

數種 Composite Resin의 色素浸透에 關한 實驗的 研究

서울대학교 齒科大學 保存學教室

教授 李 鳴 鍾

AN EXPERIMENTAL STUDY ON PENETRATION OF DYE IN COMPOSITE RESIN

Lee Myung Chong

Dept. of Operative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

The purpose of this study was to measure penetration of dye stuff (2% Methylene blue, 2% Hematoxylin, 2% crystal violet and 2% safranin-O) on unfilled resin (Lang Dental MFG Co.) Hipol (Boopyung Dental Chemical Co. Macrocomposite resin) Durafill (Kulzer, Co. Microfilled Composite resin) and Heliosit (Vivadent Co. Microfilled Composite resin)

The unfilled resin with dough stage was inserted into plastic tube (5mm in diameter and 4mm in height) with condensation force of 1000 gr, 2000 gr and without condensation force. Hipol mixed on the mixed pad was inserted into the plastic tube by the same method as the unfilled resin. The microfilled resins which were Durafill and Heliosit were polymerized for 60 seconds with the visible light on each surface of the plastic tube which was upper and lower, under condensation force of 1000 gr, 2000 gr and without condensation force.

All specimens were stored in the air for 24 hours, then specimens were immersed in the various kind of dye solution for different period of time (1 hour and 24 hours).

These dye-treated specimens were polished horizontally until removing 0.5mm of each surface on the emery paper (#1000), and the dye penetration in the polished surface was measured under the digital microscope (Japan Fosuh)

Following results were obtained

1. The penetration of dyes was the most excessive in Durafill and was not influenced on the condensation force and the period of immersion time.
2. All dyes were penetrated into Hipol, and Crystal violet was penetrated most excessively in all dyes.
3. The penetration of dye in all resins was not influenced by the period of immersion time and condensation force.
4. There was no evidence of dye penetration in unfilled resin.

第一章 緒 論

修復용 레진(unfilled resin 즉 polymethyl-methacrylate)는 硬度나 強度가 낮으며 methyl-methacrylate가 重合收縮할때 그 重合收縮은 21%나 되어서 monomer와 polymer가 約 1 : 3 으로 混合될 때 그 重合收縮은 約 5 ~ 7 %에 이르고 있으며 熱膨脹係數도 모든 修復材料中에서도 가장 커서 齒牙의 約 7 배나 크기 때문에 溫度에 따라 percolation을惹起시켜 修復材料로는 많은 問題點을 가지고 있으나 다만 審美的인 面에서 優秀하다는 理由로 過去에는 使用되어 왔다. 修復용 레진의 이러한 短點을 없애기 위하여 레진 基質(matrix)에 Crystalline quartz, lithium aluminum silicate나 borosilicate glass¹⁾ 나 fused silica²⁾와 같은 堅固하고 微細한 filler를 넣어 物理的 性質을 改善시키고 filler를 silane으로 表面處理하여 filler와 resin基質과 化學結合을 이르게 하고 더우기 Bowen³⁾은 重合收縮이 큰 methyl-methacrylate代身에 matrix resin으로 새로운 BIS-GMA, NPG-GMA 또는 BIS-EAE를 合成하여 優秀한 理工學的 性質을 가진 複合레진을 開發하였다.

現在 가장 一般적으로 使用되고 있는 複合레진은 BIS-GMA系의 past type으로 2個의 past을 同量 練和하여 修復하는 材料로 造作的 簡易性때문에 臨床에서 널리 使用되고 있다. 反面에 이 材料는 硬化時間이 짧기 때문에 操作時間에 制約을 받으며 多數齒牙를 同時에 修復하기가 어렵고 또 複雜窩洞을 修復하는 境遇는 困難한 點이 따르고 練和時에는 氣泡가 生길 우려도 있다. 따라서 이러한 缺點을 補完해서 改良된 材料인 紫外線 重合레진이 開發되었다. 이 紫外線 重合레진은 過去 數年間に 걸쳐 保存 臨床에서 많이 使用되었고 이 單一 past 形態인 紫外線 重合레진은 紫外線을 照射하지 않는 限 硬化되지 않으므로 一回에 多數의 窩洞에도 修復할 수 있다. 또 複雜한 形態의 窩洞에도 容易하게 充填할 수 있는 利點을 가지고 있으며 練和할 必要가 없기 때문에 氣泡의 生成을 最大한 程度로 줄여 줄 수도 있다. 이러한 여러가지 長點들 때문에 過去 數年間 紫外線 重合레진이 臨床에 많이 使用되어

왔다.³⁾ 그러나 이 紫外線이 人體에 미치는 危害作用에 對해 여러 學者들의 報告^{4, 5)}가 있다. Birdsell等⁶⁾은 紫外線의 副作用을 막기 위해서 保護裝置를 한 後에 紫外線 重合레진의 修復을 實施해야 할 다고 主張하였다. 그러나 이에 反해 最近에 生物學的으로 安定性이 높은 420~450nm程度의 波長을 갖은 可視光線에 依해서 硬化되는 可視光線 重合레진이 開發되었다. 이 可視光線 重合레진은 紫外線 重合레진보다 더 짧은 時間에 더 깊게 硬化된다는 研究報告^{7, 8)}가 있고 近來에는 臨床에서도 이 可視光線 重合레진이 널리 使用되고 있다.

이 可視光線 重合레진 역시 可視光線을 照射하기 前에는 硬化되지 않으므로 操作이 簡便하고 臨床에서 多樣하게 使用되고 있다. 紫外線 重合레진이나 可視光線 重合레진 같은 光重合레진의 가장 큰 缺點은 硬化深度의 限界가 있는 것이다. 그러나 化合物反應에 依해서 重合이 일어나는 레진의 경우에는 窩洞이 깊고 廣範圍하더라도 窩洞의 모든 部分에서 重合反應이 일어나므로 均일하게 硬化되는데 比해서 光重合레진에 있어서 重合은 光線의 照射面에서 始作하여 레진 内部를 透過할 때 일어나며 이때 透過하는 빛은 複合레진의 화학성분⁹⁾, 빛의 透過力¹⁰⁾, 波長, 照射時間 및 레진과 照射器와의 距離等に 影響을 받아 레진 硬化體 内部로 들어갈수록 점차 그 透過力이 減少되어 硬化가 均일하게 일어나지 않은 것이 缺點의 하나로 指摘되어 왔다. 그러므로 光重合레진은 窩洞이 깊고 廣範圍한 境遇에는 窩洞의 深部에서는 硬化가 完全히 되지않으면 齒髓組織에 繼續的인 刺戟을 주거나 充填物이 脫落되어 失敗를 招來할 수 있다. 그러므로 光重合레진을 修復할 때는 깊은 窩洞인 境遇에는 한번에 充填하지 말고 數回로 나눠서 充填하는 것이 理想的인 方法이라고 勸하고 있다.^{11, 12)}

修復용레진의 變色, 着色에 對해서도 前齒部에 있어서 齒冠部缺損이 部分的인 修復을 對象으로 하기 때문에 機能的이나 形態的인 面에서 自然齒牙의 色調로 調和시키는 것은 매우 重要한것이다. 또한 修復後에 어느 期間이 經過後에 修復物의 變色이나 着色이 되는 것은 問題點이 많으며 이는 레진自体의 構成成分中에서 反應開始劑와 關聯되어 있으며 Liskukas¹⁴⁾, Moser¹⁵⁾, Coy¹⁶⁾, Caul¹⁷⁾, Paffenbarger¹⁸⁾, resin이 어떤 색으로 變化하는지를 觀

察하였다.

또한 修復物의 變色이나 着色의 原因으로는 resin 内部의 化學的變化¹⁹⁾ 紫外線의 影響^{20, 21)} 齒質과의 熱膨脹率의 差異에 따른 邊緣漏出 修復物의 浸透²²⁾ 邊緣破折 表面에 發生되는 龜裂²³⁾ 등이 있으며 그 實態는 매우 複雜하고 着色이나 色素沈着의 原因으로는 色素生成菌에 依한것과 口腔清潔狀態가 不潔한 것에서 惹起되며 Hine²⁴⁾ 은 各種 調味料과 嗜好品등이 沈着이나 着色이 된다고 報告하였다.

複合레진에 있어서 filler와 matrix가 接觸하지 않으면 레진을 硬化시키지 못하고 filler의 露出된 表面을 따라 물이 容易하게 浸透할수도 있다.

著者는 數種 修復用 複合레진을 材料로 하여 色素가 充填物 自体에 어느程度 浸透하나를 觀察한바 多少의 知見을 얻었기에 이에 報告하는 바이다.

第二章 實驗材料 및 實驗方法

1. 實驗材料

本 實驗에서는 unfilled resin 1種, 複合레진 1種, 可視光線 重合레진 2種을 資料로 하였다.

1. Unfilled resin; Lang Dental Co.
2. Hi-pol; (Boo-Pyung Dental Chemicals Co. Macrocomposite resin)
3. Durafill; Kulzer. (Co. Microfilled Composite resin) visible light. Translux shade Yo.
4. Heliosit; Vivadent. (Co. microfilled Composite resin) visible light Heliomat shade #20.

2. 實驗方法

unfilled resin의 試片製作
直徑 5mm, 높이 4mm의 plastic tube에 粉末과液의 比率는 重要으로 3:1로 하여 液에 粉末을 加

하여 dough stage가 왔을때 이를 上記 tube內에 注入하고 室溫에 放置한 群과 1,000gr 및 2,000gr 으로 荷重을 加한 狀態下에 重合시킨群으로 試片을 製作하였다.

Hi-pol Composite resin의 試片製作

base와 Catalyst를 同量으로 練和하여 이를 上記 tube內에 注入한 群과 1,000gr 및 2,000gr으로 荷重을 加한 狀態下에 硬化시킨群으로 試片을 製作하였다.

可視光線重合레진의 試片

유리판위에 上記 tube를 固定하고 durafill 및 Heliosit paste를 tube內에 注入시켜 Celluloid Strip 으로 固定하고 該當 可視光線 light로 60초씩 상하단 면에 照射하여 硬化시킨群과 1,000gr 및 2,000gr의 荷重을 加하면서 可視光線 Lamp를 照射하여 硬化시킨群의 試片을 製作하였다. 따라서 上記 方法에 依해서 96個의 試片을 製作하였으며 各材料의 取扱은 製造會社의 指示에 따라서 實行하는것을 原則으로 하였다. 各 試片은 24時間 동안 室溫에 保管한 後에 tube을 除去하고 2% Methylene blue 水溶液 2% Hematoxylin, 2% Crystal violet 및 2% Safranin-o 溶液에 1時間 및 24時間동안 浸漬시킨 後에 流水에 24時間 通過시켜 剩餘色素를 除去한 後에 Emery paper #600에서 1000까지 試片 上下端 面을 0.5mm씩 研磨하여 3mm程度의 試片面에서 上記 色素가 浸透된것을 Digital microscope(Japan fushoh)을 使用하여 檢境하였다.

第三章 實驗成績

上記 方法에 依해서 測定된 各 實驗材料의 色素 浸透度는 다음 Table 1, 2, 3, 4 및 그림 1, 2, 3, 4와 같다.

Table 1. Measurement of dye penetration on unfilled resin.

(단위 : mm)

Dye Hour Prossure	2% Methylen blue		2% Hemetoxylene		2% Crystal Yiolet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non-pressure	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
1000 gr	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.0	0.00	0.00
2000 gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 2. Measurement of dye penetration on Hi-pol Composite resin

(단위 : mm)

Dye Hour Pressure	2% Methylen bule		2% Hematoxylin		2% Crystal Violet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non-pressure	0.17	0.19	0.18	0.25	0.27	0.28	0.10	0.20
1000 gr	0.15	0.08	0.26	0.20	0.16	0.25	0.12	0.13
2000 gr	0.19	0.12	0.06	0.25	0.18	0.13	0.14	0.15

Table 3. Measurement of dye penetration on Durafill composite resin

(단위 : mm)

Dye Hour Pressure	2% Methylen bule		2% Hematoxylin		2% Crystal Violet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non-pressure	0.16	0.17	0.12	0.48	0.35	0.71	0.18	0.24
1000 gr	0.15	0.16	0.13	0.15	0.27	0.41	0.14	0.23
2000 gr	0.12	0.31	0.11	0.07	0.20	0.29	0.09	0.17

Table 4. Measurement of dye penetration on Heliosit Composite resin.

(단위 : mm)

Dye Hour Pressure	2% Methylene blue		2% Hematoxyle		2% Crystal Violet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non-pressure	0.12	0.15	0.43	0.81	0.39	0.27	0.35	0.40
1000 gr	0.10	0.20	0.11	0.69	0.44	0.77	0.25	0.26
2000 gr	0.00	0.46	0.08	0.10	0.42	0.5	0.13	0.18

unfilled resin에 있어서는 荷重의 加壓이나 色素 浸積時間의 差異 및 모든 色素의 種類에 關係없이 一般적으로 浸透되지 않았다.

Hipol composite resin의 境遇는 2% Methylene blue, Hematoxylin, Crystal violet, Safranin-o 어느 色素에나 모두 浸透됨을 볼수 있었고 一般적으로 浸透도는 加壓壓과 色素 浸積時間等に 크게 影響을 주지 않으며 Crystal violet의 浸透가 가장 顯著하였다.

Durafill에서는 Hipol이나 Heliosit 보다는 各色素에 對한 浸透도가 顯著한 差異로 크게 보이며 특히 Crystal Violet에서는 다른 色素의 浸透도보다 크게 나타냈다.

Heliosit의 境遇는 unfilled resin의 色素 浸透도에 比하여 顯著하게 크다. Hipol에 比較하여 보면 一般적으로 浸透도가 컸다. 또한 Durafill에 比較하여 보면 거의 모든 色素에서 若干 浸透도가 弱하나 다만 Hematoxylin에서 Durafill보다 훨씬 컸다.

第四章 總括 및 考按

一般적으로 審美性 修復材料中에서 陶材를 除外하고는 口腔內에서 時間이 經過됨에 따라 어떤 變色이나 着色이 된다. 이와 같은 色調의 變化는 修復材料의 種類에 따라 差異가 있는 것으로 思料되며 實際 口腔內에서 材料間의 差異가 있고 患者 個

Fig. 3. Measurement of dye penetration on Durafill composite resin.

dye hour pressure	2% Methylen blue		2% Hematoxylin		2% Crystal violet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non pressure								
1000 gr.								
2000 gr.								

Fig. 4. Measurement of dye penetration on Heliosit composite resin.

dye hour pressure	2% Methylen blue		2% Hematoxylin		2% Crystal violet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non pressure								
1000 gr.								
2000 gr.								

Fig. 1. Measurement of dye penetration on unfilled resin

pressure \ hour dye	2% Methylene blue		2% Hematoxylin		2% Crystal violet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non pressure								
1000 gr								
2000 gr.								

Fig. 2. Measurement of dye penetration on Hipol Composite resin.

pressure \ hour dye	2% Methylene blue		2% Hematoxylin		2% Crystal violet		2% Safranin-O	
	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs	1 hr	24 hrs
non pressure								
1000 gr.								
2000 gr.								

個人的 個人差도 影響을 받을 수 있으며 特히 修復物의 色素浸透力은 色素溶液의 濃度와 色素分子量의 大小, 溶液과 充填物質의 親和力 및 浸漬時間이 主要한 影響을 주며 充填物의 分子間 結合度와 材料自體의 密度가 가장 큰 影響을 줄 수 있다.

複合레진은 filler와 resin matrix의 接合이 매우 重要하다. 例를 들어 filler인 유리纖維, 酸化알미늄이 露出된 表面을 따라 水分이 容易하게 浸透하는 것이다.

따라서 Bowen^{2, 25)}은 matrix와 filler의 接觸性을 연기 爲해서 Silane溶液으로 filler를 被覆시켰다. 즉 1%의 Silane水溶液에 NaOH를 溶解시켜 PH 9.3~9.8로 만들고 filler의 粒子를 이溶液에 넣은後 125°C에서 熱處理를 하여 filler와 resin matrix를 可能한限 잘 接觸시켜 物理的 性質을 높임과 아울러 filler를 통해서 水分의 浸透를 막게한것이다.

Hipol, Durafill, Heliosit은 위에 叙述한 處理를 한 것으로 思料되나 unfilled resin에 比해서 그 浸透가 훨씬 큰 것이다. 卽 unfilled resin은 polymer가 monomer에 溶解되어 sand stick, Dough stage를 거쳐 重合을 일으켜 그 重合된 mass가 high cross-linked structure를 이루어 緻密하게 되기 때문에 filler가 든 複合材 보다 훨씬 色素의 浸透가 적은 것으로 思料된다.

一般的으로 色素의 浸透는 試片 製作時 充填壓에 의해서 크게 影響을 받은것으로 思料되나 本實驗에서는 1,000gr과 2,000gr의 荷重에는 크게 影響을 받지 않는 것으로 思料된다. 그 理由는 light system에 있어서는 練和하지 않고 試片을 만들기 때문에 그리 크게 void나 층판이 形成되지 않기 때문이다. 무엇 보다도 重要한것은 앞서 言及한 filler와 resin matrix간에 接合이 重要한 것으로 思料된다.

本實驗에서 色素의 浸透度는 Hipol에서 Crystal violet가 Hematoxylin보다 若干 크게 보이며 Methylene blue와 Safranin-o와는 大同小異한 값을 갖고 浸漬時間과 加壓壓에서는 浸透도가 거의 類似하였다. Durafill에 있어서 色素 浸透度는 Crystal Violet와 Hematoxylin은 근소한 差異를 보이고 Methylene blue와 Saframim-o順位로 低下되었고 浸漬時間에 있어서 Crystal violet에서는 1時間보다 24時間이, 또한 加壓壓에 있어서 non pressure가 1,000gr~2,000gr加壓壓보다 浸透도가 若干 컸으나 顯著한

差異는 없었다.

Heliosit는 色素浸透도에 있어서 Hematoxylin Crystal violet, Safranin-o, Methylene blue 順位로 浸透도를 나타냈고 Heliosit의 色素 浸透도는 모든 色素에 있어서 Durafill과 Hipol의 色素 浸透도 보다는 若干 낮은 浸透도를 이루었다.

Unfilled resin은 上述한 바와 같이 어떤 色素에도 浸透됨을 볼수 없이 좋은 成績을 나타낸것은 filler가 들어 있지 않기 때문에 色素가 浸透될 可能性이 적기 때문인 것으로 思料된다.

第五章 結 論

Unfilled resin Hipol, Durafill 및 Heliosit의 4種類를 材料로 하여 Unfilled resin과 Hipol의 例에서는 直徑 5mm, 높이 4mm의 plastic tube에 上記 材料를 練和하여 삽입하여 tube에 加壓作用없이 注入한것과 1,000gr 및 2,000gr의 荷重을 加壓하여 試片을 製作하고 Durafill와 Heliosit의 例에 있어서는 light을 60秒間씩 tube의 上下 兩面에 交代로 照射하여 上記 方法으로 硬化시킨後 室溫에 24時間 放置한 後에 tube를 除去하고 Emery paper로 試片의 兩面을 0.5mm씩 研磨하여 높이 3mm의 試片을 製作하였고 2% Methylene blue, 2% Hematoxylin, 2% Crystal violet, 2% Safranin-o溶液에 1時間 및 24時間씩 浸漬시켜 修復物의 色素浸透狀을 Digital microscope(Japan fusok)을 利用하여 檢境한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 色素의 浸透는 Durafill에서 가장 顯著하였고 充填壓과 浸漬時間에는 크게 影響을 받지 않았다.
2. Hipol composite resin에서는 모든 色素에서 色素浸透를 나타냈고, Crystal violet에서 若干 浸透도가 컸다.
3. 모든 材料에서 色素의 浸透는 浸漬時間과 充填壓에 크게 影響을 받지 않았다.
4. Unfilled resin에서 色素의 浸透는 確認할수가 없었다.

참 고 문 헌

1. Philips, R.W.: Skinner's Science of dental

- materials 232p sauder 75h Ed.
2. Bowen, R.L.: Properties of Silica-reinforced polymer for dental restoration. *J. Am. Dent Assoc*, 66: 57, Jan. 1963.
 3. Buonocore, M.G. and Diaila, J.: Restoration of fractured anterior teeth with ultra-violet-light-polymerized bonding materials: a new technique. *JADA* 86: 1349 June 1973.
 4. Forbes, P.D.: Effects of long wave ultra-violet light on the skin of mice, *Proc Fourth Int Cong Photobiology 1972*, p. 343.
 5. Zigma, S.: and others: Ocular protein alterations by near UV light, *Exp. Eye Res* 15: 255 March 1973.
 6. Birdsell, D.C., Bannon, P.J., and Webb, R.B.: Harmful effects of near ultraviolet radiation of Sealant and composite resin. *J. Amer. Dent. Asso.* 94, 311, 1979.
 7. Murray, G.A., Yates, J.L., and Newman, S.M.: Ultraviolet light and ultraviolet light-activated composite resins. *J. Prosthet. Dent.* 46: 167, 1981.
 8. Newman, S.M., Murray, G.A., Yates, J.L.: Visible lights and visible light-activated composite resins, *J. Pros. Dent.* 50: 31, 1983.
 9. Cook, W.D.: Factors Affecting the depth a of cure of UV polymerized composites. *J. Dent. Res.* 59: 800-808, 1980.
 10. Tirtha, R., Fan, P.L., Dennison, J.B., and Powers, J.M.: In vitro depth of cure of photo-activated composites. *J. Dent. Res.* 61: 1184-1187, 1982.
 11. Swartz, M.L., Phillips, R.W., and Rhodes, B.F.: Visible light-activated resins-Depth of cure, *J. Dent. Res.* 61: 270, 1982.
 12. Leung, R., Fan, P.L., and Johnson, W.M.: Exposure time and thickness on polymerization of visible light composite, *J. Dent. Res.* 61: 248, 1982.
 13. 嚴正文·李鳴鍾: 複合레진의 變色에 關한 實驗的研究. *J Korea Dent Assoc*, vol 15, No. 12. Dec 1977, 845~848p.
 14. Listukas, E.L.: A clinical investigation of composite restorations in anterior teeth. *J. Prosthet Dent*, June 1972, 616-621 p.
 15. Moser, J.B., Wonziak, W.T., Moore, B.K., Muller, T.: Color difference in composite resin. *J Dent Res* Vol. 56. June 1977. Special Issue B. 1799.
 16. Coy, H.D.: An evaluation of acrylic resin as a restorative materials. *J Am Dent Assoc*, Vol. 48, March 1954, 266-271 p.
 17. Caul, H.J., Schoonover, I.C.: The color stability of direct filling resins. *J Am Dent Assoc*, Vol. 47, Oct 1953. 448-452 P.
 18. Paffenbarger, G.C., Nelson, R.J., Sweney, W.T.: Direct and indirect. filling resins. A review of some physical and chemical properties. *J Am Dent Assoc*, Vol. 47, Nov. 1953, 516-523 P.
 19. Mclean, J.W. and Kramer, I.R.H.: A Clinical and Pathological Evaluation of a Sulphinic Acid Activated Resin for Use in Restorative Dentistry; *Brit. dent. J.*, 93, 255-269, 1952.
 20. Council on Dental Materials and Devices: Composite Restorative Materials, Recommended Uses; *J. Amer. dent. Ass.*, 82, 399, 1971.
 21. Bowen, R.L.: Dental Filling Material Comprising Vinyl Silane-treated Fused Silicate and a Binder Consisting of the Reaction Product of Bisphenol and Glycidyl Acrylate; U.S. Patent, 112, 1962.
 22. Nelson, R.J., Wolcott, R.B. and Paffenbarger, G.C.: Fluid Exchange at the Margins of Dental Restorations; *J. Amer. dent. Ass.*, 44: 288, 1952.
 23. Sweeney, W.T., Brauer, G.M. and Schoo-

- nover, I.C.: *Crazing of Acrylic Resins*; *J. Dent. Res.*, 34, 306-312, 1955.
24. Hine, J.F., Swartz, M.L. and Philips, R.W.: *Staining of Resin and Silicate Restorations by Topically Applied Solutions of Stannous Fluoride*, *J. of Periodontology*, 28, 138-144, 1968.
25. Bowen, R.L.: *Effect of particle shape and size distribution in a reinforced polymer*. *J Am Dent Assoc*, 69: 481, Oct. 1964.
-