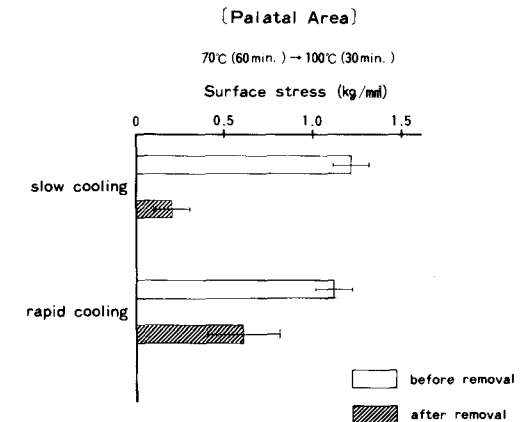


Fig.4(a)

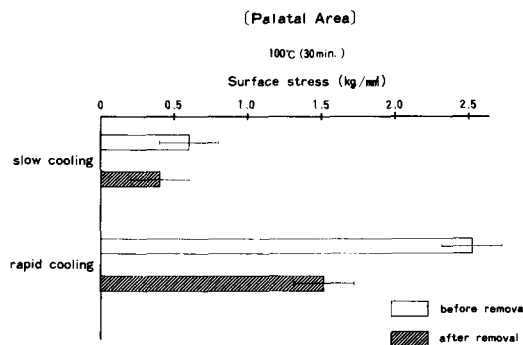


Fig.4(b) Surface stress value on the palatal area. The stress relaxation was shown after removal from the mold on this area. The heating conditions are as follows. (a)70°C 60min. →100°C 30min. (b)100°C 30min.

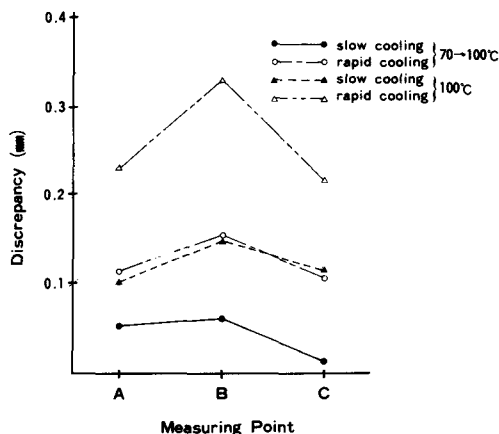


Fig. 5 Discrepancy of the denture base resin. The amount of discrepancy was greater at the heating temperature of 100°C than that of 70°C and was increased more in the rapid cooling condition.

1.0 kg/mm², 0.5 kg/mm²減少した。次に急加熱すなわち(b)条件では、徐冷したものは離型前で0.6 kg/mm², 離型後は0.4 kg/mm²を示し、0.2 kg/mm²減少した。一方、急冷では離型前で2.5 kg/mm²と、いずれの条件よりも大きく、離型後も1.5 kg/mm²と、比較的大きな応力が残留していた。

2. 浮き上がり量

加熱条件および冷却条件の違いによる各部位における浮き上がり量を Fig. 5 に示す。いずれの条件でも、顎堤部 (A or C) に比べ口蓋部 (B) での浮き上がりが大きい。口蓋部においては、70°C加熱後徐冷の場合には0.06mmと最少であるが、100°C加熱後徐冷および70°C加熱後急冷では約0.15mmとなり、100°C加熱後急冷の場合には0.32mmと最大値を示し、70°C加熱後徐冷に比べると約5倍もの浮き上がりが見られた。

考 察

レジンの残留応力の測定は、定性的、定量的にいろいろな方法で試みられてきた。今回我々が測定に用いたレーザー表面応力計は、いわゆるアッペの屈折計を利用し、直接に応力を測定

する方法で、入射プリズムを経て試料内に注入されたレーザービームが表層付近の応力の不均質により散乱され、その散乱光のうち表面に平行に進む光を射出プリズムで取り出し、焦点面に干渉縞を投影させるものである。したがって、この方法は離型後の重合物はもちろんのこと、離型前、すなわちセッコウ型中のものについても表面応力値を測定することができ、これにより応力緩和の程度を知ることが可能である。

アクリルレジンに関する研究は、従来より非常に多く報告されており、内部応力と寸法変化との関連についての報告も多く見られる。重合操作について Craig¹⁴⁾は、重合反応開始とともに急激な温度上昇が見られることにより、重合時に生じる内部応力がきわめて大きくなり、これが後に緩和されることが義歯床の歪みや適合不良を起こす原因であるとしている。また、Phillips¹⁾は、アクリルレジンの硬化収縮は重合による収縮というよりは、むしろレジンのガラス転移温度 (T_g点) から常温まで冷却される間における熱収縮によるものとしている。すなわち、T_g点以上では応力が発生しても可塑性があるために緩和されるが、T_g点以下になるとレジン自体も硬くなり、セッコウ型との熱膨張係数の違いにより応力が残留し、型からはずした後に緩和され変形を生ずると述べている。一方、金竹¹⁵⁾は冷却条件について、高温から急冷したものでは残留応力も大きく、応力の緩和に伴いより大きく変形する可能性を示唆している。

本実験における表面応力値への加熱条件の影響は、顎堤部では70°C加熱条件よりも100°C加熱条件で応力値の増加が見られた。口蓋部でも顎堤部と同様に、100°C加熱条件で応力値の増加傾向が見られ、徐冷した試料では離型前に応力値が逆に小さくなっていったものの、離型後はやはり大きくなった。このように顎堤部および口蓋部のいずれの部位でも100°C加熱条件で応力値が増加傾向にあったが、これは Craig が述べているように急激な加熱により内部応力が増大したと考えられる。しかしながら、本実験で

採用した2つの加熱方法は加熱温度のほかに加熱時間も異なっていること、さらに藤井らの加熱時間の延長に伴う吸水量の増加の報告などを考慮に入れると、70°C加熱条件で応力値が減少したとも考えられる。したがって、加熱温度、加熱時間のいずれが表面応力値に大きな影響を与えるかは即断できないが、加熱条件が表面応力値に影響を及ぼしていることは明らかである。

一方、重合後の冷却方法についてのみ考えると、顎堤部では急冷した時に応力値は大きくなり、口蓋部でも急冷後に、より大きな応力値が測定された。

加熱条件、冷却条件によりセッコウ型中における重合物の表面応力値に差が見られたことから、離型後の応力緩和によって変形して応力値に変化が生じる可能性が十分考えられる。そこで、離型後の重合物の応力値と離型前のものとを比較を行なった。その結果、顎堤部では離型後も離型前とほとんど変化がなく、100°C加熱後急冷したものに、わずかに応力緩和による応力値の減少が見られる程度であった。一方、口蓋部では、いずれの条件でも離型により緩和され応力値の減少が見られた。このように口蓋部に、より大きな応力緩和が見られたことは、型材形状によって口蓋部の収縮が抑制され応力が残留し、それが離型後に応力緩和として現れたと推察される。次に、応力緩和を浮き上がり量との関係で見ると、いずれの条件においても口蓋部に大きな浮き上がりが見られ、このことは離型による口蓋部の応力緩和からも説明が可能である。しかし、応力緩和の値が、70°C加熱後徐冷および100°C加熱後急冷で1.0 kg/

mm²、70°C加熱後急冷で0.5 kg/mm²、100°C加熱後徐冷で0.2 kg/mm²と順に小さくなっているが、必ずしも浮き上がり量の大小と一致しておらず、応力緩和は浮き上がりの一要因として考えられる。

本実験に使用したレーザー表面応力計による表面応力値は、必ずしも測定時の浮き上がり量の大小を意味するものではないが、変形、ひいては床の不適合の一因であることは確実で、このような応力値の直接測定が成形条件の改良に役立つものと考えられる。特に本法は、局所的な残留応力の直接的測定法として他の方法に見られない特徴を有すると言えよう。

結 論

床用レジンの表面応力は加熱条件および冷却条件により異なる。発生した応力をレーザー表面応力計にて測定した。離型前と離型後の表面応力値を測定し、床の浮き上がり量との関係についても考察し、以下のような結論を得た。

1. 表面応力値は、加熱後徐冷したものに比べ急冷したものは増加が見られた。
2. 表面応力値は、70°Cで加熱したものに比べ、100°Cで加熱したものでは増加傾向にあった。
3. 顎堤部では、離型前および離型後の表面応力値は、ほぼ一定で応力緩和が見られない。口蓋部では、離型後に応力緩和が見られた。
4. 浮き上がり量は、70°Cで加熱したものより100°Cで加熱したものの方が大きく、また、徐冷よりも急冷の方が大きな値を示した。
5. 義歯に発生する表面応力の直接測定法に、レーザー表面応力計の応用が有用である。

Abstract : Differences in surface stress on denture base resin was generated by a difference the heating and cooling condition. The surface stress value was measured by a laser surface stress meter before and after removal from the mold. Also the relation between the discrepancy and the above mentioned conditions was examined.

The results were as follows :

1. The surface stress value after heating increased more during rapid cooling than during slow cooling.
2. The surface stress value had a tendency to increase more at a temperature of 100 °C than at 70°C.

3. The surface stress value remained almost constant before and after removal from the mold and showed no stress relaxation at the alveolar area. Stress relaxation at the palatal area was noted after removal from the mold.
4. The amount of discrepancy was greater at 100°C than at 70°C and further increased during the rapid cooling condition.
5. The laser surface stress meter is usable in the direct measuring method of the surface stress generated in a denture.

文 献

- 1) Phillips, R. W. : Skinner's science of dental materials, 7th ed., W. B. Saunders Co., Philadelphia, London, Toronto. pp178-216, 1973.
- 2) 中井宏之, 東口茂治, 辻合和雄, 柳谷良三: 義歯床作製時の諸条件がその再現性に及ぼす影響について(その1), 歯材器誌, 12: 43-52, 1965.
- 3) 越中 優, 菊地敬成, 小園江芳之, 野口八九重: 床用レジンの重合時ならびに経時的寸法変化, 東北歯大誌, 12: 75-84, 1985.
- 4) Walter, J. P. : Internal strains in denture base materials. *J. Am. Dent. Assoc.* 30 : 1382-1389, 1943.
- 5) 辻 二郎, 西田正孝, 河田幸三: 光弾性実験法, 第3版, 日刊工業新聞社, 東京, 51-170ページ, 1968.
- 6) El-Ebrashi, M. K., Craig, R. G. and Peyton, F. A. : Experimental stress analysis of dental restorations. Part III. The concept of the geometry of proximal margins. *J. Prosthet. Dent.* 22 : 333-345, 1969.
- 7) 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.
- 8) 関根 弘, 田島篤治, 石井 恒, 海洲馨一, 岡田京子, 前田佳英: 義歯の力学的研究(第6報) 歯科用アクリリック・レジンを対象とした応力測定法に関する基礎実験, 歯科学報, 68: 1048-1058, 1968.
- 9) 岸井 貫: 臨界屈折光を用いた曲面強化ガラスの表面応力測定, 窯業協会誌, 89: 363-367, 1981.
- 10) 岸井 貫: ガラス成形品表面の光ウェーブガイド効果——表面応力測定への応用——, 窯業協会誌, 90: 664-669, 1982.
- 11) 岸井 貫, 堀辻 剛: 屈折計法を用いた珪瑯の表面応力の非破壊的測定, 窯業協会誌, 89: 59-63, 1981.
- 12) 岸井 貫: レーザー表面応力計——陶磁器釉薬層の応力測定——, 東芝レビュー, 36: 1-6, 1981.
- 13) 斎藤設雄, 桂 啓文, 神 達宏, 池田政明, 邊道輝, 村谷 繁: 歯科用陶材エナメル層の表面応力測定, 歯材器, 2: 318-323, 1983.
- 14) Craig, R. G. and Peyton, F. A. ed.; 長谷川二郎監訳: 修復材料の歯科理工学 下巻, 第5版, クインテッセンス出版, 東京, 145-191ページ, 1979.
- 15) 金竹哲也: 歯科理工学通論, 改訂版, 永末書店, 東京, 288-332ページ, 1968.
- 16) 藤井正道, 堀部 隆, 菊池 寛: 加熱重合方法と義歯床用レジンの性質, 歯材器誌, 17: 28-34, 1968.