

添加不同濃度之食用鹽對牙用石膏物理性質之影響

郭永昌 王婉瑜 賴佩君 徐龍基*

柯雯青* 王明*

摘要

用石膏灌製模型是每個牙醫師及牙科學生都很熟悉的工作。而添加物 (Additives) 的使用能加速或減緩石膏的硬化時間，因此對於臨床或技工操作工上有莫大的俾益。本實驗的目的在求取一個國內日常生活中最易取到且便宜的石膏添加物—食用鹽，及在國內之溫濕度下，測定不同濃度食用鹽對石膏硬化速率之影響，並分析石膏抗壓縮強度是否會因加入添加物而改變。實驗分兩部分進行；第一部分測試 2%、5%、10%、20%，四種不同濃度的食鹽水，對三種不同品牌石膏的硬化速率影響程度。其結果顯示 20% 食鹽水對 SSS 普通石膏為遲緩劑，而其餘濃度則是加速劑；針對 MG Hi-koseton 硬石膏，20% 食鹽水加入後，經 2 小時以上仍不硬化，其餘濃度則對其影響並不明顯。而 G-C's Surstone 超硬石膏則是隨著加入食鹽水濃度之增加，硬化時間也隨之延長。第二部份測試以不同濃度調和後之石膏，其硬化後抗壓縮強度之改變。結果顯示：SSS 普通石膏加入 10%、20% 食鹽水後，其抗壓縮強度降低 ($P < 0.01$)。而各種濃度之食鹽水對 Hi-koseton 硬石膏及 Surstone 超硬石膏之硬化後抗壓縮強度，並無明顯差別 ($P > 0.01$)。又本實驗都在室溫 $27 \pm 2^\circ\text{C}$ 及濕度 $75 \pm 10\%$ 下操作。

石膏 (Gypsum products) 對牙醫界貢獻極大，尤其在灌製模型上，佔有極重要角色；不同種類的石膏，因製造處理過程不同⁽¹⁾，其性質也不同；如：強度、硬度、硬化時間……等。而在臨床的使用上，牙醫師為求效率，通常希望石膏硬化時間縮短，其最有效的方法是加入化學添加物 (Chemical Additives)，添加物種類很多⁽²⁾，最普通用的有 NaCl、 Na_2SO_4 、 K_2SO_4 等，但它們的濃度變化對石膏硬化速率並非相同⁽³⁾。翻閱牙科常用兩本牙科材料課本：

Phillips RW⁽³⁾ 所編 Skinner's Science of Dental Materials 及 Craig RG⁽⁴⁾ 所編 Restorative Dental Materials，其內對添加物的濃度討論差別甚大，且單就 skimmers 本身而言，第七版⁽⁵⁾ 與第八版⁽³⁾ 資料又有差異。今鑑於國外做實驗時，溫度及濕度與台灣不同，各書中資料又有差別，所以為求一台灣牙醫師可用的添加物濃度，我們採用日常生活中最易取到的食用鹽，對所需濃度做一實驗，並針對加入添加物後之石膏抗壓縮強度 (Compressive

台北醫學院牙醫學系

*台北醫學院牙醫學系學生

民國七十七年一月十四日受理

strength) 做一分析, 以期求得最佳添加物之濃度。

材料與方法

本實驗分兩部份進行, 使用材料是臨床常用的石膏, 其製造廠商、商品名、製造番號及混水比率均示於表 1: 其中 SSS 為十八公斤鐵桶包裝之白色普通石膏(plaster), 但製造番號不詳。MG Hi-koseton 為塑膠袋一公斤包裝之黃色硬石膏(stone), 而 G-C's Surstone 亦為塑膠袋一公斤裝之紅色超硬石膏(high strength stone)。

實驗一: 測量不同濃度食鹽水對三種石膏硬化過程中溫度變化與時間關係之影響, 其方法如郭永昌所編牙科材料學實驗手冊⁽⁶⁾所述:

1. 用石蠟(paraffin wax)先做好直徑 4.0 ± 0.1 cm, 高 2.5 ± 0.1 cm 有底無蓋圓柱體在高度為 $1/2$ 處打一洞, 洞之直徑以可放入溫度計大小為宜, 在溫度計末端塗一些凡士林作分離劑, 然後插入圓筒壁上之洞, 使溫度計之末端恰位於圓筒中央位置為止, 並用蠟將插入孔處之空隙補滿並固定溫度計, 如圖 1。
2. 泡製 2%、5%、10%、20% 食鹽水溶液(NaCl solution), 並取室溫自來水備用, 其中食鹽為台灣通霄精鹽廠所製造之添加碘酸鈉 30 PPM 以下之家庭調味用高級精鹽。
3. 每種石膏分作五組, 每組製作三個試驗片: 量取 30 ml 的自來水及 2%、5%、10%、20% 食鹽水溶液(NaCl Solution), 各置於橡皮碗內, 再依廠商所指示之混水比率, 將石膏粉末徐徐地倒入橡皮碗內再用石膏調刀以旋轉(circulation)方法調和, 調和速率採一分鐘 120 次。
4. 將調好之石膏倒入 1. 所作之蠟模內, 放在震盪器上震盪 1 分鐘。
5. 自開始調和起計時每 2 分鐘觀察一次, 並記錄溫度變化。記錄時間約為 60~70 分鐘。
6. 記錄每組三個試驗片個別之溫度上昇至最高

點所需之時間, 並平均之。

實驗二: 測量不同濃度食鹽水對三種石膏硬化後抗壓縮強度之影響, 其方法如平澤忠⁽⁷⁾、中村健吾⁽⁸⁾、吉田隆⁽⁹⁾等人所述之綜合:

1. 用石蠟(paraffin wax)先做好直徑 2.0 ± 0.1 cm 高 3.0 ± 0.1 cm 的圓柱體。
2. 重覆實驗一之 2.3. 步驟, 唯每組試驗片數為 5 個。
3. 將調好之石膏倒入 1. 所作之蠟模內, 置於震盪器上 1 分鐘後靜置桌面, 待 30 分鐘後拆除蠟模, 試驗片兩端以金鋼砂紙 No. 2000, No. 400, No. 600, 逐次研磨使兩端平行, 再靜置 30 分鐘後, 放在萬能材料試驗機(KT

表 1 使用材料

| 製造廠商 | 商品名 | 製造番號 | 混水比率 |
|---------|----------------|--------|------|
| 日本SSS公司 | SSS | - | -0.5 |
| 丸石公司 | MG Hi-koseton | 37041 | 0.24 |
| 而至公司 | G-C's Surstone | 131231 | 0.24 |

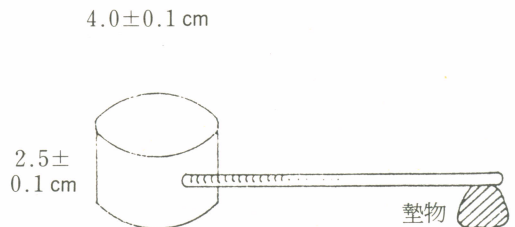


圖 1 實驗用石蠟模及溫度計之裝置

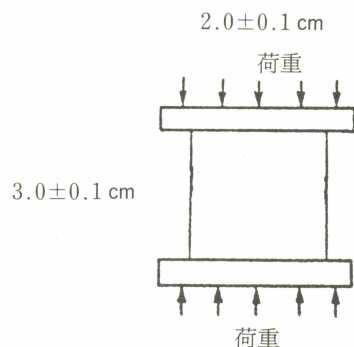


圖 2 測試抗壓縮強度時, 試驗片在萬能材料試驗機之位置圖

表 2 石膏硬化過程中放熱至最高溫度所需之時間

(單位：分)

| 石膏 | 水溶液 | | 氯化鈉水溶液 | | | |
|----------------|-----|--|--------|----|------|------|
| | 水 | | 2% | 5% | 10% | 20% |
| SSS | 34 | | 12 | 8 | 14 | 38 |
| MG Hi-koseton | 34 | | 30 | 28 | 36 | >120 |
| G-C's Surstone | 34 | | 54 | 68 | >106 | >120 |

-7010 A 2 龍門型, 台灣高鐵製造) 上, 如圖 2 所示, 其抗力感應器 (load cell) 已調節至最大荷重為 500 公斤, 而聯桿器速度 (Cross-head speed) 為 2 mm/min, 測三種石膏之抗壓縮強度 (compressive strength), 又抗壓縮強度定為試驗片受壓力至崩壞所需最大應力 (stress) 時之強度除以 πR^2 , R 為試驗片之半徑⁽¹⁰⁾。

- 每組 5 個試驗片中, 有兩個以上的試驗片其值與平均值間之差異在 15% 以上時, 則重做實驗。
- 將所得之結果以 t-test 作統計分析。

以上二實驗皆在室溫 $27 \pm 2^\circ\text{C}$ 與濕度在 $75 \pm 10\%$ 下操作。

結果

(一) 不同濃度食鹽水對石膏硬化過程中, 溫度與時間之關係:

由表 2 及圖 3、4、5 可知, 自來水與任何石膏調和後, 至溫度上昇到最高點所需之時間皆為 34 分鐘。但使用不同濃度之食鹽水時, SSS 普通石膏除 20% 食鹽水外, 其餘之濃度皆呈現出在短時間內, 溫度可在 10 分鐘左右達到最高點。MG Hi-koseton 則在使用 20% 之食鹽水時, 經過二小時以上亦未見溫度明顯之上昇, 其餘則與使用自來水時略同; 而 G-C's Surstone 則隨食鹽水濃度之增大, 其溫度上昇至最高點所需之時間則延長至 1、2 小時以上。

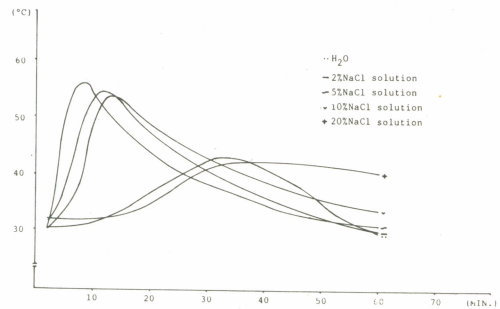


圖 3 SSS 普通石膏硬化過程中溫度之上升變化。

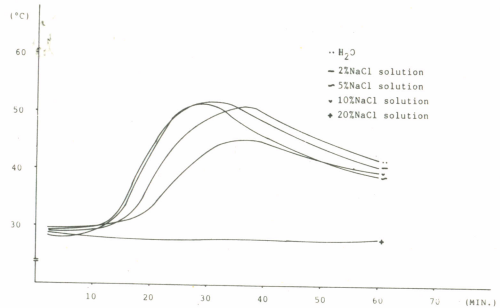


圖 4 MG Hi-koseton 硬石膏硬化過程中溫度之上升變化。

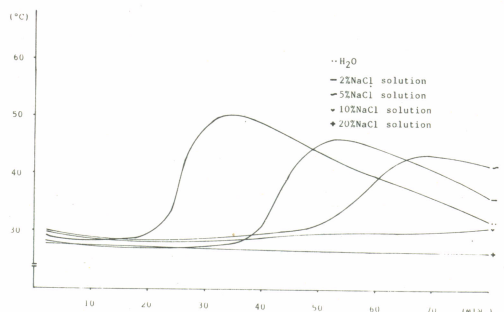


圖 5 G-C's Surstone 超硬石膏硬化過程中溫度之上升變化。

表 3 石膏與各種溶液之抗壓縮強度

(單位：kg/cm²)

| 石膏 \ 水溶液 | 水 | 氯化鈉水溶液 | | | |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| | | 2% | 5% | 10% | 20% |
| SSS | 94.16 ± 3.45 | 97.85 ± 6.68 | 91.49 ± 8.47 | 71.5 ± 3.33 | 36.23 ± 9.3 |
| MG Hi-koseton | 158.40 ± 10.28 | 162.97 ± 0.35 | 158.12 ± 8.46 | 161.25 ± 4.30 | — |
| G-C's Surstone | 156.91 ± 12.45 | 161.56 ± 1.4 | 161.99 ± 1.29 | — | — |

表 4 石膏之抗壓縮強度的比較

| | | SSS | | | | MG Hi-Koseton | | | G-C'S Surstone | | | | |
|-------------------|--------|-----|--------|-----|-----|---------------|---|--------|-------------------|-----|------------|-----|-----|
| | | 水 | 氯化鈉水溶液 | | | | 水 | 氯化鈉水溶液 | | 水 | 氯化鈉 水溶液 | | |
| | | | 2% | 5% | 10% | 20% | | 2% | 5% | | 10% | 2% | |
| SSS | 氯化鈉水溶液 | 2% | N.S | | | | | | | | | | |
| | | 5% | N.S | N.S | | | | | | | | | |
| | | 10% | S | S | S | | | | | | | | |
| | | 20% | S | S | S | S | | | | | | | |
| MG Hi-Koseton | 氯化鈉水溶液 | 水 | S | S | S | S | S | | | | | | |
| | | 2% | S | S | S | S | S | N.S | | | | | |
| | | 5% | S | S | S | S | S | N.S | N.S | | | | |
| | | 10% | S | S | S | S | S | N.S | N.S | N.S | | | |
| G-C'S Surstone | 氯化鈉水溶液 | 水 | S | S | S | S | S | N.S | N.S | N.S | N.S | | |
| | | 2% | S | S | S | S | S | N.S | N.S | N.S | N.S | N.S | N.S |
| | | 5% | S | S | S | S | S | N.S | N.S | N.S | N.S | N.S | N.S |

S : P < 0.01

N.S : P > 0.01

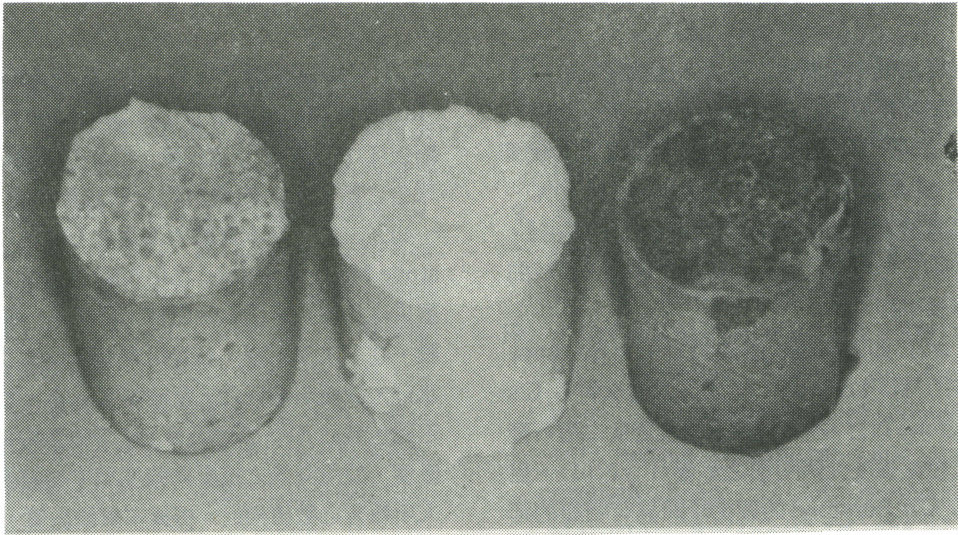


圖 6 20%食鹽水與各石膏調和硬化後之狀態、表面可見食鹽結晶之析出。

左：MG Ai-koseton硬膏

中：SSS普通石膏

右：G-C'S suvstone超硬石膏

(二)不同濃度食鹽水對石膏之抗壓縮強度的影響：

由表 3、表 4 可知，SSS 普通石膏與自來水，2%、5%食鹽水調和所得硬化物之抗壓縮強度皆約為 95 kg/cm^2 左右，彼此間無明顯之差異 ($P > 0.01$)；若與 10%食鹽水調和則抗壓縮強度約降低 20% 左右，而成為 $71.5 \pm 3.3 \text{ kg/cm}^2$ ，而與 20%食鹽水調和則更降低至 $36.2 \pm 9.3 \text{ kg/cm}^2$ ，約為原來的 40% 左右。但是 MG Hi-koseton 與 G-C's Suvstone 與自來水或各種濃度之食鹽水調和後，其抗壓縮強度皆在 160 kg/cm^2 左右，且彼此間無明顯之差異 ($P > 0.01$)。20%食鹽水對 G-C's Suvstone 與 MG Hi-koseton 及 10%食鹽水對 G-C's Suvstone，因最終硬化時間 (Final setting time) 均達 1、2 小時以上，故抗壓縮強度不可測得。

討論

由實驗一所測得任何石膏與水調和後之硬化過程中，放熱至最高溫度所需之時間均為 34

分鐘，而 ADAS No.25⁽¹¹⁾ 規定硬化時間為 12 ± 4 分鐘，此二者之差別在於前者為最終硬化時間 (final setting time)，而後者為初期硬化時間 (initial setting time)⁽¹²⁾。又石膏粉末之半水石膏變成二水石膏之過程為一放熱反應⁽¹³⁾，石膏硬化所放出之熱量，吾人可用手之觸摸而感覺到，而放熱至最高之時點，即為最終硬化時間。而感覺熱的程度與所用石膏之量有關，故以本實驗方法，應可為臨床推測石膏完全硬化所需時間之參考。

又由圖 3 可知，SSS 普通石膏與食鹽水濃度為 2%、5%、與 10% 調和時，其最終硬化時間在 10 分鐘左右，且放熱至 55°C 左右，若與自來水調和時，則最終硬化時間約 34 分鐘左右，而放熱至 45°C 左右；若與 20%食鹽水溶液調和時，其最終硬化時間為 38 分鐘左右，而放熱至 43°C 左右。此呈現出最終硬化時間愈短，則其放熱上昇至最高之溫度也愈高。此可能因石膏在短時間內硬化，則石膏水合作用速率增大，造成短時間內大量熱量放出，所以溫度也因而急驟增高。但若最終硬化時間愈長，則石

膏硬化過程中所釋放之熱量，因徐徐地放出，所以放熱至最高之溫度較低，甚至難以測得。如圖 4 MG Hi-koseton 與 20% 食鹽水溶液調和之結果或圖 5 G-C's Surstone 與 10%、20% 食鹽水調和之結果，其最終硬化時間在 1、2 小時以上，因此溫度上昇之曲線幾乎與時間之橫軸平行。

除了 20% 食鹽水溶液對 G-C's Surstone 與 MG Hi-koseton，或 10% 食鹽水對 G-C's Surstone 以外，所有食鹽水濃度對此二種石膏的抗壓縮強度並無明顯之影響 ($P > 0.01$)，但對 G-C's Surstone 的硬化時間具有明顯的延遲作用，而對 MG Hi-koseton 卻有些微加速硬化之作用，因此牙醫師可適當地利用此性質，應用於臨床之操作上。

20% 食鹽水溶液所製得普通石膏之抗壓縮強度的標準偏差頗大，約 40%。此外 NaCl 濃度過高會使抗壓縮強度降低，此可能是因為食鹽為一種攪雜物 (adulterant)，會減少石膏結晶間之內聚力 (cohesion)⁽¹⁴⁾。

實驗中發現以 10%、20% 食鹽水溶液所製作之硬石膏及超硬石膏柱，久置之後有結晶析出於表面，如圖 6 所示，此係 NaCl 晶體，且加入 NaCl 濃度愈高，結晶析出愈多，其原因可能為水分之蒸發作用，使原來存於石膏分子內部之水分減少，原先溶於水之 NaCl 呈現過飽和狀態而呈結晶析出⁽¹⁵⁾。而 2%、5% 之食鹽水溶液對三種石膏、及 10% 食鹽水製得之硬化普通石膏，並無此現象。且由表 3 可知 2%、5% 食鹽水與普通石膏所製得之試驗片其抗壓縮強度變化不大 ($P > 0.01$)，又最終硬化時間縮短，此可應用於臨床或技工室之操作。

我們實驗之操作環境與 ADAS No. 25⁽¹¹⁾ 所規定不同，本實驗環境是模擬台灣診所臨床操作環境，故溫度、濕度較高，水分不易蒸發，所得之抗壓縮強度較低，此可能為石膏開封後，因濕度高，故使用時容易受潮，吸收水氣使 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ 轉變成 $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ，並使得已硬化之試驗片繼續吸收水氣而呈一種

潮濕 (wet) 狀態^(14,16)，所以硬石膏 MG Hi-koseton 與超硬石膏 G-C's Surstone 的抗壓縮強度比平澤忠⁽⁷⁾、吉田隆一⁽⁹⁾及中村健吾⁽⁸⁾所報告之數值低，約為他們所報告數值之 30% ~ 40% 左右。又本實驗所使用之 G-C's Surstone 與 Hi-koseton 為用塑膠袋裝的，而塑膠袋本身對空氣中水分而言，可能是一種滲透膜，在尚未使用時，石膏粉末上已吸收了一層水分，故後來測得之抗壓縮強度下降，而鐵桶密封包裝之 SSS 普通石膏，較不受空氣中水分影響，故所測得之抗壓縮強度與中村健吾⁽⁸⁾等人所報告之數值相近。根據本實驗數值，讓我們更確定要使用以鐵桶密封包裝之石膏，才能發揮材料所應具有的性質。

最後由表 2 可知，小於 20% 食鹽水可加速普通石膏硬化，而加入大於 20% 之食鹽水可延續普通石膏之硬化作用，此與 Phillips RW 所編 Skinner's Science of Dental Materials 第八版⁽³⁾所述相同。

結論

由本實驗可知：

1. 2%、5%、10% 的食鹽水對 SSS 普通石膏而言，是加速劑；然而其中 2% 及 5% 食鹽水與普通石膏調和後其抗壓縮強度較水與其調和後之抗壓縮強度比較，是無明顯差異的 ($P > 0.01$)。但 10% 的食鹽水與自來水分別和普通石膏調和後之抗壓縮強度比較，前者就比後者降低約 20% 了。
2. 2% 及 5% 食鹽水對 MG Hi-koseton 硬石膏而言，有些微加速硬化作用，且與用自來水調和硬化之試驗片比較，2% 及 5% 食鹽水與石膏調和後，其抗壓縮強度並無明顯差異 ($P > 0.01$)。而 10% 食鹽水對 MG Hi-koseton 硬石膏而言，雖硬化時間有些微延緩作用，但因硬化後，硬石膏表面會有含鹽結晶析出，故不適用於臨床。
3. 2% 及 5% 食鹽水對 G-C's Surstone 超硬石

膏而言是遲緩劑。且其兩者與 G-C's Surstone 超硬石膏調和後之抗壓縮強度與自來水和超硬石膏調和後之結果比較並無明顯差異 ($P > 0.01$)。因此此性質可應用於臨床上。

4. 20% 食鹽水對 MG Hi-koseton 及 10% 與 20% 食鹽水對 G-C's Surstone 之硬化時間均達 1~2 小時以上，且硬化後之石膏表面有食鹽結晶析出之現象，故對臨床而言，並無利用價值。而 20% 食鹽水對 SSS 普通石膏而言雖為遲緩劑，但因硬化後之石膏表面亦有食鹽結晶析出，故臨床上也是無法採用的。

參考文獻

1. PHILLIPS RW: Skinner's Science of Dental Materials, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 8th ed., pp. 63-65, 1982.
2. SANAD MEE, COMBE EC, GRANT AA: The use of additives to improve the mechanical properties of gypsum products. J. Dent Res 61(6): 808-810, 1982.
3. PHILLIPS RW: Skinner's Science of Dental Materials, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 8th ed., pp. 74-75, 1982.
4. CRAIG RG: Restorative Dental Materials, St. Louis, C.V. Mosby Co., 7th ed., pp. 309-310, 1985.
5. PHILLIPS RW: Skinner's Science of Dental Materials, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 7th ed., pp. 67-68, 1973.
6. 郭永昌: 牙科材料學實驗手冊, 台北, 合記圖書出版社, 第一版, 5-6 頁, 1987。
7. 平澤忠、永光達雄: 模型材料をテストする。DE 37; pp.10-23, 1970。
8. 中村健吾、吉田隆一、仲居明 et al: せっころをテストする。DE 13; pp. 18-27, 1970。
9. 吉田隆一、中山正彦、安藤進夫 et al: 齒科用超硬質 せっころをテストする。DE 49; pp. 32-41, 1979.
10. VON FRAUNHOFER JA, SPIERS RR: Strength testing of dental stone: A comparison of compressive, tensile, transverse, and shear strength tests. J. of Biomedical Materials Research 17; 293-299, 1983.
11. ANSI/ADA Specification No. 25-1980. Revised American National Standards Institute/American Dental Association Specification No.25 for Dental Gypsum Products.
12. 山根正次、松家茂樹: 模型材料の科學, 東京, 醫齒藥出版株式會社, 第一版, 27 頁, 1970。
13. PHILLIPS RW: Skinner's Science of Dental Materials, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 8th ed., p.72, 1982.
14. PHILLIPS RW: Skinner's Science of Dental Materials, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 8th ed., p.77-79, 1982.
15. JARVIS RG, EARNSHAW R: The effect of alginate impression on the surface of cast gypsum. II, The role of sodium sulphate in incompatibility. Australian Dental J. 26; 12-17, 1980.
16. PHILLIPS RW: Skinner's Science of Dental Materials, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 8th ed., pp.88-89, 1982.

The Effect Of Salt Additive To Physical Properties Of Dental Gypsum Products

Y_{UNG}-C_{HAN} K_{UO}, W_{AN}-Y_U W_{ANG}, P_{EI}-C_{HUN} L_{AI},
L_{ONG}-J_I S_{HYU}*, W_{EN}-C_{HING} K_E*, M_{ING} W_{ANG}*

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effect of salt, as a chemical additive, on the setting time and compressive strength of dental gypsum products.

The study was carried out in two parts. The first part related to the effect of salt on the setting time of 3 different brands of gypsum products. The additives were made to salt solution as follows: 2, 5, 10, 20%. The results indicated that 20% salt solution prolonged the setting time, whereas the other concentrations reduced the setting time of SSS plaster. When 20% salt solution added to MG Hi-koseton, it couldn't set over 2 hours. But other salt solutions did not affect the setting time of MG Hi-koseton. For high strength stone--G-C's Surstone, a regularity exhibited in the concentration of salt solution to the setting time, that is, the higher the concentration, the longer the setting time.

The second part related to the effect of salt on the compressive strength of 3 different brands of gypsum products. The results indicated that the compressive strength of SSS plaster mixed with 10% and 20% salt solutions reduced significantly when compared with only water added ($P < 0.01$). But salt solution of any concentration did not influence the compressive strength of MG Hi-koseton nor G-C's Surstone significantly when compared with only water added ($P > 0.05$). It must be noted that all experiments were performed under $27 \pm 2^\circ\text{C}$ room temperature and $75 \pm 10\%$ relative humidity.

Keywords : dental gypsum products, salt additive.

School of Dentistry, Taipei Medical College.

* Student of School of Dentistry, Taipei Medical College.

Received for Publ: January 14, 1988.