アルジネート印象材の膨縮曲線と模型の 寸法変化との相関関係

佐藤 剛 太 郎

東京医科歯科大学第一歯科保存学教室（指導：総山孝雄教授）

（昭和46年10月14日受付）

Relationship between the dimensional changes of free alginate
impression materials and stone models made from them

Gōtarō Satō

Department of Operative Dentistry, School of Dentistry,
Tokyo Medical and Dental University
(Director: Prof. Takao Fusayama)

要旨：アルジネート印象材自体の膨縮変化が、その印象によって得られた模型の膨縮変化にどのような影響を及ぼすかを知り、印象材改良の目標を明らかにするとともに、現存の印象材によって最良の臨床成果を得るための条件・方法をみいだすことを目的とした。

そのために、まずアルジネート印象材の自由線膨縮量を膠化直後から正確に測定しうる装置および方法を考案した。

これによって種々な条件下にアルジネート印象材の自由線膨縮曲線を正確に測定記録するとともに、相似の条件で作られた模型の膨縮変化をも測定して、対比検討した結果次のような知見ならびに結論をえた。

1. 水銀槽を用いる方法によって、アルジネート印象材の自由線膨縮変化を膠化直後から諸条件下で測定しうる装置および方法を考案した。

2. 臨床的に望ましい印象材としては、膠化の初期に強く収縮し、石膏泥等による影響が少なく、注入石膏凝結時に印象がやや収縮しているようなものが良いことが判明した。

3. 印象材の自由線膨縮変化が収縮(膨張)に傾けば傾くほど、それに対応して模型の外側値が大きく(小さく)、内側値が小さく(大きく)なるという相関関係は、諸材料や諸条件の比較成績の上に一貫して認められ、特に模型の内側値については量的にもかなりの規則性がみられた。

4. 温度、乾燥(湿度)、水、固定液、石膏泥、印象材の種類等の諸因子が印象材の膨縮に与える影響がしらべられた。

5. 現存するアルジネート印象材によって精度のよい間接法模型を得るには、印象材としてパルジネックスを用い、漬水はもちろん水洗も必要とすべきのみ最小限にとどめ、印象材を収縮させる目的で2% ZnSO₄溶液を用い、印象撤去後できるだけ早く、なるべく凝結時間の短い石膏を注入することがすすめられる。

序 論

アルジネート印象材は第二次大戦中に英国の

Amalgamated Dental Manufacturing Company
の研究者 Dr. Welding によって開発され、先ず
有床補綴および矯正の模型調製用として使われ

た。その後 Skinner¹⁻³⁾らによって諸性質の詳細な検討が行なわれ、1950年前後には Wilson⁴⁾、Pfeiffer⁵⁾、Hampson⁶⁾らが間接法インレーへの応用を試み、1953年、Phillips⁷⁾や総山⁸⁾の研究をまっせアルジネート間接法の臨床術式が整備完成された。

その後、チオコールラバー印象材、シリコンラバー印象材が出現し、アルジネート印象材、ハイドロコロイド印象材と合せて、現在では4種類の弾性印象材があるが、種々の論議⁹⁻²³⁾があるにもかかわらず、アルジネート印象材は正確性、簡易性、経済性の点で優れており、多くの臨床家に使用されている。1959年細田²⁴⁾は臨床に即した形の種々の原型を用いて実験し、アルジネート印象材を正しく使えば優秀な成績をおさめうることを証明したが、実際の臨床では、その期待にそわないような結果が時々起きることも事実である。これはすでに1946年に Skinner¹⁾が指摘しているように、この印象材は操作中の条件に影響を受けやすく、材料の物性や使い方をよく知らないで使用すると本来の性能を発揮しえないためである。

この他にも印象材の物性や操作過程に関してはすでに多くの研究がなされているが、印象材の膨縮特性がそれによって作られた模型の寸法精度にいかなる機序でどんな影響を与えるかを適確に解明したものはまだ見当たらない。

アルジネート印象材自体の膨縮曲線はすでに多くの人々によって測定報告^{1,7,9,25-29)}されているが、測定法がいろいろでその成績値も互いに著しく異なり、膨張の報告もあれば収縮の報告もあり、また同一の材料が経時的に収縮と膨張の間を

移行しているものもある。また、アルジネート印象への石膏の注入は、その変形を避けるために印象撤去後なるべく早く(通常30秒後に)行なうべきだとされている^{1,5,7-9,24,30)}が、これまで報告された曲線には、この時期の変化が含まれていなかったり、あいまいであったりして、印象材の膨縮変化とその中に注入された模型の膨縮変化とがどの時期にどう関係するかを推測する手掛りがなく、したがって望ましい寸法変化の模型を作るためのアルジネート印象材の性質を探求することが不可能であった。

そこで本研究では、これまで行なわれた多くの方法を試みて検討を重ねた結果、アルジネート印象材の膠化直後からの膨縮変化を精密に測定する方法を考案した。そしてこれによって得られた曲線と臨床的なやり方で作られた模型の膨縮変化値とを比較対照し、両者の間の相関関係を検討した結果、きわめて興味ある新知見を得たので報告したいと思う。

実 験 法

1. 材 料

印象材は代表的なアルジネート印象材の国産3種と外国製2種とを、石膏は国産のハイドロカル系硬石膏1種を使用した(表1、図1)。印象材の混水比は製造者の指示にしたがって計量してきめたものであり、石膏の混水比は製造者の指示(0.24)では間接法模型用としては流動性が多すぎたので、それより0.01小さいものを用いた。使用した硬石膏の凝結時間は、ビッカース針によって測定^{31,32)}したが、室温・湿度55±5%の環境では

表1 実験材料

材 料	製 品 名	Batch No.	製 造 会 社	混水比
印象材	アルジックスS	91360808	白光化学研究所	2.1
	アルジェース	OB1, OB2, OB3	三金化学工業	2.2
	ハイテクニコール	GR 46	而至化学工業	2.4
	パルジネックス	91010	International Dental Prod. Inc.	2.5
	SS ホワイトA. (fast set)	17064062	The S.S. White Dental Mfg. Co.	2.5
石 膏	ニュープラストン	MB-4, ML-4	而至化学工業	0.23

図 1 実験に使用した印象材および石膏

図 2 印象材を測定状態においた測定用水銀槽：プラスチックの長方形槽 (a) に水銀 (b) を約 7 mm の深さに入れ、この上に棒状にしぼり出した印象材 (c) を横たえ、その右端を右側壁に付着されたステンレス板 (d) の先のにせて固定して原点とし、印象材の膨縮変化を読みとるために原点から 100 mm 離れたところに三角形の錫箔を標点 (e) としてつけた。槽の側壁にはこの標点をおくべき場所のガイドとして金属線 (f) を付着しておいた。槽の前壁には前方から標点を読みとりやすくするための切込み (g) をつけた。

図 3 測定用水銀槽設計図(単位 mm)

約 12~16 分であった。また室温・湿度 95% 以上の環境では約 1 分遅くなった。またこの石膏の凝結膨張率は直立式凝結膨張測定器³³⁾によって測定し

図 4 印象材膠化時の自由線膨縮量測定装置の全景：a. 読み取り顕微鏡, b. 未熟児保育器を改良した恒温恒湿箱(この中の水銀槽上に印象材を浮べる)

図 5 自由線膨縮量測定に用いた印象材の定量採取器

たところ 0.28% であって、この値は湿度 $55 \pm 5\%$ で測った場合にも、初めの 1 時間湿度 95% 以上の保湿器中に置いてから $55 \pm 5\%$ の机上においた場合にも、ほとんど変らなかった。

2. 印象材自体の自由線膨縮量の測定

印象材の膠化直後からの膨張収縮を正確に測定するために測定用水銀槽(図 2, 3)を考案し、これをあらかじめ恒温恒湿箱(図 4 の b)中において十分所望の温度に安定させた後に用いた。上記混水比に氷水または 20°C の水を加えて印象材を 1 分間練和し、注射器を改良した定量採取器(図 5)にこれをとって、その約 25cm^3 を槽内の水銀面上に横たえて、その一端を水銀面上に顔を出した固定子の先に固定し、それから 100 mm 離れた印象材の上に錫箔の標点を置いて、その動きを印象材の膨縮変化量として $^2/1000\text{mm}$ まで計測可能な読み取り顕微鏡のオクラールマイクロメーターで測定

した(図4のa)。測定開始の時期は印象材の膠化時期とし、その時期は ADA 規格³⁴⁾に準じて、プラスチック棒で抑えても粘着しなくなる時期として決定した。測定時の温度は $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ または $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ とし、湿度は口腔を模した95%以上または室内の $55\pm 5\%$ とした。

また、水中または固定液中における印象材の膨縮変化を知るために、印象材の練和6分後に、 20°C の水または固定液を水銀上の印象材が没するまで注いだ状態の測定をも行なった。また印象材の膨縮への注入石膏の影響を知るために、練和6分後の印象材の上に、標点をさけて石膏泥をぬりかぶせた場合の測定をも行なった。そして水や石膏が標点の位置を狂わすことをさけるために、この場合は、長さ約13mmの細い針金を印象材にさして標点とした。これに使用した石膏の凝結時間は16分なので印象練和22分後までは石膏の凝結膨張の影響はないと考えられる。

実験温度 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ の場合は3回測定を繰り返しただけできわめて安定した測定値が得られたが、 $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ の場合は変化がややばげしいので確実に期すために5回繰り返した。測定は20分までは2分半毎に、以後40分までは5分おきに、その後は10分おきになされた。また必要な場合には一部1分おきに測定した。

また、実験室の室温は常に $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ に保たれた。

3. 模型の膨縮量の測定

実際の臨床で用いられる間接法模型にできるだけ近似した模型を用いて、その外側および内側の寸法の原型に対する膨縮変化量を測定比較するために、改良型内外側対照測定器²⁴⁾(図6)を用いた。この原型はアンバー製で、頭面外縁の直径が10mmで外側面に $1/10$ のテーパを有し、頭面内縁の直径は6mmで、その内側面にも $1/10$ のテーパが与えられている。この原型に精密に適合する外適合子および内適合子を装すれば等高平坦になるように作られている。したがってこの原型を印象して出来た石膏模型に、これら適合子を装して、その浮き沈みを測れば、外適合子1mmの浮き上りあるいは沈みは、外径の0.1mm(1%)

図6 改良型内外側対照測定器とダイヤルゲージ
a. 模型, b. 内適合子, c. 外適合子, d. 原型, e. 原型に内適合子および外適合子を装着したもの, f. 模型に内適合子および外適合子を装して測定台にのせた状態, g. 適合子の浮き沈みを読むためのダイヤルゲージ, h. 模型の下に仮封セメント泥を置いて平圧器で測定面を水平にした。

の膨張あるいは収縮を示し、内適合子1mmの浮き上りあるいは沈みは、内径の0.1mm($1\times 10^{-1}\%$)の収縮あるいは膨張を示す。

この原型をあらかじめ1時間以上恒温恒湿箱(図4のb)内において所望の温度にしたのち、1分間練和した印象材を特製の実験用トレーに盛って箱内で原型に圧接し、約5分間おいてから、印象を原型から撤去して取り出して石膏を注入した。印象に際しては、実際の臨床の条件にしたがって恒温恒湿箱の湿度は95%以上とし、温度は $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ としたが、このほかに、印象時と石膏注入時との温度差の影響を除いた変化を検討する目的で、温度 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ の場合も試みた。印象材の練和には水または 20°C の水を用いて60秒練和したが、パルジネックスは速硬化性のため 20°C の水で練和すると操作時間が不足しがちであったので、一部では他材料もこれに合せて練和時間を50秒とし

た。石膏を注入した印象を湿度 95%以上の保湿器中または湿度 $55 \pm 5\%$ の机上に 1 時間おいて硬まらせたのち、印象より模型をはずした。24 時間後に内外適合子を装して、その頭面からの浮き沈みを 0.005mm まで計測可能なダイヤルゲージを用いて測定して原型膨縮変化量に換算した。

各組とも 10 個の試片を測定し、その平均を求めた。

石膏はすべて 20°C の水で練和して印象に注入した。

4. 印象材滲出液を含む水で練った石膏の凝結時間の測定

印象内で硬化する石膏泥が印象材によって、どんな影響を受けるかを知るために、滲出液による石膏の凝結時間への影響^{35,36)}を調べた。Docking が用いた方法³⁶⁾を参考にして、ワックス円筒の中で固まらせた印象材を練和開始 6 分後に輪切りにして、径 20mm、厚さ 6mm の円板 10 個を作り、これを 1 分後に 20°C の水 100cc につけ、1 時間後に印象材を取り出して、残りの液で石膏を練り、その硬化時間を測定した。

また、影響の原因を探るために印象材をつけたままの水の pH を、練和開始 10 分後（浸漬 3 分後）、1 時間後、5 時間後にゼロマテック 96 型の pH メーターで測定した。

5. 印象材膠化時の pH 変化の測定

各印象材の膠化反応の進行状態を知るために、印象材自体の pH の時間的变化を測定した。試料としては上記トレー（中央に孔をあけて）に印象材を盛って原型に圧接したものと、上記水銀槽の水銀上に横たえた印象材とを用い、ともに $36 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 95%以上で上記 pH メーターをさし込んで測定した。

実験結果

1. 印象材自体の自由線膨縮量

口腔に準じた条件下（温度 $36 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 95%以上）では、すべての印象材が膠化の初期に膨張した（図 7, 8 の A）。アルジックス-S の初期膠化膨張が最も大きく、その最大値は 20°C 水で練和

図 7 各条件下での各印象材の自由線膨縮量（氷水練和）

図 8 各条件下での各印象材の自由線膨縮量（ 20°C 水練和）

したときも氷水を用いたときも約 0.45%であった。また、S.S. ホワイト A のそれは最も小さく、 20°C 水で練和した場合が 0.02%，氷水の場合が 0.04%であった。パルジネックスと S. S. ホワイト A を氷水で練和した場合には初期膠化膨張が起

る前にわずかに収縮する時期があった。なお、アルジエースを氷水で練和した場合は、膠化開始の時期がつかみにくく、2分30秒位で印象材はプラスチック棒に附着しなくなるが、3分から5分までの間の変化(図のAの曲線 AC の実線で記した部分)は印象材の flow が混入しているように思われた。約10分以上経過するとすべての印象材は緩徐な収縮に移行した。

室温の保湿器中(温度 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度95%以上)では、アルジックス-Sとアルジエースのみが短時間わずかながら初期膨張を示すが、一般に緩徐な収縮曲線を示した(図のB)。パルジネックスは、ここではいっそう明瞭な初期収縮を示すが、初期膨張の起るべき時期に急に収縮を減じ、きわめて緩徐な収縮曲線に移行した。

室内の机上実験(温度 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $55\pm 5\%$)では、すべての印象材がかなり急速な収縮曲線を示した(図のC)。しかし氷水で練った場合のアルジックス-Sのみは、依然としてわずかな初期膨化膨張を示した後収縮曲線に移行した。

氷水で練和した場合は、 20°C 水練和の場合に比較して、一般に膨張収縮とも緩徐になり、初期膨化膨張のピークの時期が遅くなった。

膠化中の印象材を水中、石膏泥中あるいは固定液中においてその自由線膨縮量を測定すると、いずれの印象材も一般に石膏泥中ではわずかに膨張し、水中では急激な膨張を示したが、固定液中では収縮し、濃度が増すと収縮も強く起った。アルジックス-Sは2% ZnSO_4 溶液中においても浸漬直後わずかな膨張を示した。かような環境の膨縮量に対する影響はハイテクニコールが最も大きく、パルジネックスが最も少なかった(図9, 10)。

2. 模型の膨縮変化量

内外側対照測定器によって測定された模型の原型に対する膨縮変化量(表2)は、すべて外側値より内側値が大きかったが、その差は印象材の種類によって著しく違っていた。一般に外側値が小さいものは内側値が大きく(ハイテクニコール, アルジックス-S), 外側値が比較的大きいものは内側値が比較的小さかった(アルジエース, S.S.

図9 各種環境で膠化する印象材の自由線膨縮量(20°C 水練和, $22\pm 1^{\circ}\text{C}$, 95%以上)

図10 各種環境で膠化する印象材の自由線膨縮量(20°C 水練和, $22\pm 1^{\circ}\text{C}$, 95%以上)

ホワイトA)が、パルジネックスのみは外側値が中等度であるのに内側値が最も小さかった。

氷水で練和した場合は、 20°C 水で練和した場合に比較して、模型の外側値はほとんど変わらないものが多かったが、内側値がわずかに小さくなる傾向があった。また、石膏注入後 $55\pm 5\%$ 湿度中に保管した場合には、保湿器中においた場合に比較して、外側値がわずかに小さくなるものが多かったが内側値はほとんど変らなかった。

内外側平均値は練和水温や石膏注入後の保管湿度によってほとんど変わらず、また印象材の種類によっても著明な差を示さず、一般に注入石膏の自由凝結膨張率0.28%に近い値を示した。ただし、パルジネックスのみはそれよりもずっと小さい値(0.18%前後)を示した。

撤去後各種の表面処理をした印象に硬石膏を注入して得られた模型の原型に対する膨縮変化量(表3)を比較すると、各印象材とも処理しない場合に比べ、印象を軽く水洗したものは外側値が小

表 2 恒温恒湿器 (36±1°C, 95%以上) 中の内外側対照測定用原型を印象して作られた硬石膏模型の膨縮変化量

印象材の種類	印象練 和水温	注入印象 保管湿度 (%)	模型の原型に対する膨縮量 (%)			
			外 側	内 側	平 均	外—内差
ハイテクニコール	20°C	100	0.05 (0.03)	— —	—	—
	20°C	55±5	0.01 (0.04)	— —	—	—
	氷水	100	0.02 (0.04)	0.60 (0.07)	0.31	-0.58
	氷水	55±5	0.00 (0.03)	0.58 (0.04)	0.29	-0.58
アルジックス・S	20°C	100	-0.02 (0.02)	0.53 (0.07)	0.26	-0.55
	20°C	55±5	-0.08 (0.02)	0.54 (0.08)	0.23	-0.62
	氷水	100	-0.02 (0.01)	0.46 (0.04)	0.23	-0.48
	氷水	55±5	-0.11 (0.04)	0.47 (0.05)	0.18	-0.58
アルジエース	20°C	100	0.23 (0.04)	0.43 (0.05)	0.33	-0.20
	20°C	55±5	0.22 (0.03)	0.41 (0.05)	0.32	-0.19
	氷水	100	0.22 (0.04)	0.38 (0.05)	0.30	-0.16
	氷水	55±5	0.17 (0.03)	0.38 (0.05)	0.28	-0.21
S.S.ホワイトA.	20°C	100	0.30 (0.04)	0.39 (0.04)	0.35	-0.09
	氷水	100	0.26 (0.04)	0.38 (0.07)	0.32	-0.12
パルジネックス	氷水	100	0.13 (0.03)	0.21 (0.08)	0.17	-0.08
	氷水	55±5	0.15 (0.03)	0.23 (0.03)	0.19	-0.08

() 内の数値は標準偏差

表 3 撤去後各種の表面処理をした印象に注入して保湿器 (22±1°C, 95%以上) 中に置かれた硬石膏模型の原型に対する膨縮変化量

印象材の種類	表面処理条件	模型の原型に対する膨縮量 (%)			
		外 側	内 側	平 均	外—内差
ハイテクニコール	水中に30秒浸漬	-0.62 (0.10)	1.17 (0.07)	0.28	-1.79
	軽く水洗	-0.12 (0.01)	0.94 (0.13)	0.41	-1.06
	処理せず	-0.02 (0.02)	0.66 (0.03)	0.32	-0.68
	2% ZnSO ₄ 30秒固定	-0.04 (0.02)	0.54 (0.05)	0.25	-0.58
	5% ZnSO ₄ 30秒固定	0.03 (0.04)	0.32 (0.04)	0.18	-0.29
アルジエース	水中に30秒浸漬	0.06 (0.02)	0.56 (0.06)	0.31	-0.50
	軽く水洗	0.11 (0.04)	0.50 (0.02)	0.31	-0.39
	処理せず	0.17 (0.03)	0.39 (0.03)	0.28	-0.22
	2% ZnSO ₄ 30秒固定	0.17 (0.03)	0.18 (0.04)	0.18	-0.01
	5% ZnSO ₄ 30秒固定	0.23 (0.02)	0.05 (0.04)	0.14	0.18
パルジネックス	水中に30秒浸漬	0.02 (0.03)	0.31 (0.05)	0.17	-0.29
	軽く水洗	0.06 (0.02)	0.17 (0.04)	0.13	-0.11
	処理せず	0.14 (0.02)	0.11 (0.04)	0.13	0.03
	2% ZnSO ₄ 30秒固定	0.13 (0.01)	0.10 (0.02)	0.12	0.03
	5% ZnSO ₄ 30秒固定	0.16 (0.03)	-0.04 (0.03)	0.06	0.20

() 内の数値は標準偏差, 印象条件: 22±1°C, 湿度95%以上

さく内側値が大きくなった。水中に 30 秒浸漬したものはさらにこの傾向が大きかった。したがってこの場合は外側—内側の差の絶対値が大きくなった。また、2% ZnSO_4 溶液に 30 秒浸漬した場合は、一般に外側値が大きく内側値が小さくなり、5% ZnSO_4 溶液を使うとこの傾向はいっそう強くなった。したがってこの場合は外側—内側の差の絶対値は小さくなり、あるいは逆に内側値の方が大きくなった。かような表面処理の影響は一般に外側値よりも内側値に対して著しかった。

内外側平均値は、各印象材とも、処理しないものに比較して水につけた場合は大きく、 ZnSO_4 溶液につけた場合は小さい傾向を示し、濃度が増すとこの傾向はいっそう強くなった。

3. 印象材滲出液の石膏凝結時間に与える影響

各印象材の滲出液を含む水の pH (表 4) はすべてやや酸性で、アルジックス-S、ハイテクニコール、パルジネックスは時間とともに酸性が強ま

表 4 各種印象材の滲出液を含む水の pH とそれで練られた石膏の凝結時間の変化

印象材の種類	液の pH			石膏の初期凝結時間	
	10分後	1時間後	5時間後	測定値	変化
水 (対照)	7.1			15'51''	
Algix-S	5.8	4.1	4.0	14'43''	約 - 1'
Hi-Technicol	6.4	5.4	5.4	14'38''	〃 - 1'
S.S. White A.	6.6	6.5	6.6	14'23''	〃 - 1½'
Algice	6.3	5.9	6.7	14'05''	〃 - 2'
Palginex	6.3	4.6	4.2	13'00''	〃 - 3'

ったが、S.S. ホワイト A とアルジエースは浸漬 3 分後に比べて 1 時間後ではやや酸性を増したが 5 時間後には再びやや酸性を減じた。

滲出液を含む水で石膏を練った場合の凝結時間は、水で練たときと比較してすべて速くなり、その程度は、アルジックス-S とハイテクニコールで約 1 分、S.S. ホワイト A で約 1 分半、アルジエ

図 11 内外側対照測定器印象時(-----)および自由線膨縮量測定時(——)の各種印象材膠化時の pH 変化の比較(36±1°C, 95%以上)

ースで2分, パルジネックスで3分であった。

4. 印象材膠化時の pH の変化

膠化中の印象材の pH は一般には高い値（アルカリ側）から低い値（酸性側）へ移行したが、その pH 値(図11)は材料によって著しく異なり、パルジネックスは当初強くアルカリ性であったものが膠化によってほぼ中性となり、以後再びアルカリ性になろうとしたが、ハイテクニコール, S.S. ホワイト A, アルジックス-S の3者は、当初ほぼ中性であったものが弱酸性に移行し、アルジエースは終始弱酸性であった。

またその pH 値は、少量の印象材をトレー中で用いた内外側対照測定実験時に比較して、やや大量に用いた自由線膨縮測定実験時には一般にやや低かった。

考 察

1. 印象材膨縮変化の意義

間接法用として使用される印象材にはすぐれた精度が要求されるが、その評価はそれによって出来る間接法模型の精度^{7,8,15,30,37,38)}によって定まる。弾性材印象には通常硬石膏を注入して模型が作られるが、その精度は、(1)印象撤去時までの印象材の変化、(2)撤去されてから石膏が注入されるまでに起こる印象材の変化、(3)石膏が注入されて硬化するまでの印象材の変化、(4)注入石膏凝結後の印象中における変化、(5)撤去後の模型の変化などによって左右される。(1)～(3)までの変化は印象材の変化によるもので、しかもトレー内に支持された状態での印象材の膨縮変化によるものであり、(4)(5)はおもに石膏の凝結膨張による変化とみなされる。これらの変化が組合わされた結果が模型の膨縮変化量となる。

より精度の高い模型を作るために印象材の材料の選択・材質の向上・用法の改良等を考える場合には、主として印象材の膨縮特性が問題となる。これまで模型の精度^{7,8,15,24,30)}や印象材の膨縮特性^{1,7,9,25-29)}に関しては多くの測定実験が行なわれているが、両者の測定がそれぞれ別個に行なわれていて、その間の相関関係が十分明らかにされな

いので、印象材に関する改善のための適確な根拠が得られていない。

そこで本実験では、臨床に準じた条件下で作った模型の膨縮変化量に対比しつつ検討することにより、印象材自体の膨縮曲線の臨床的意義をはじめて明らかにすることができた。

2. 印象材の自由膨縮測定について

アルジネート印象材の膨縮変化は印象材が流動性を失って膠化する直後から測定されねばならないが、この時期はまだ化学反応が一部進行中であって、寸法は刻々変っており、しかも湿度その他の諸条件によって膨縮変化がもっとも鋭敏に変わりやすい時期である。したがって練和された印象材の試料はこの時期までに定められた条件下に整置され終って、直ちに測定が開始される必要がある。しかもこの時期の印象材は強度が著しく低いので、測定時の台ないしは容器の抵抗によって膨縮変化が抑制されて真実の変化量を知りえない恐れがあるので、測定時の抵抗を極力小さくする必要がある。

Skinner and Pomes¹⁾は金属製の樋に蠟紙を敷いた上で測定したが、蠟紙の抵抗が考えられ、本研究の予備実験でもV字型金属樋に蠟紙や油紙を敷き、またワゼリンを塗布して試みたが測定値の偏差が著しく、信頼性のある成績が得られなかった。川上(1953)⁹⁾、山賀(1957)²⁷⁾、東(1957)²⁸⁾、林(1964)²⁹⁾らは枠の中で印象材を膠化させた後に枠から取り出して膨縮変化を測定したが、この方法では、最も変化のはげしい初期の膨縮変化を見逃してしまう恐れがある。

Docking, chong and Donnison (1948)は埋没材の凝結膨張の測定に水銀を用いたが、Hampson (1955)²⁵⁾およびMorrant (1956)²⁶⁾はこの方法をアルジネート印象に応用している。この方法が測定時の抵抗を最も小さくしようと考えられたので本研究でも水銀を用いる方法を採用した。しかし水銀法では試料の整置や測定に技術を要し、このために狂いを生ずる心配があったので、本研究では測定操作を極力簡便迅速に正確に行なえるような装置を考案付加した。

また、本研究ではアルジネート印象材の自由膨縮変化とそれによって作られる模型の膨縮変化との相関関係を分析することを目的としたので、印象に石膏が注入され模型が出来上がるまでの環境、すなわち水、固定液、石膏泥、湿度、温度等の影響を組合せて、相似な条件下で両者の測定を行なったことも本研究の特色である。

また、実際の臨床ではアルジネート印象の経時変化の狂いをさけるために石膏注入は努めて早く行なわれ、また石膏が凝結した後の印象材の変化は模型の精度にはほとんど影響しないと考えられるにも拘らず、従来の報告は測定開始時期が不明確のまま著しく長時間にわたって測定したものが多く、かような実験によって得られた成績は間接法模型の精度に関してはかえって誤解を生ずる危険がある。そこで本研究では、最も重要な膨化開始時期の膨縮を特に正確にとらえ、測定時間も通常短時間に止め、長い場合でも60分までに止めた。

本研究における自由膨縮測定は、このように模型の膨縮変化との関連の上で行なわれ、そのための条件の配慮がなされたので、石膏模型による膨縮測定の成績と最も相似な条件で比較することができた。

3. 印象材の膨縮変化と模型の精度との関係

石膏による間接法模型の膨張量を $x\%$ と表示すれば、この値はおおざっぱにいうと使用した石膏の凝結膨張量にほぼ一致するはずであるが、弾性印象材を使った場合には模型の内側壁間距離の膨縮値と外側壁間距離の膨縮値との間には差を生ずる。すなわちトレーに保持された弾性印象材が収縮すれば、印象の外壁は外へ引張られて大きくなるので、模型の外側値は $\alpha\%$ 大きくなって $x+\alpha\%$ となる。内壁は逆に中心に向かって収縮するので模型の内側値はそれだけ小さくなり $x-\alpha\%$ となる。したがって外側値より内側値を引いた外内側差は $(x+\alpha)-(x-\alpha)=2\alpha$ となり、この α の大きさが印象材の収縮の大小の指標となり、印象材が逆に膨張すれば α の値はマイナス値になる。そして内外側平均値
$$\frac{(x+\alpha)+(x-\alpha)}{2}=x$$
 は印象材膨縮

の影響を除外した模型の平均的な膨縮変化量を示すことになる。ただし実際の印象や模型の膨縮変化にはさらに他の因子が細かく介入しうるので、このような関係が必ずしも正確に実験値に現れないこともあるが、ハイテクニコール、アルジエース、S.S. ホワイトAでは、この関係がかなりよく成立っていた(表2)。

模型の大きさが決まるのは注入石膏が凝結して固体になる時期であるから、模型の寸法に主として影響するのは注入石膏の初期凝結(印象材練和開始後約17分30秒)までの印象材の膨縮変化量であると考えられる。臨床上では印象圧接から注入石膏が凝結するまでの間には、温度・湿度の変化や水・固定液等の影響があるが、できるだけ諸因子の影響を除外して純粋な印象材の膨縮変化と模型の膨縮変化との相関関係を知るために、まず印象圧接から石膏注入まですべて室温で湿度95%以上で行ない、特別な処理をしなかった場合の模型の膨縮変化測定値(表3)と印象材の自由線膨

図 12 印象材のみの自由膨縮曲線(図8のB)の6分30秒後に石膏泥をのせた後の変化曲線(図9, 10)を加えて合成したもの。(20°C 水練和、室温22±1°C、湿度95%以上)、P=石膏泥注入時期、i=石膏の初期凝結時期

縮曲線(図12)とを比較検討した。印象は約6分で撤去して石膏を注入されるので、本図は印象材のみの自由膨縮曲線(図8のB)の6分30秒以後に石膏泥をのせた状態で測定したときの印象材の膨縮曲線(図9, 10のS)を加えて合成したもので

ある。

模型寸法のうち、その内側値はトレー壁の印象材に与える抑制の影響をあまり受けないので、印象材の膨縮変化の傾向とよりよく一致するはずであるが、この内側値を、使用した石膏の凝結膨張量0.28%と比較してみると、ハイテクニコールではかなり印象材が膨張し、アルジエースではやや膨張し、パルジネックスでは逆にやや収縮したことを示している。

この結果は印象材自体の石膏初期凝結時の膨縮変化(図12のiの時期)と傾向的にかなりよく一致している。模型の外側値は印象材の膨縮変化によって内側値とは逆の方向へ変るはずであるが、ハイテクニコールやアルジエースではこのような関係が明らかにみられる。しかしパルジネックスでは必ずしもこれに一致せず、内側値では印象材がかなり収縮しているのに外側値も石膏の凝結膨張より小さくなっているが、これは後述のように外側の印象材がトレーからゆるみつつ収縮するためであると思われる。

いずれにしろ、石膏模型の膨縮精度を支配するのは、石膏注入時までの印象材の膨縮変化に石膏注入後初期凝結までの印象材の膨縮変化を加えたものであることが、本検討によって明らかになった。すなわち、印象材が石膏凝結時にわずかに収縮しているためには、石膏注入時期に印象が十分に収縮していて、その後の石膏による変化(アルジエート印象材では一般に石膏泥により膨張する)が少ないことが必要である。したがって印象材の改良のためにはこの要件を目標とすべきである。

4. 諸因子の印象材・模型の膨縮に与える影響

a) 温度の影響

室温で練和された印象材を口腔温に移して膨縮変化を測定すると、室温で測定した場合よりもはるかに大きく膨張したが(図7, 8のA), これは印象材が次第に温められて温度膨張が加わるためと考えられる³⁹⁾。この変化は実際の臨床の口腔内印象でも起こるものと考えられるが、石膏注入は再び室温で行なわれるので、この間再び冷却収縮が起こる²⁴⁾。トレーに支えられた実際の印象におい

て、この膨張と収縮とがどのように起こるかは十分明らかでないが、口腔温で印象し室温で注入された模型はいずれも外側値が内側値より小さく、印象材が膨張したことを示していた(表2)。

b) 口腔温からの冷却の影響

口腔温で印象して室温で石膏を注入した模型(表2)と印象も注入も室温で行なった模型(表3)とを、印象を軽く水洗した場合の外一内側差で、比較すると口腔温で印象した模型のほうが印象材が収縮したことを示しており、印象が室温までの冷却によってある程度収縮したことは明らかである。このことは先の細田の報告した成績²⁴⁾と傾向的に一致している。

c) 練和水温の影響

20°C 水練和(図8)に較べて、氷水で練和した場合(図7)には膠化の速度が遅くなり、したがって膨縮曲線の傾きがゆるやかとなる。模型の内側値を比較してみると(表2), 氷水で練った場合の方が印象材の膨張が少ないことを示している。これは多分、石膏注入による印象材の膨張も遅く、石膏凝結時の膨張量が少なかったためであろう。

d) 乾燥(湿度)の影響

湿度の低い空气中で印象材を膠化させると、例外なく明らかに収縮を増大した(図7, 8のC)。しかし模型の膨縮値でみると、この乾燥収縮の影響は内側値にはほとんど現われていなかった(表2)。外側値にはある程度現われているものもあったが、程度はわずかであった。これはトレーに囲まれた内部の印象材は、石膏の凝結時間の間ぐらいにはそれ程乾燥しえないためであろう。したがって臨床上注入印象を机上に放置しても精度にはそれほど影響がないものと思われる。

e) 水の影響

膠化した印象材を練和開始6分後(印象撤去時期)に水でおおうと甚しく膨張した^{1,2,9,25,29,30)}(図9, 10のw)。この影響は模型の膨縮値にも明瞭に現われ(表3), 著しく外側が小さく、内側が大きくなった。軽く水洗しただけでもこの影響は明らかに現われた。このような影響の受け方は印

象材の種類によって著しい差があった。

f) 固定液 (ZnSO_4 溶液) の影響

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を溶かした固定液は水とは全く反対の影響を与え、印象材を収縮させ (図 9, 10 の F), 模型の外側値を大きくし、内側値を小さくした (表 3)。この影響は固定液の濃度を 2% から 5% に増すといっそう増大した (表 3, 図 9 の F')。影響の受け方は材料の種類によって著しい差があった。

なお、この固定液による印象材収縮変化の度合を、処理しない場合と 5% ZnSO_4 溶液で処理した場合の模型の外側値と内側値について検討してみると、各印象材とも外側値における変化の度合に比べて内側値における変化の度合のほうがはるかに大きかった (表 3)。

このように印象材が収縮する場合には、模型の内側値と外側値が受ける影響は必ずしも単純な $-\alpha$ と $+\alpha$ との関係ではなく、特に外側値は印象材の材質やトレーとの結合状態によって³⁹⁻⁴⁶⁾、収縮の起こり方に違いを生じ、印象材は必ずしもトレーに引かれて内腔を拡張しながら収縮するとは限らず、時には強い収縮力によって孔あきトレーから弛みつつ内腔を狭める方向へ向って収縮することもありうる事が本実験によって明らかになった。

このような現象は固定液による以外の収縮の場合にも見られた。例えば、パルジネックスによる模型は、内側値が石膏の凝結膨張量より小さく印象材が収縮したことを示していたのに、外側値は印象材の収縮によって大きくなることはなく、逆に石膏の凝結膨張量よりも小さくなっていった (表 2)。

g) 石膏泥の影響

石膏泥を注加すると、いずれの印象材も膨張した (図 9, 10 の S)。これは凝結前の石膏が未反応水を多量に含むために、この水が印象材に漬水に似た影響を与えるためであろう。石膏の凝結する時には逆に水を吸い取る⁴⁷⁾ 傾向があるが、この時期には石膏はすでに硬化して形態を変化しえないので、これによる印象材収縮の影響は模型には現

われないのであろう。

h) 印象材の種類の影響

(1) 材質的差異

アルジネート印象材の膠化時の膨縮変化曲線は、製品によって著しく異なり⁴⁸⁾、一般的な傾向として膠化反応前後の pH が酸性に傾いているものは膨張傾向が強く、アルカリ性に傾いているものは収縮傾向が強いという興味ある事実が認められた。例えば、pH が著しく低いアルジックス-S は著しい膨張傾向を示し、pH が著しく高かったパルジネックスには他の多くの材料とは逆に収縮傾向がみられた (図 7, 8, 11)。このような傾向は先の山賀による報告²⁷⁾とも一致している。

なお本研究で参考実験として測定した各印象材からの滲出液を含む水の pH (表 4) は、一般に膠化後の印象材の pH と一致していた。ところがパルジネックスだけ極端に違っており、印象材自身はアルカリ性を示しているのに滲出液は酸性を示していた。かような特色の意義は明らかでないが、パルジネックスがいろいろな点でかなり特異な性能をもった材料であることは、本実験で得られた種々の測定値からもうなずけるところである。

(2) 諸因子による影響の受け方

諸因子による影響の受け方にも製品によって著しい差があった。例えばハイテクニコールは水の影響をもっともつよく受け、アルジックス-S は石膏泥の影響を大きく受け、アルジエースは固定液の影響をつよく受ける傾向が認められた。これに対してパルジネックスは一般にかような影響を受けることが著しく少なかった。また S.S. ホワイト A は温度差の影響をもっとも受けにくいことが注目された。

5. 現状における臨床指針

臨床上好ましい間接法模型は模型全体がやや膨張しており、模型の外側値が内側値よりやや大きくなっているような模型である⁴⁹⁾。このような模型を得るにはある程度の凝結膨張量をもった石膏と、石膏凝結時にわずかに収縮しているような印象材とを用いる必要がある。そのためには、アル

ジネート印象材は一般に石膏泥に接すると膨張するので(図9, 10のS), 石膏注入以前, すなわち膠化の初期につよく収縮している必要があり, しかも石膏注入による膨張がなるべく少ないことが望まれる。

現在のところ, このような要求にもっともそいやすい材品はパルジネックスであり, 本材は模型面の精度においても優れている⁵⁰⁾。しかしパルジネックスでもなお収縮が足りないので, 石膏面をよくする^{24, 36, 41, 51-56)}ためでなく収縮させるために, 固定液を使うべきである。ただし実際の使用に際しては, パルジネックスは窩洞細部の歯質に附着してちぎれやすい傾向があるので, 窩洞歯の要部にワセリンなどの分離材を塗布して使用する必要がある⁵⁷⁾。固定液としては2%と5%とのZnSO₄溶液を試みたところ, 印象材を収縮させる効果は5%の方が強かったが, 石膏面を逆に荒らす恐れがある⁵⁸⁾ので総合的には2%の方がよいと思われる。

また, 石膏注入後に起こる印象材膨張の影響を少なくするには凝結時間の短い石膏を選ぶのも一方法と考えられる⁵⁰⁾。指示書は一般に印象を水洗して石膏を注入するよう書いてあるが, 印象面に水が触れると強い膨張効果を与えるので, 無益な水洗は極力避ける必要があり, 汚れを除くために止むを得ず洗う場合にも最短時間ですませて直ちに固定液につけることがすすめられる。また, 水の影響を受けやすい印象材は避けるべきであろう。

総括ならびに結論

アルジネート印象材自体の膨縮変化が, その印象によって得られた模型の膨縮変化にどのような影響を及ぼすかを知り, 印象材改良の目標を明らかにするとともに, 現存の印象材によって最良の臨床成果を得るための条件を検討する目的をもって, 新たに考案した装置によって, 種々な条件下にアルジネート印象材の自由線膨縮曲線を正確に測定記録するとともに, 相似の条件で作られた模型の膨縮変化をも測定して, 対比検討した結果,

次のような知見ならびに結論を得た。

1. 水銀槽を用いて, アルジネート印象材の自由線膨縮変化を臨床に近い諸条件下で膠化直後から正確に測定しうる装置および方法を考案した。
2. 模型の膨縮精度は主に注入石膏凝結時の印象の大きさに影響されるが, アルジネート印象はこの時期に膨張するものが多いために得られた模型の外側値が内側値より小さいことが多かった。臨床的には印象材が, わずかに収縮し, 外側値が内側値よりやや大きい模型を作ることが望ましいのであるが, アルジネート印象は一般に石膏泥によって膨張するので, この影響がなるべく小さく, しかも石膏注入時まで十分に収縮していることが望ましい。印象材の選択および改良はこの点を目標にすべきであると考えられる。
3. 印象材の自由線膨縮変化が収縮(膨張)に傾けば傾くほど, それに対応して模型の外側値が大きく(小さく), 内側値が小さく(大きく)なるという相関関係は, 諸材料や諸条件の比較成績の上に一貫して認められ, 特に模型の内側値については量的にもかなりの規則性ある関係がみられた。
4. 諸因子は印象材の膨縮に次のような影響を与えた。
 - 1) 室温で練和された印象材を口腔温に移して膨縮変化を測定すると, いずれの印象材も膠化の初期に著しく膨張した。同様の印象材を室温で測定すると, 膠化の初期に膨張するものもあったが, 一般に収縮した。
 - 2) 口腔温で印象し室温で石膏を注入すると, その間の冷却によって印象材が収縮した。
 - 3) 印象材を氷水で練和すると, 反応がゆるやかとなって膨縮変化が遅くなった。かような印象に室温で石膏を注入すると, 模型の内側値が室温水で練った場合よりもわずかに小さくなるような傾向がみられた。
 - 4) 印象材は自由線膨縮測定においては乾燥により例外なく明らかに収縮したが, この影響はトレーにおおわれた印象には僅少であって, 特に模型の内側値には全く影響が見られなかった。

5) 膠化した印象材を練和開始6分後(印象撤去時期)に水でおおうと著しく膨張した。この影響は模型の膨縮値にも明瞭に現われ、著しく外側が小さく、内側が大きくなった。軽く水洗しただけでもこの影響は明らかに現われた。

6) 固定液(ZnSO_4 溶液)は印象材を収縮させ、模型の外側値を大きくし、内側値を小さくした。この影響は濃度を増すと増大した。しかしトレーに保持された印象の外側部の収縮は必ずしもトレーの方へ引かれなくて起ることがあり、模型の外側値への影響の仕方には例外的なものがみられた。

7) 石膏泥を印象に注加すると、いずれの印象材も膨張したが量はいろいろであった。

8) 膠化後の pH の低い印象材は膨張傾向を示し、膠化後の pH の高い印象材は収縮する傾向が一般的にみられた。とくにパルジネックスは初期に急速に収縮することが特異であった。各印象材からの滲出液を含む水の pH は、一般に膠化後の印象材の pH と一致していたがパルジネックスでは異っていた。

5. 間接法模型としては外側値が内側値よりやや大きくなっているような模型が望ましいが、このような模型をアルジネート間接法によって得るためには、現在のところ次のような方法が適当と考えられる。すなわち印象材としては、石膏泥等による影響を受けにくく膠化の初期に強く収縮するものを選ぶべきで、それにはパルジネックスがもっとも適している。漬水はもちろん、水洗も必要となきのみ最小限におこない、さらに印象材を収縮させる目的で2% ZnSO_4 固定液を用い、印象撤去後できるだけ早く、なるべく凝結時間の短い石膏を注入することがすすめられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始御懇切な御指導御校閲をいただきました東京医科歯科大学第一歯科保存学教室総山孝雄教授に心から感謝申し上げます。また種々御教示ならびに御援助をいただきました東京医科歯科大学第一歯科理工学教室野本直教授、同西村文夫助教授、而至化学 KK 研究部部長富岡健太郎氏に深く謝意を表します。

また、本実験に御理解と御支援をいただきました本教室員各位に厚く御礼申し上げます。

なお、本研究が昭和46年度文部省科学研究補助金奨励研究(A)の交付を受けて行なわれたことをここに記して謝意と致します。

文 献

- 1) Skinner, E. W. and Pomes, C. E.: Dimensional Stability of Alginate Impression Materials, J. A. D. A. 33: 1253-60, 1946.
- 2) Skinner, E. W. and Pomes, C. E.: Alginate Impression Materials: Technic for Manipulation and Criteria for Selection, J. A. D. A. 35: 245-56, 1947.
- 3) Skinner, E. W., Cooper, E. N. and Beck, F. E.: Reversible and Irreversible Hydrocolloid Impression Materials, J. A. D. A. 40: 196-207, 1950.
- 4) Wilson, W. E.: An Indirect Bridge Impression Technique, Dent. Digest, 55: 60-3, 1949.
- 5) Pfeiffer, K. R. and Jeffreys, F. E.: A Complete Bridge Technic utilizing the Alginate Hydrocolloids, J. A. D. A. 40: 66-74, 1950.
- 6) Hampson, E. L.: The Use of Irreversible Hydrocolloids in Conservative Dentistry, Brit. Dent. J. 89: 171-5, 1950.
- 7) Phillips, R. W., Price, R. R. and Reinking, R. H.: The Use of Alginate for Indirect Restorations, J. A. D. A. 46: 393-403, 1953.
- 8) 総山孝雄, 吉沢勝美, 黒須一夫: 間接法歯型の膨縮変形に関する総合的研究, 口病学誌, 20: 1-25, 1953.
- 9) 川上道夫: 歯科用印象材料の研究第1報, アルギン酸塩を主成分とする印象材の機械的性質について, 口病学誌, 20: 55-8, 1953.
- 10) Schwindling, R.: Über das chemischphysikalische Verhalten der Alginatabdruckmassen bei Verwendung verschiedenen Modellwerkstoffe, D. Z. Z. 9: 1200-8, 1954.
- 11) Pearson, S. L.: A New Elastic Impression Material: A Preliminary Report, Brit. Dent. J. 99: 72-6, 1955.
- 12) Sturdevant, C. M.: Impressions for Indirect Inlays, J. A. D. A. 54: 357-66, 1957.
- 13) Fischer, C-H. und Schaper, U.: Neue Wege der Indirekten Inlaytechnik, D. Z. Z. 14: 993-1002, 1957.
- 14) 石原寿郎, 大石司郎: 弾性印象材に関する研究の概況とその盲点, ことに残留変形の測定法について, 歯科時報, 12: 16-25, 1958.
- 15) 吉田恵夫: 弾性印象材による歯型の実用的精度について, 歯界展望, 15: 74-84, 1958.

- 16) 神田豊治他：各種印象材による表面粗さの定量的観察について，歯科医学，22：1928-33, 1959.
- 17) Higashi, S.: General Researches for the Impression Materials in the Market, (Part X) : (1) Reproducibility Observed by Fine Lines, Bull. Tokyo Med. and Dent. Univ. 7 : 615-21, 1960.
- 18) Ayers, H. D., Phillips, R. W. and Henry, R. W.: Detail Duplication Test Used to Evaluate Elastic Impression Materials, J. Pros. Dent. 10 : 374-80, 1960.
- 19) Custer, P. O., Updegrave, L. and Ward, M.: Accuracy and Dimensional Stability of a Silicone Rubber Base Impression Material, J. Pros. Dent. 14 : 1115-20, 1964.
- 20) Hollenback, G. M. and Smith, D. D.: A Further Study of the Physical Properties of Elastic Impression Materials, J. S. C. S. D. A. 33 : 32-6, 1965.
- 21) 宮川 修, 大野弘機, 塩川延洋：アンダーカットをもつ原型の撤去時および撤去後における弾性印象材の変形(予報)，歯理工学誌，9：174-9, 1968.
- 22) 浅野信行：歯科用石膏表面の研究(第1報)微小かたさ，微細構造，反射度およびなめらかさの判定方法について，歯理工学誌，10：70-7, 1969.
- 23) Schnell, R. J. and Phillips, R. W.: Dimensional stability of rubber base impression and certain other factors affecting accuracy, J. A. D. A. 57 : 39-48, 1958.
- 24) 細田裕康：弾性印象材による硬石膏模型の精度に関する研究，材器学誌，3：32-46, 1959.
- 25) Hampson, E. L.: The Effects of Environment on the Dimensional Stability of Reversible and Irreversible Hydrocolloid Impression Materials, Brit. Dent. J. 99 : 371-80, 1955.
- 26) Marrant, G. A. and Elphicke, G. B.: An Investigation into Methods for Maintaining the Dimensional Stability of Alginate Impression Materials, Brit. Dent. J. 100 : 42-50, 1956.
- 27) 山賀礼一：アルジネート印象材の硬化機構について，材研報告，8：127-35, 1957.
- 28) Higashi, S.: General Researches for the Impression Materials in the Market, (Part VII) Dimensional Change of the Alginate Impression Materials, Bull. Tokyo Med and Dent. Univ. 7 : 597-602, 1960.
- 29) 林 一郎：最近の印象材について，歯界展望，33：806-12, 1969.
- 30) 野田 敬：間接法作業模型の寸法精度に影響する因子について，アルギン酸塩印象材による方法，歯学，57：37-55, 1969.
- 31) 野本 直，鈴木 暎，西村文夫，山口重雄：Vicatore 針，Gilmore 針測定結果の相互関係，材器学誌(17) 8：25-8, 1968.
- 32) 日本工業規格：歯科用硬質セメント JIS F6605-1965.
- 33) 総山孝雄，桜井貞雄，鈴木 暎，山口重雄：硬石膏凝結時の諸変化と水膠印象材の影響について，歯病学誌，23，64-70, 1956.
- 34) Council on Dental Research: Council adapts American Dental Association specification no. 18, J. A. D. A. 67 : 1757-64, 1963.
- 35) 山田 保：半水セメント凝結の遅緩および促進作用について，Gypsum & Lime, 91：18-8, 1967.
- 36) Chong, J. A., Chong, M. P. and Docking, A. R.: The Surface of Gypsum Casts in Alginate Impressions, Dent. Pract. 16 : 107-9, 1965.
- 37) Wilson, H. J. and Smith, D. C.: Alginate Impression Materials, Brit. Dent. J. 114 : 20-6, 1963.
- 38) Hollenback, G. M.: A Study of the Physical Properties of Elastic Impression Materials and Stones, J. S. C. S. D. A. 25 : 20-8, 1957.
- 39) Buchan, S.: Resilience and Stability of Alginate Impression Materials, Brit. Dent. J. 115 : 455-9, 1963.
- 40) Buchan, S. and Peggie, R. W.: Role of Ingredients in alginate Impression Compounds, J. Dent. Res. 45 : 1120-9, 1966.
- 41) Schoonover, C. and Dickson, G.: Preparation and Characteristics of Elastic Dental Impression Compounds with an Alginate Base, J. A. D. A. 30 : 565-9, 1943.
- 42) Wilson, H. J. and Smith, D. C.: The Bonding of Alginate Impression Materials to Impression Trays, Brit. Dent. J. 115 : 291-4, 1963.
- 43) Smith, D. C. and Wilson, H. J.: Further Studies on Alginate Impression Materials, Dent. Pract. 15 : 380-2, 1965.
- 44) Fusayama, T. and Nakazato, M.: The designs of stock trays and the retention of irreversible hydrocolloid impressions, J. Pros. Dent. 21 : 136-42, 1969.
- 45) Mitchell, J. V. and Damele, J. J.: Influence of Tray Design upon Elastic Impression materials, J. Pros. Dent. 23 : 51-7, 1970.
- 46) Stachhouse, J. A.: The accuracy of stone dies made from rubber impression materials, J. Pros. Dent. 24 : 377-86, 1970.
- 47) Skinner, E. W. and Phillips, R. W.: The Science of Dental Material, Philadelphia,

- 1967, W. B. Saunders Co. p. 67.
- 48) Higashi, S.: General Researches for the Impression materials in the market (Part VI) General Discussions on the Setting Mechanism of Alginate Impression Materials, Bull. Tokyo Med. and Dent. Univ. 7: 387-95, 1960.
 - 49) 総山孝雄: メタルインレー, 東京, 1959, 医歯薬出版, p. 185.
 - 50) 佐藤剛太郎他: アルジネート間接法材料の比較試験, 日保歯誌, 11: 50-5, 1968.
 - 51) Phillips, R. W. and Price, R. R.: Some factors which Influence the Surface of Stone Dies Poured in Alginate Impressions, J. Pros. Dent. 5: 72-9, 1955.
 - 52) Skinner, E. W. and Gordon, C. C.: Some Experiments on the Surface Hardness of Dental Stones, J. Pros. Dent. 6: 94-100, 1956.
 - 53) Hosoda, H. and Fusayama, T.: Surface Reproduction of Elastic Impressions, J. Dent. Res. 38: 932-9, 1959.
 - 54) Smith, D. C. and Fairhurst, C. W.: Effect of Hydrocolloid Impression Materials on the Surface of Dental Stone, J. Dent. Res. 41: 1103, 1962.
 - 55) 浅野信行: 歯科用石膏表面の研究 (第2報), 市販弾性印象材による石膏面について, 歯理工学誌, 10: 78-86, 1969.
 - 56) 佐藤剛太郎, 奥野忠信, 小谷野英一: Palginex 印象材に与える 1% ZnSO₄ 溶液 30 秒間固定の影響, 日保歯誌, 12: 47-50, 1969.
 - 57) 下河辺宏功, 中沢康浩, 中里旭彦: 印象材パルジネックスの歯質付着防止の試験, 材器学誌, 19: 24-6, 1969.
 - 58) 大藤幸司: 弾性印象材による石膏模型面の研究, 1. アルジネート印象の処理条件と石膏模型面, 口病誌, 38: 35-43, 1971.