

アルジネート積層印象法に関する基礎的研究
—二次印象材の材料学的特性および模型表層の性状に関する検討—

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻

北村 彩

(指導： 河相 安彦 教授)

目次

1. Abstract
2. 緒言
3. 材料と方法
 - 3.1. 二次印象の物質的特性 (研究 1)
 - 3.1.1. 実験試験体
 - 3.1.2. 練和方法
 - 3.1.3. 測定項目
 - 1) 硬化時間
 - 2) 永久ひずみ
 - 3) 弾性ひずみ
 - 4) 稠度
 - 3.1.3. 解析方法
 - 3.2. 接着方法の違いが接着強さにおよぼす影響 (研究 2)
 - 3.2.1. 実験試験体の作製
 - 3.2.2. 測定方法
 - 3.2.3. 解析方法
 - 3.3. 二次印象の印象厚さに関する検討 (研究 3)
 - 3.3.1. 実験試験体の作製
 - 3.3.2. 測定方法
 - 3.3.3. 解析方法
 - 3.4. 二次印象厚さの違いが石膏表面に与える影響 (研究 4)
 - 3.4.1. 実験試験体の作製
 - 3.4.2. 表面粗さの測定
 - 3.4.3. 走査型電子顕微鏡による微細構造の観察
 - 3.4.4. エックス線回析による分析
 - 3.4.5. 解析方法
4. 結果
 - 4.1. 二次印象の物質的特性 (研究 1)
 - 4.1.1. 硬化時間
 - 4.1.2. 永久ひずみ
 - 4.1.3. 弾性ひずみ
 - 4.1.4. 稠度
 - 4.2. 接着方法の違いが接着強さにおよぼす影響 (研究 2)
 - 4.3. 二次印象の印象厚さに関する検討 (研究 3)
 - 4.4. 二次印象厚さの違いが石膏表面に与える影響 (研究 4)

- 4.4.1. 表面粗さの測定
- 4.4.2. 走査型電子顕微鏡による微細構造の観察
- 4.4.3. エックス線回析による分析
- 4. 考察
- 5. 結論
- 6. 参考文献

1. Abstract

Purpose

Laminated alginate impression for edentulous is simple and time efficient compared to border molding technique. In order to apply this technique in clinical settings, four experiments were designed and carried out to establish evidence based impression. Research 1 examined measured effects of different Water/Powder (W/P) ratio and mixing methods on alginate material property. Research 2 examined how different bonding methods affect the strength for the secondary alginate impression. Research 3 identified the thickness of the secondary impression in the laminated body impression of the maxillary alveolar ridge model and the differences between the operators. Research 4 quantitatively and qualitatively examined the model surface to identify their optimum thickness of the secondary laminated impression.

Materials and Methods

Research 1: Three W/P ratio: manufacturer-designated mixing water amount (standard), 1.5-fold ($1.5 \times$) and 1.75-fold ($1.75 \times$) water amount were mixed by manual and automatic mixing. Initial and complete setting time, permanent and elastic deformation, and consistency of the secondary impression were investigated (n=10).

Research 2: Tensile bond strength between the primary and secondary impression were measured in the following surface treatment; air blow only (A), surface baking (B), and alginate impression material bonding agent (ALGI-BOND: AB) (n=12).

Research 3: Seven operators took impression of maxillary simulated model for four times. Then the thicknesses of the secondary impression at five landmark; incisive papilla (a), intersection of the midline and the line connecting the left and right canine (b), mid line point 2cm anterior from palatine foveola (c), left and right canine corresponding point (d), and the left and right first molar corresponding point (e) was measured.

Research 4: The surface roughness of plaster model fabricated by four secondary impression thickness 0.4mm (A0.4), 0.6mm (A0.6), and 0.8mm (A0.8) and control was quantitatively assessed by measuring Ra, Ry, Rz using scanning laser microscope. Qualitative observation of the surface was investigated with scanning electron microscope (SEM), and crystal structure was assessed by X-ray diffraction.

Results

Research 1: Initial setting times significantly shortened with automatic mixing for all W/P ratio ($p < 0.05$). The permanent deformation decreased and elastic deformation increased with high W/P ratio, regardless of the mixing method. Elastic deformation significantly reduced in $1.5 \times$ and $1.75 \times$ with automatic mixing ($p < 0.05$). All of these

properties resulted within the JIS standards.

Research 2: For all W/P ratio, AB showed a significantly high bonding strength as compared to A and B ($p < 0.01$).

Research 3: The thickness of the impression differed within the landmarks, ranged from $0.80 \pm 0.13\text{mm}$ (mean \pm SD) to $0.45 \pm 0.04\text{mm}$ (mean \pm SD). The thinnest part was intersection of the midline and the line connecting the left and right canine (b) while the thickest part was mid line point 2cm anterior from palatine foveola (c). One out of seven operator showed significant difference in the average thickness of the impression.

Research 4: A0.4 significantly showed surface roughness compared to control in Ra and Rz ($p < 0.01$). Significantly high Ry were observed with A0.4 and A0.6, when compared with the control ($p < 0.05$). SEM observation revealed that the size of crystal column was prominent with A0.4 among the samples exhibited a different image from control. The X-ray diffraction, which detect anhydrite (gypsum hardened body) and anhydrite, particle (gypsum unhardened body) detected strong peak of anhydrite that indicate unhardened characteristic of gypsum with A0.4.

Conclusions

The increase of mixing water, $1.5\times$ and $1.75\times$, resulted within JIS standards in setting time, suggesting its applicability in clinical setting. The use of automatic mixing device decreased elastic strain and shortening of the curing time. For the secondary impression application of adhesives on the primary impression gives secure adhesion. Optimum thickness of the secondary laminated impression was suggested at 0.8mm to keep comparable surface quality and surface texture of the single impression.

2. 緒言

平成 23 年歯科疾患実態調査¹⁾によると、昭和 50 年で 7.9%であった無歯顎者率が、平成 23 年には 5.2%へと減少している。しかし、75 歳以上の無歯顎者は昭和 50 年の 21%から、平成 23 年は 64%へ増加し、高齢者の無歯顎者が大幅に増加している。無歯顎患者の高齢化は、心身共に従来の治療法では対応しきれない患者の増加を示唆しているとも言え、個々の患者に適した根拠に基づく治療の選択が求められる時代とも考えられる。無歯顎患者にとって口腔と全身の健康は大きく関わるため、適正な維持・安定を有する総義歯を装着することは重要な事となる。

適正な維持・安定を有する総義歯の製作には、義歯床面積と床縁形態および必要な被覆粘膜を印象採得で精密に記録する必要がある。このため総義歯の印象採得の目的は、口腔内の解剖学的ランドマークをすべて記録し、粘膜面との緊密な密着と適正な辺縁形態を採得することとなる²⁾。従来からある総義歯印象法はモデリングコンパウンドにて口腔周囲の筋組織の運動を記録し、義歯床の範囲を同定した後、精密印象材を用いて最終印象を採得する方法であり、義歯床の範囲を決定し精緻な作業模型を製作できる利点を有する。しかしながら、治療時間が長く³⁾、術者の技量に影響されるところが大きく、効率的な治療法の第一選択には挙げ難く、患者に負担を強いることがある。特に、高齢者や全身疾患を有する者や在宅診療の場合は、適応を考慮する必要がある。

一般臨床では総義歯の印象採得に、操作が簡便かつ安価であるアルジネート印象材の使用頻度が高い⁴⁾。しかし、アルジネート印象材は既製トレーを用いて概形印象等を採得するため、粘膜面との緊密な密着や適正な辺縁形態を印象採得することが困難な場合がある。そこで、この欠点を補うべく、アルジネート印象材を積層して印象する、いわゆるアルジネート積層印象法が考案されている。無歯顎におけるアルジネート積層法は、既製トレーに通常の混水比で一次印象を行い、一次印象を個人トレーとして利用する目的の表面の焼成や、アルジネート印象材用接着材の塗布などの表面処理をした後、混水比を高くして十分な流動性を有するアルジネート印象材で二次印象を行い、精度の高い印象を得ることが期待されている。多くの臨床家によってその術式と利点が紹介されており^{5,7)}、アルジネート積層印象法における一次印象と二次印象の接着を目的としたアルジネート印象材用接着剤が販売されていることから、一般臨床におけるアルジネート積層印象法の需要は高いと推測される。しかしながら、その基本的な物性の検討などは中澤ら^{8,9)}によるアルジネート積層 2 回印象法が模型の形状に及ぼす影響の報告はあるものの、混水比を高くしたアルジネート印象材の物性やアルジネート印象材同士の接着方法や印象から製作した模型の性状に関する詳細は不明で、臨床で十分適応可能か否かの科学的根拠は未だ乏しい。

そこで本研究は、アルジネート積層印象法の確立を目指すため、以下の 4 つの実験を構成した。

研究1：二次印象におけるアルジネート印象材の混水比および練和方法の違いが物性の特性（硬化時間，永久ひずみ，弾性ひずみ，稠度）に及ぼす影響の検討。

研究2：一次印象に対する表面処理の違いが一次印象と二次印象の接着強さに及ぼす影響の検討。

研究3：上顎顎堤模型の積層印象体における上顎顎堤のランドマークの二次印象厚さの同定と，術者間の相違の検討。

研究4：アルジネート積層印象法の二次印象の厚さの違いが，石膏模型の表面性状に与える影響の検討。

その上で，実験より得られた結果から科学的根拠を有する印象法とするため検討を加えることを目的とした。

3. 材料と方法

3.1. 二次印象の物質的特性（研究1）

3.1.1. 実験材料

アルジネート印象材（アルジエース Z，デンツプライ三金株式会社，栃木，日本）7.5g を蒸留水（ $17.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ）17ml（メーカー指定混水量：以下，標準量），25.5ml（メーカー指定混水量の1.5倍量：以下，1.5倍量）および29.8ml（メーカー指定混水量の1.75倍量：以下，1.75倍量）とした⁷⁾。

3.1.2. 練和方法

練和方法は手練和（練和時間を40秒間）および自動練和器（ミクロナミキサー，MIKRONA TECHNOLOGY AG, Spreitenbach, Switzerland）を用いた自動練和（練和時間を12秒間）とした。練和操作は，室温（ $23.5 \pm 1^\circ\text{C}$ ）の環境下にて行った。

3.1.3. 測定項目

測定項目は，硬化時間，永久ひずみ，弾性ひずみ，稠度とした。硬化時間，永久ひずみ，弾性ひずみは JIS T 6505¹⁰⁾ に準じて測定した。測定項目に応じて試験体を作製し，全ての測定は，室温（ $23.5 \pm 1^\circ\text{C}$ ）の環境下にて行った。（n=10）

1) 硬化時間

ガラス板上に置いた金属リング内に練和した印象材を満たし試験体とした。一端を研磨した PMMA 棒を用いて，10秒間隔で印象表面に接触させ，印象材が棒表面に付着しなくなる時点を初期硬化時間とした。さらに，PMMA 棒の痕が消失する時点を完全硬化時間とした。

2) 永久ひずみ

金属リングに、練和した印象材を満たしガラス板で蓋をし、 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ の温水中に浸漬、完全硬化後、金属リングから取り出し、直径 12.5mm、高さ 20mm の円柱形の試験体を作製した。試験体上にダイヤルゲージの測定子 ($0.5 \pm 0.1\text{N}$) を接触させ、ダイヤルゲージの目盛を測定 (A) 後、直ちに 20%ひずみを 30 秒間付与し荷重除去後、再度ダイヤルゲージの測定子を接触させた (B)。次式を用いて永久ひずみ (D) を算出した。

$$D = \frac{A-B}{20} \times 100$$

3) 弾性ひずみ

永久ひずみと同様に、円柱形の試験体を作製した。試験体に $1.25 \pm 0.05\text{N}$ の荷重を加えダイヤルゲージの目盛を測定 (C)。更に、総荷重 $12.5 \pm 0.1\text{N}$ 加え、ダイヤルゲージの目盛を測定した (D)。次式を用いて弾性ひずみ (S) を算出した。 $S = \frac{C-D}{20} \times 100$

4) 稠 度

練和したアルジネート印象材 2ml を試験体とした。試験体を 100×100mm のガラス板中央にのせ、練和開始 1 分 30 秒後に 100×100mm のガラス板 ($1.20 \pm 0.02\text{N}$) を静かに置いた。練和開始 6 分後にアルジネート印象材の広がり任意の直径 2 か所を測定し、二つの平均を用いて面積を算出、これを稠度とした。

3.1.4. 解析方法

硬化時間、永久ひずみ、弾性ひずみと稠度は、練和方法と混水比の 2 要因において二元配置分散分析と Bonferroni 検定の多重比較を行った。分析は PASW® Statistics 18.0 (SPSS, IL, USA) を用いて行った。

3.2. 接着方法の違いが接着強さにおよぼす影響 (研究 2)

3.2.1. 試験体の作製

一対の金属リング (内径 12.5mm、高さ 20mm) を用意し、その一方に標準量の混水比で練和した印象材を盛り、完全硬化後余剰をナイフで削除し、その削除面にそれぞれの表面処理 (エアブロー 10 秒間 (以下 A)、試験体の表面が一層白くなるまで表面を焼成 (以下 B) およびアルギン酸塩印象材用接着材 (トクヤマ アルジボンド、株式会社トクヤマデンタル、東京、日本、以下 AB) をおこなった。次に、もう一方の金属リングに二次印象を想定した印象材 (混水比：標準量・1.5 倍量・1.75 倍量) を表面処理した面に乗せ、二次印象が完全硬化するまで、一次印象と二次印象がずれないように

手で支えた。完全硬化後、余剰の印象材を金属リングに沿って切り取り、金属リングから取り出した物を試験体（直径 12.5mm、高さ 40mm）とした。（n=12）

3.2.2. 測定方法

インストロン万能試験機（TG-5 kN, ミネベア株式会社, 東京, 日本）を用いて、クロスヘッドスピード 2mm/min で引張接着試験を行った。全て自動練和で作製した。引張接着試験の測定は、室温（ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ）の環境下で行った。

3.2.3. 解析方法

それぞれの混水比における引張接着試験結果において、表面処理の違いについて比較した(Kruskal-Wallis検定, 多重比較は Bonferroni 検定). 分析は PASW[®] Statistics 18.0 (SPSS, IL, USA) を用いて行った。

3.3. 二次印象の厚さの検討 (研究 3)

3.3.1. 試験体の作製

上顎無歯顎模型 (印象採得用顎模型 G10-402K-QF, 株式会社ニッシン, 京都, 日本) を、既製トレー (アミトレーE, 株式会社林歯科商店, 東京, 日本) を用いて積層印象採得を行った。術者は座位の状態に固定した上顎無歯顎模型を印象採得した。印象圧は任意とし、印象体は第 2 指および第 3 指で口蓋中央付近を硬化終了まで保持した。積層印象は、一次印象をアルジネート印象材 (アルジエース Z, デンツプライ三金株式会社, 栃木, 日本) 15 g, 蒸留水 34ml を自動練和器 (ミクロナミキサー, MIKRONA TECHNOLOGY AG, Spreitenbach, Switzerland) を用いて 12 秒間練和し、全量をトレーに盛り付け一次印象採得を行った。練和開始から 3 分 (完全硬化時間) 後、印象材を一挙動で撤去した。一次印象採得後、余剰部分を歯科技工用ナイフ (バードパーカー・替刃 #25, Keystone industries, 米国) で除去した後、アルギン酸塩印象材用接着材 (トクヤマ アルジボンド, 株式会社トクヤマデンタル, 東京, 日本) をメーカー指定に従い塗布し乾燥した。積層二次印象は、アルジエース Z 7.5 g, 蒸留水 30ml (メーカー指定混水量の 1.75 倍) で、一次印象と同様に練和し一次印象面に全量を盛り付けた後、二次印象採得を行った。練和開始から 6 分 30 秒後、印象材を一挙動で撤去した。なお、測定条件は室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 湿度 $45 \pm 10\%$, 水温 $17 \pm 0.5^\circ\text{C}$ とした。印象採得は日本大学松戸歯学部付属病院補綴科に所属する医員 7 名 (臨床経験年数 10 年以上 3 名, 10 年未満 4 名) で各医員 4 回行った。

3.3.2. 測定方法

測定部位は、切歯乳頭 (a), 左右犬歯相当部を結ぶ線と正中線の交差点 (b), 正中線上の口蓋小窩から 2cm 前方の点 (c), 左右犬歯相当部 (d) および左右第一大臼歯相

当部 (e) の 5 箇所とした (Fig.1). 測定は, 積層印象採得直後におこない, 測定部位を歯科技工用ナイフで印象面に対して垂直に切断し, その断面から二次印象の厚さをノギス (500-444 CD-S15C, 株式会社ミットヨ, 東京, 日本) にて繰り返し 3 回測定した.

3.3.3. 解析方法

積層印象厚さは測定部位と術者間で差がないという帰無仮説を検定するため, 二元配置分散分析を行った (有意確率 5%). 分析は PASW® Statistics 18.0 (SPSS, IL, USA) を用いて行った.

3.4. 二次印象厚さの違いが石膏表面に与える影響 (研究 4)

3.4.1. 試験体の作製

積層印象は, 一次印象をアルジネート印象材 (アルジエース Z, デンツプライ三金株式会社, 栃木, 日本) 7.5 g, 蒸留水 17ml (メーカー指定混水量) を自動練和器 (ミクロナミキサー, MIKRONA TECHNOLOGY AG, Spreitenbach, Switzerland) を用いて 12 秒間練和し, 金属リング (直径 25mm, 高さ 20mm) に盛り付けアクリル板を印象採得した. このアクリル板は二次印象を想定し印象厚さを変えるため, 0.4mm, 0.6mm, 0.8mm (以下, A0.4, A0.6, A0.8 とする) の 3 種類を用意し, 二次印象材の厚さを確保する為のスペーサーとした (Fig.2-a). 練和開始から 3 分 (完全硬化時間) 後, 印象材を一挙動で撤去した. 一次印象採得後, アルギン酸塩印象材用接着材 (トクヤマ アルジボンド, 株式会社トクヤマデンタル, 東京, 日本) をメーカー指定に従い塗布し乾燥した. 積層二次印象は, アルジエース Z 7.5g, 蒸留水 30ml (メーカー指定混水量の 1.75 倍) で, 一次印象と同様に練和し一次印象面に全量を盛り付けた後, 別のアクリル板を二次印象採得した (Fig.2-b). 練和開始から 6 分 30 秒 (完全硬化時間) に印象体をアクリル板から撤去し, 直ちに印象体の上に, 金属リングと同径のアクリル製の型枠を取り付けた. 硬石膏 (ニュープラストーン, 株式会社ジーシー, 東京, 日本) をメーカー指定通りの混水比で真空練和を行い, バイブレーターを使用し, 石膏をアクリル製の型枠に注入した (Fig.2-c). 練和開始から 1 時間経過後, 型枠から取出し 24 時間室温に放置したのち表面粗さを測定した. 対照試験体 (以下, CO とする) は, 一次印象をアクリル板で採得し, 上記のアクリル製の型枠に, 硬石膏を注入し硬化させたものを用意した.

試験体の作製は室温 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 湿度 $50 \pm 10\%$, 水温 $17 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の条件でおこなった.

3.4.2. 表面粗さの測定

表面粗さの測定は走査型レーザー顕微鏡 (LEXT OLS3500, OLYMPUS, 東京, 日本) を用いて行った. 測定直前に試験体のアクリル接触面をエアードスターで洗浄した. 計測時の設定は対物レンズ 100 倍, カットオフ値 $26\mu\text{m}$, 表面粗さのパラメーターは

JIS B 0031 (1994) に従い、算術平均粗さ (Ra)、最大高さ (Ry) と十点平均粗さ (Rz) の 3 種類で算出した (Fig.3)。測定部位は 1 試験体につき中心 1 点、中心から左右に等間隔の 2 点の計 3 点とし、計測範囲は 128×128 μm の視野内における任意の 5 か所の平均値をその測定点の測定値とした。(n=7)

3.4.3. 走査型電子顕微鏡による微細構造の観察

各条件における表面の実態を把握するため試験体をカーボンコート (VC-100S 型カーボンコーター, (株) 真空デバイス, 茨城, 日本) した後, 走査型電子顕微鏡 (日立走査電子顕微鏡 S-3400N, HITACHI, Tokyo, Japan) を用いて, 加速電圧 15 kV, 倍率 1000 倍で走査型電子顕微鏡像 (以下, SEM 像とする) による試験体表面の観察を行った。

3.4.4. エックス線回析による分析

PSPC 型微小部エックス線回析装置 (PSPC-RINT-2500-Micro X-ray-Diffractometer, Rigaku, 東京, 日本, 以下: Micro-XRD) を用いて測定を行った。測定条件: 管電圧 50kV; 管電流 300mA; コリメーター, 直径 100 μm ; 試験体揺動, x 軸 $\pm 30^\circ$, ω 軸 $\pm 10^\circ$; 度走査範囲, 3–160° (2 θ); 計数時間 30 分。1 試験体につき中心 1 点, 中心から左右に等間隔の 2 点の計 3 点を測定した (n=3)。測定結果は, Jade software (Materials Data Institute, USA) を用いて定性分析をおこなった。

3.4.5. 解析方法

二次印象における各印象厚さの比較検定とし, 表面粗さを要因とした一元配置分散分析を Ra, Ry, Rz のそれぞれで行った。有意差が認められた場合, Dunnett の多重比較検定を行った。有意水準は 5% に設定した。分析は PASW[®] Statistics 18.0 (SPSS, IL, USA) を用いて行った。

4. 結果

4.1. 二次印象の物質的特性 (研究 1)

4.1.1. 硬化時間

初期硬化時間は, 混水比で比較すると手練和および自動練和で, 混水比が高くなるにつれて標準量より有意な延長を認めた。また, 手練和および自動練和を比較すると, 各混水比において自動練和の初期硬化時間が有意な短縮を認めた ($p < 0.05$)。 (Table1)

完全硬化時間は, 手練和・自動練和ともに各混水比で比較すると, 混水比が高くなるにつれ標準量より有意な延長を認めた。また, 手練和と自動練和を比較すると, 標準量と 1.75 倍量において自動練和の有意な短縮を認めた ($p < 0.05$)。 (Table1)

4.1.2. 永久ひずみ

練和方法の違いによる有意な差は認められなかった。しかし、混水比の増加に伴い練和方法に関わらず、永久ひずみは減少を示した。(Table1)

4.1.3. 弾性ひずみ

1.75倍量の自動練和において有意な減少を認めた ($p < 0.05$)。練和方法に関わらず、弾性ひずみは標準量と比較して有意に増加した。(Table1)

4.1.4. 稠度

標準量と1.75倍量の自動練和において有意な減少を認めた ($p < 0.05$)。混水比の増加に伴い練和方法に関わらず、稠度は有意に増加した。(Table1)

4.2. 接着方法の違いが接着強さにおよぼす影響 (研究2)

各混水比において、ABはAとBの両方と比較して接着強さに有意な増加を認めた ($p < 0.01$)。また、AとBの間には各混水比において、接着強さに有意な差は認められなかった。(Fig.4, 5, 6)

4.3. 二次印象の印象厚さに関する検討 (研究3)

各測定点における平均値および標準偏差は、a : $0.63 \pm 0.07\text{mm}$ 、b : $0.45 \pm 0.04\text{mm}$ 、c : $0.80 \pm 0.13\text{mm}$ 、d : $0.76 \pm 0.06\text{mm}$ 、e : $0.79 \pm 0.14\text{mm}$ であった。二元配置分散分析の結果、測定部位の測定点aは、他の全ての測定点と比較して印象厚さが有意に小さくなることを認めた。また測定点bも、他の全ての測定点と比較して印象厚さが有意に小さくなることを認めた (Fig.7)。また、術者間では1名のみが測定点5か所の平均厚さにおいて他の術者より有意に大きくなることが認められた (Fig.8)。

4.4. 二次印象厚さの違いが石膏表面に与える影響 (研究4)

4.4.1. 表面粗さの測定

Ra値の各値および標準偏差は、A0.4 : $2.21 \pm 0.23\mu\text{m}$ 、A0.6 : $1.86 \pm 0.11\mu\text{m}$ 、A0.8 : $1.74 \pm 0.11\mu\text{m}$ 、CO : $1.78 \pm 0.08\mu\text{m}$ であった。多重比較の結果、A0.4は他の全てのRa値と比較して有意に大きな値を示した。Ry値の各値および標準偏差は、A0.4 : $17.43 \pm 2.72\mu\text{m}$ 、A0.6 : $15.03 \pm 2.60\mu\text{m}$ 、A0.8 : $12.86 \pm 1.05\mu\text{m}$ 、CO : $12.27 \pm 0.75\mu\text{m}$ であった。多重比較の結果、A0.4とA0.8の間、A0.4とCOの間にのみ有意な差を認めた。Rz値の各値および標準偏差は、A0.4 : $11.05 \pm 0.99\mu\text{m}$ 、A0.6 : $10.04 \pm 0.92\mu\text{m}$ 、A0.8 : $9.26 \pm 0.54\mu\text{m}$ 、CO : $9.32 \pm 0.42\mu\text{m}$ であった。多重比較の結果、Ra値と同様に、A0.4は他の全てのRa値と比較して有意に大きな値を示した (Table 2)。

4.4.2 走査型電子顕微鏡による微細構造の観察

Fig.9は試験体の1000倍像を示している。COとA0.8は、いずれの結晶も形態および大きさは均一で、針状の成長がみられた。A0.6の結晶は、針状の成長を観察できたが、結晶の形態がやや不均一で、COやA0.8と比べると結晶の形態は大きかった。また、大きな塊となる部位も見られ、結晶の針状構造は見られなかった。A0.4の結晶は、針状構造は全く観察できなかった。A0.4の結晶の形態は他のどの試験体よりも格段に大きく柱状になっていた。また、ところどころ板状結晶を認めた。

4.4.3 エックス線回析による分析

Powder Diffraction Fileで検索した結果、全ての試験体で、二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ / JCPDS No.21-816) と無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$ / JCPDS No.26-329) の両方において3カ所以上の一致を得た。COは、二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) のピークとの一致が強かった。また、A0.8とA0.6もCOとほぼ同様の二水石膏のピークを示した。しかし、A0.4は無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$) のピークと強く一致した。また、無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$) のピークは、NEW PLASTONE II 粉末のピークと一致した。(Fig.10, Table3)

5. 考察

本研究は、アルジネート積層印象法臨床での応用を目的として、4つの実験を構成した。1.二次印象におけるアルジネート印象材の混水比および練和方法の違いが材質の特性（硬化時間、永久ひずみ、弾性ひずみ、稠度）に及ぼす影響。2.一次印象に対する表面処理の違いが一次印象と二次印象の接着強さに及ぼす影響。3.上顎顎堤模型の積層印象体における上顎顎堤のランドマークの二次印象厚さの同定と、術者間の相違の影響。4.アルジネート積層印象法の二次印象の厚さの違いが、石膏模型の表面性状に与える影響について検討した。

その結果、二次印象の物質的特性に関する検討は、混水比 1.5 倍量と 1.75 倍量の弾性ひずみと永久ひずみで、JIS 規格の弾性ひずみ 5%以上 20%以下、永久ひずみ 5%以下の範囲内であった。初期硬化時間は JIS 規格の 1 分以上 5 分以内の範囲内であった。自動練和器を使用することで、手練和と比べ硬化時間の短縮と弾性ひずみの減少が認められた。接着方法が接着強さにおよぼす影響は、各混水比において表面処理にアルギン酸塩印象材用接着材を用いた時と比較して、エアブローの時と表面を焼成した時は接着強さに有意な増加を認めた ($p < 0.01$)。また、二次印象の印象厚さに関する検討は、部位によって、二次印象の厚さは平均 $0.45 \pm 0.04\text{mm}$ から $0.80 \pm 0.13\text{mm}$ (平均値 \pm SD) の範囲の値を示し、測定部位間での相違を認めた。菲薄な部位は口蓋皺壁、厚い部位は正中線上の口蓋小窩から 2cm 前方の点であった。測定部位 5 か所の平均印象厚さにおいて術者 7 名中 6 名は有意の差を認めず、術者間の技術的影響は少なかった。また、二次印象厚さの違いが石膏表面に与える影響は、厚さが 0.4mm と 0.6mm において、表

面粗さが対照試験体と比較して有意に高い値を示した。同様に 0.4mm および 0.6mm の SEM 像は対照試験体と比較し、針状の結晶構造の変化や結晶の大きさに違いを認め、表面粗さとの関連が示唆された。エックス線回析では、特に二次印象の厚さが 0.4mm において無水石膏 (γ -CaSO₄) が対照試験体より強いピークを認めた。

アルジネート積層印象法の二次印象において、適度な稠度を得るために、アルジネート印象材の混水比を高くするものの、物性および硬化時間への影響が挙げられる。本実験の混水比 1.5 倍量と 1.75 倍量での物性変化は、弾性ひずみと永久ひずみともに JIS 規格の弾性ひずみ 5%以上 20%以下、永久ひずみ 5%以下の範囲内であった。本実験の永久ひずみの測定は、試験体の高さに対して 20%のひずみを与えているため混水比が高くなるにつれ弾性ひずみが増加し印象体に加わる負荷が減少したため、永久ひずみが減少したと考えられた。また、硬化時間の変化では、混水量 1.5 倍量と 1.75 倍量は、物性同様に JIS 規格の初期硬化時間 1 分以上 5 分以内の範囲内であり、混水量の増加は JIS 規格において物性と硬化時間に致命的な問題がないことが示唆された。しかし JIS 規格の範囲内であっても、硬化時間の延長や弾性ひずみの増加は臨床上の操作時間や模型の変形などにおいて問題となる事も考えられる。本実験では、練和方法の相違も検討し、自動練和器を使用することで、手練和と比べ硬化時間の短縮と弾性ひずみの減少が認められた。Inoue¹¹⁾らによると、自動練和の使用はアルジネート印象材が高速で回転し、アルジネートの粒子自体の機械的摩擦と、アルジネートと容器との間の機械的摩擦の二つの要因によりアルジネートの温度が練和時間 15 秒間に 2.3°C 上昇し、硬化時間が短縮すると報告している。本実験でも同様の現象が起き、手練和に比べて自動練和の硬化時間方が短縮したと考えられる。また McDaniel¹²⁾らは、表面の多孔性の存在に関して遠心機や真空練和器は他の手技よりも優れ、また Dresen¹³⁾らは手練和の場合自動練和に比べて空気の塊が練和物に含まれるため‘弾性回復’が小さいと報告している。本実験では弾性回復ではなく弾性ひずみを用いているが、自動練和を用いることで練和物内の気泡が除去され弾性ひずみが減少したと考えられる。つまり、アルジネート積層印象法の二次印象に必要な条件と考えられる、適度な稠度、十分な操作時間、適度な弾性ひずみおよび義歯製作に必要な寸法精度のうち、適度な稠度、十分な操作時間および適度な弾性ひずみについては、混水量 1.5 倍から 1.75 倍量の高い状態でかつ自動練和器を使用する事で、物性の低下と硬化時間の延長を避けることが示唆された。

アルジネート積層印象法において、一次印象と二次印象の接着強さは、正確な模型作製に重要な要件となる。アルジネート積層印象法におけるアルジネートの接着強さについて重頭ら¹⁴⁾によると、一次印象のアルジネート印象材を一層削除し火炎で表面が白くなるまで焼いた状態が最も接着力が強く、接着材を使用した場合は無処理より接着力が強かったと報告している。しかし本実験では、各混水比でエアブローのみと火炎で表面の湿潤状態が喪失するまで焼成した状態との間に有意な差は認められなかった。加えて、各混水比で接着剤であるアルジボンドを使用した方が、エアブローのみまたは

火炎で表面の湿潤状態が喪失するまで焼成した状態よりも強い接着力を示していた。橋本¹⁵⁾によると、口腔内からの印象撤去時に印象材に加わる力は0.03MPa程度でありこの程度の接着強さが得られれば印象精度に影響がないと考えられる。本実験では、全ての表面処理で0.03MPa以上の値を示していた。しかしながら、アルジネート積層印象法における二次印象は比較的薄いため、一次印象と剥がれやすいという弱点を補うため、より一層強く一次印象材と接着できる表面処理として接着剤を塗布することは必要であると思われる。メーカーによると本実験で使用したアルジボンドの有効成分はポリアミンであり、ポリアミンのアミノ基が、アルギン酸塩印象材硬化体表面のカルボキシル基と結合し、更にポリアミンのアミノ基と積層したアルギン酸塩印象材のカルボキシル基が結合して接着し、強い接着を得ると推測され、その使用はより確実な印象結果を得るために必要と考えられる。

アルジネート印象材は、離液現象により印象材と接触している石膏表層部の混水比が大きくなるため、石膏面が粗造となり精密印象材と比較して細部再現性が低下する¹⁶⁾と言われている。アルジネート積層印象法は、通常より水を多く混和し、かつ二次印象の厚さが異なる条件下で模型を製作するため、二次印象が模型表面に与える影響を検討することはアルジネート積層印象法の臨床での応用において重要であると考えた。しかし、模型表面の表面性状を検討するにあたり、二次印象の印象材の厚さについては未知であった。そこで、一次印象に積層される二次印象の厚さの臨床的な因子も含めた同定が必須であった。印象材は、硬化時に収縮して寸法変化を起こすため、トレーと顎堤粘膜間に介在する印象材は薄く均一な方が望ましい¹⁷⁾。アルジネート積層印象法は、一次印象をトレーとして積層印象⁶⁾を行っているため、二次印象時の印象材は薄く均一であると考えられるが、本実験の結果から、部位によって二次印象の厚さは平均 $0.45 \pm 0.04\text{mm}$ から $0.80 \pm 0.13\text{mm}$ （平均値 \pm SD）の範囲で、部位間でも差異を認めた。また、切歯乳頭部および左右犬歯相当部を結ぶ線と正中線の交差点は、他の部位と比較して二次印象の厚みが有意に薄いことも明らかとなった。菊池¹⁸⁾は、印象材の流動路幅を正中断面からみると、切歯乳頭から上唇小帯に至る顎堤の傾斜が非常に強いため、トレーを模型に対して平行に圧接した場合にはこの傾斜部位での流動路幅が口蓋部に比べてかなり狭くなり、正中線方向の圧力が中央部より切歯乳頭付近で最高値を示し、圧接される印象材の大半は口蓋の方向へと流れるものと考えられると報告している。これは、切歯乳頭部と左右犬歯相当部を結ぶ線と正中線の交差点において印象材の厚さが薄くなることを示唆している。本実験の結果からも印象材を薄く、かつ、ほかの部位との均一性を得るために切歯乳頭部で0.1mm、左右犬歯相当部を結ぶ線と正中線の交差点で0.3mmのリリーフを行った上で二次印象を採得することで、正中線上の口蓋小窩から2cm前方の点、左右犬歯相当部、および左右第一大臼歯相当部と近似した印象厚さが得られると示唆された。また、山崎ら¹⁹⁾は、印象圧は術者に固有なものであり、術者間において偏差を有すると報告しており、術者の印象圧もそれに準ずる可能性が考え

られるものの、本実験の結果から、測定部位 5 か所の平均印象厚さにおいて術者 7 名中 6 名は有意な差を認めなかった。このことから、トレーの圧接および位置付けは比較的安定していることも示唆され、術者による二次印象厚さの偏差は、術式の標準化および技術教育を行うなどした上で二次印象厚さの変動を極力抑制することが可能であることも示唆された。

この結果に基づき、アルジネート積層印象法の二次印象の厚さの違いが石膏模型表面に与える影響を表面粗さ、SEM 像による微細構造の観察、またエックス線回析を用いて模型表面の定性分析を行った。表面粗さの計測には、代表的なパラメーターとして使われる^{20, 21, 22)}算術平均粗さ (Ra)、十点平均粗さ (Rz) および最大高さ (Ry) を算出した。その結果、二次印象厚さが 0.4mm の場合、Ra・Ry・Rz において有意に粗い結果となり、SEM 像においても二次印象の厚さが 0.4mm の場合、針状の結晶構造が観察できず、結晶の大きさが他の試験体と比較し大きく柱状になっており対照試験体の模型表面とは異なる像を呈していた。二次印象の厚さが 0.4mm の場合、表面粗さが対照試験体と比較して有意に高い値を示し、一方、二次印象の厚さが 0.6mm と 0.8mm の場合、Ra と Rz は対照試験体と比較し有意な表面粗さを示さなかったこと、SEM 像においても対照試験体とほぼ同一の表面性状を表していた事も認められた。畦森^{23, 24)}によると、石膏表面の粗さは模型表面における半水塩の残存、および生成した二水塩の形態あるいは印象表面における配向性の状態と、密接な関係があると報告している。このことは、本実験の模型表面の粗さの違いや SEM 像の違いは、模型表面の半水塩や積層印象の際に用いる接着材の残存の影響があることが推測された。そこで、積層印象法を用いて作製した模型表面を変化させることなく分析できる Micro-XRD を用いて模型表面の定性分析をおこなった。その結果、二次印象の厚さに関わらず全ての試験体から二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) と無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$) が検出されたが、二次印象の厚さが 0.4mm の時のみ、 2θ が 25.5° 、 29.6° 、 49.1° と 54.1° で、無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$) のピークが他の試験体と比較して強く検出された。加えて、無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$) のピークは試験体の製作時に使用した硬石膏の粉末と同様であった。以上をまとめると、二次印象の厚さが 0.4mm の時、Ra, Ry, Rz で一番高い値を示し、SEM 像で対照試験体の模型表面とは全く異なった像を呈した事、エックス線回析において無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$) のピークは試験体の作製時に使用した硬石膏の粉末と同様であり、無水石膏 ($\gamma\text{-CaSO}_4$) のピークが他の試験体と比較して強く検出された事を複合すると、二次印象の厚さが 0.4mm の場合は、表面粗さが増加することが示唆された。また、二次印象の厚さが 0.6mm の時、表面粗さ Ry (粗さ曲線の高低差の最大値である) において対照試験体と比較すると有意に粗い結果となったが、エックス線回析では対照試験体とほぼ同様のピークを表した。これは、二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の晶出が変化したことにより、Ry の値が対照試験体に比べ有意に粗い結果になったと示唆された。従って、

アルジネート積層印象法で二次印象の印象厚さが 0.8mm の時、単一印象の表面性状と同様な表面性状を保てることが示唆された。

今後はアルジネート積層印象法によって製作された模型の寸法精度や製作される義歯の適合性を調べ、さらに科学的根拠を持ち得た印象法にするため検討が必要である。

6. 結論

4つの研究結果より以下のことが明らかとなった。

1. 混水比を 1.5 倍と 1.75 倍にした時、硬化時間・永久ひずみ・弾性ひずみは JIS 規格の範囲内であり、臨床において適応可能であると示唆された。また、自動練和を使用することで、弾性ひずみは減少し、硬化時間が短縮した。
2. 一次印象と二次印象との接着において、接着材の使用は有効であると認められた。
3. 二次印象厚さは、切歯乳頭および左右犬歯相当部を結ぶ線と正中線との交点において有意に薄くなり、印象材の厚さの差異は 0.4mm 程度存在した。トレーの圧接および位置付けは術者間で安定していることが認められた。
4. 二次印象の印象厚さは 0.8mm の時、単一印象の表面性状と同様な表面性状を保てることが認められた。

本稿は、主となる参考論文 Basic investigation of the laminated alginate impression technique: Setting time, permanent deformation, elastic deformation, consistency, and tensile bond strength tests. (Journal of Prosthodontic Research 掲載予定)、副となる参考論文アルジネート積層印象法における二次印象の印象厚さに関する検討 (日大口腔科学 第 39 巻第 2 号発行)と、The thickness effect of laminated alginate impression on dental stone surface (International Journal of Oral-Medical Sciences 掲載予定)をまとめたものである。

7. 参考文献

- 1) 一般社団法人 日本口腔衛生学会編：平成 23 年歯科疾患実態調査報告，第 1 版，93，一般財団法人 口腔保健協会，東京，日本，2013.
- 2) Owen PC. Guidelines for a Minimum Acceptable Protocol for the Construction of Complete Dentures. J Prosthodontics 2006; 19: 467-447.
- 3) Kawai Y, Murakami H, Takanashi Y, James PL, Jocelyne SF. Efficient Resource Use in Simplified Complete Denture Fabrication. J Prosthodontics 2010; 19: 512-516.
- 4) Murphy WM, Bates JF, Huggett R. Complete denture construction in

- general dental practice. A survey. *British Dental Journal* 1971; 130: 514-521.
- 5) 松本直之, 河野文明. 辺縁封鎖からみた無歯顎印象法, *日本歯科評論* 546: 109-120, 1988.
 - 6) 山縣健佑, 黒岩昭弘: 図説無歯顎補綴学—理論から装着後の問題解決まで—, p.85-86, 学建書院, 東京, 2004.
 - 7) 河相安彦: 患者の満足度をはかるための患者質問票の有効性とその指標, *Quintessence* 2012; 31: 787-797.
 - 8) 中澤孝敏, 藤口武, 佐々木聡, 丸山満, 植木一範. アルジネート積層 2 回印象法が模型の形状に及ぼす影響 第 1 報 2 次印象材の混水比が形状変化に及ぼす影響. *日歯技工誌* 2002; 23: 24-29.
 - 9) 中澤孝敏, 河野文昭, 藤口武, 植木一範, 佐々木聡, 丸山満. アルジネート積層 2 回印象法が模型の形状に及ぼす影響 第 2 報模型材注入時期の検討. *日歯技工誌* 2004; 25: 65-70.
 - 10) 日本工業標準調査会 (2005) 歯科用アルギン酸塩印象材. JIS T 6505 日本規格協会, 東京.
 - 11) Inoue K, Song YX, Kamiunten O, Oku J, Terao T, Fuji K. Effect of mixing method on rheological properties of alginate impression materials. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 615-619.
 - 12) Daninel TFMc, Kramer RT, Im F, Snow D. Effects of mixing technique on bubble formation in alginate impression material. *Gen Dent.* 2013; 61: 35-39.
 - 13) Dreesen K, Kellens A, Wevers M, Thilakarathne PJ, Willems G. The influence of mixing methods and disinfectant on the physical properties of alginate impression materials. *Eur J Orthod* 2013; 35: 381-387.
 - 14) 重頭直文, 中村慶夫, 浅海敦一, 貞森紳丞, 浜田泰三. アルジネート積層印象における結合強さについて. *広歯誌* 17, 369-372, 1985.
 - 15) 橋本邦彦, 太田高之, 野俣 裕, 土生博義. 寒天印象材をテストする—稠度, 圧縮強さ, 永久ひずみ, 弾性ひずみ, アルジネートとの接合強さからみた評価—, *DE*, 83,14-25,1987
 - 16) Umemoto, K., H. Nakajima, Nishiyama N, Miyazaki T, Yoneyama T: impression material." *Standard Dental Materials Science*, Tokyo, p.104-105, 2013.
 - 17) 細井紀雄, 平井敏博, 大川周治ほか編: 無歯顎補綴治療学. 第 2 版. 105, 医歯薬出版, 東京, p.100, 2004.
 - 18) 菊池雅彦: 印象採得時のトレー内印象圧に関する研究—上顎無歯顎印象時の圧

- 力分布一, 補綴誌 1987; 31: 590-596.
- 19) 山崎彰啓, 清水政利, 黒崎俊一ほか: 印象採得法の臨床的検討 I - 1. 圧接圧および保持圧が作業模型に及ぼす影響について, 補綴誌, 32: 403-408, 1988.
 - 20) Matsuzawa N, Nishide M, Kohno A. Measurements for Surface Roughness of Various Gypsums using Confocal Scanning Laser Microscope. Tsurumi Univ. Dent. J 2000; 26: 297-304.
 - 21) Saitoh M, Ishikawa Y, Shen L, Mino M, Kojima S, Semi S, Nishiyama M: Study on Surface Reproduction of a Dental Stone Model –Measurement of Surface Roughness of Dental Stone Models in Combination with Alginate Impression Materials by Non-contact Photogenic Surface Roughness Analyzing System –. The Journal of the Japanese Society for Dental Materials and Devices 1992; 5: 754-760.
 - 22) Saitoh M, Ohki Y, Usui N, Sasao M, Kasai S, Nishiyama M: Surface Reproduction of Dental Stone Models –Compatibility Between Dental Stones and Impressions Aimed for the Combined Agar-Alginate Technique –. The Journal of the Japanese Society for Dental Materials and Devices 1999; 18: 38-45.
 - 23) Unemori M: Effect of Some Factors on the Surface Roughness of Set Dental Stone I. Relation between Surface Roughness and Surface Microstructure. The Journal of the Japanese Society for Dental Materials and Devices 1985; 4: 267-273.
 - 24) Unemori M: Effect of some Factors on the Surface Roughness of Set Dental Stone II. Effect of Na_3PO_4 and Na_2SO_4 on Hydration of Dental Stone. The Journal of the Japanese Society for Dental Materials and Devices 1985; 4: 274-279.

Table & Figures

























