

日本歯技

学術原稿テンプレート

サイエンス ・ リマーク ・ レビュー

表題 (ブーリアン演算を用いた各種模型材の精度検証について)

氏名 (松本 和久)

氏名のアルファベット表記 (MATSUMOTO KAZUHISA)

所属 徳島県歯科技工士会所属

株式会社 シケン

日本歯科理工学会所属



1. はじめに

クラウンブリッジの模型製作は従来法であるダウエルピンを植立する分割復位式模型 (以下, ピン立て模型) が一般的である (fig. 1).

シングルピンとツインピンの2種があり, ツインピンは2本のピン部と鞘部とピン先のキャップで構成されており (fig. 2), 石膏とピン部分が接触せずピンの回転を防ぐ事から精密作業を要する主に自費補綴物製作に使用されることが一般的である.



fig. 2 ツインピン



fig. 1 ピン立て模型 (シングルピン・ツインピン)

ピン立て模型は土台となる二次石膏への埋入後, 石膏の硬化膨張により歯列模型の両端は歯軸方向に弧状変形が起こると報告されている¹⁾. 弧状変形とは二次埋没した石膏が硬化するに従い硬化膨張を伴い膨張方向にダウエルピンを押し, その結果模型全体が弓状に反る状態である. 二次石膏の膨張が歯列模型に対し及ぼす影響を下記に示す (fig. 3).

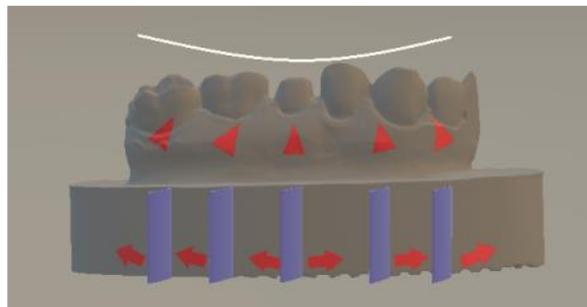


fig. 3 歯列模型の弧状変形

そこで弧状変形をより可視化するため三次元歯科用スキャナーを用い, 歯列模型ならびに二次埋没後の

歯列模型部分をスキヤニングした。二次埋没前の歯列模型を基準に2種のスキヤニングしたSTLデータを三次元的に重ね合わせ弧状変形を示した。作業手順を以下に示す。

1) 歯列模型に硬質石膏を用い、石膏注入後室温中で12時間放置したのちダウエルピンを植立した。その後、三次元歯科用スキヤナーを用い歯列模型をスキヤニングしSTLデータに変換する (fig. 4)。

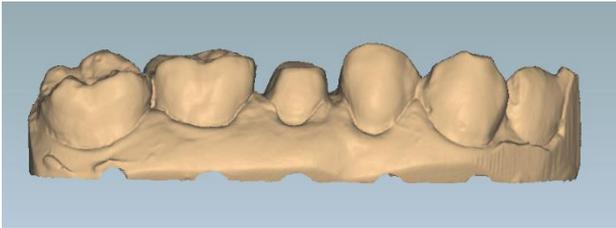


fig. 4 歯列模型のSTLデータ

2) その後、硬質石膏を用いて二次埋没を行いピン立て模型を製作する。室温中で2時間放置し三次元歯科用スキヤナーを用い、歯列模型部分をスキヤニングしSTLデータに変換する (fig. 5)。

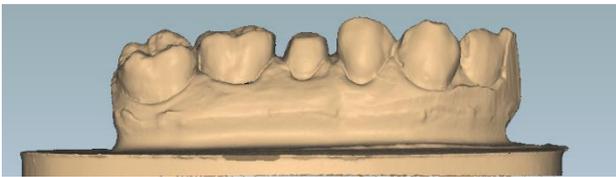


fig. 5 二次埋没した模型

3) CADソフトExocadを用い二次埋没前の歯列模型を基準とし、二次埋没後の歯列模型部分のSTLデータを重ね合わせる (fig. 6)。

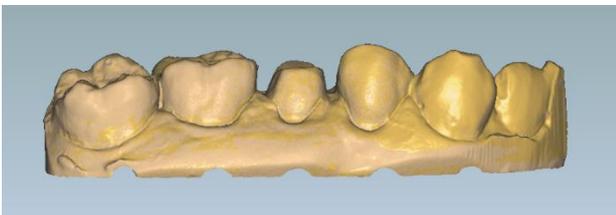


fig. 6 重ね合わせ(マッチングさせた状態)

4) Fig. 6の状態では弧状変形をより可視化するためにカラーチャートで示す(fig. 7)。



青色から赤色に行くに従い変形量が多い

fig. 7 カラーチャート

変形が無い状態であれば全体が濃い青色で表示されるが、中心から外へ向かうに従い緑・黄色・オレンジの部分が見られる。二次埋没後、硬化膨張の影響により歯列模型のダウエルピンが押し込まれ歯列模型全体が変形を起こしていることが画像により確認できる。これはシングルピン及びツインピンのどちらにも起こる変形である (fig. 8~fig. 11)。

また、ピン立て模型は歯列模型にダウエルピンを植立し植立した歯列模型を二次埋没することで作業工程も多く模型製作に時間を要する。

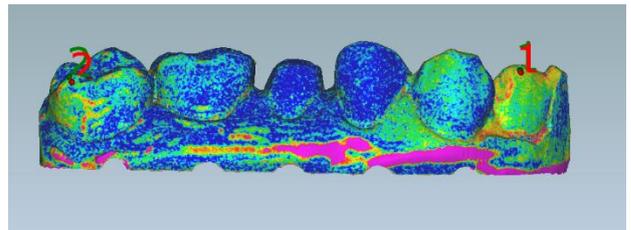


fig. 8 頬側面観

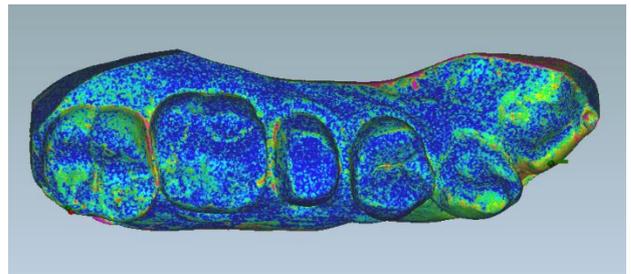


fig. 9 咬合面観

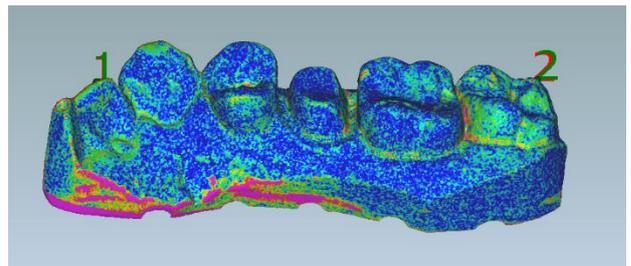


fig. 10 口蓋側面観

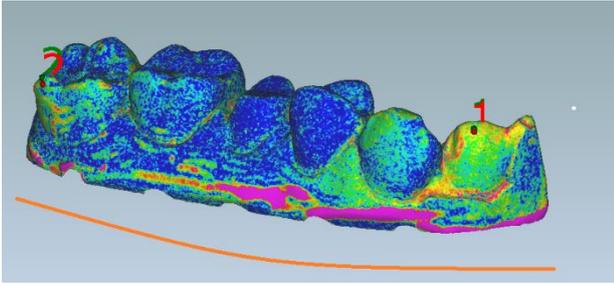


fig. 11
2次石膏の膨張による歯列模型の弧状変形

近年では、歯列模型を天板にダウエルピンが植立されている土台模型に接着材で固定する貼り付け型模型法（以下、貼り付け模型）が臨床で多く見られる（fig. 12）.



fig. 12 市販されている各種貼り付け模型

貼り付け模型は、土台となる石膏への埋入作業がないためピン立て模型とは違い石膏の膨張による歯列模型への変形（弧状変形）についても影響がない。また、貼り付け模型は歯列模型を土台模型の天板に接着材で貼る工程のみで作業時間の短縮に繋がる。実際の作業模型製作時間は貼り付け模型を使用した場合、ピン立て模型の作業時間（ピン立て模型は二次埋没石膏の硬化時間を含む）に対し1/3の作業時間で製作が可能であり大幅な作業時間短縮に繋がる。各社様々なタイプの貼り付け模型が販売されている。貼り付け模型の天板と土台部分の素材は石膏及び樹脂でありその組み合わせも数通りある。樹脂素材が用いられている貼り付け模型はポリスチレン・ABS樹脂が主流で、射出成型された樹脂は金型の温度管理にもよるが成型後に反り変形が発生するとの報告もある²⁾。

射出成型時の寸法安定性や反り抑制の為ポリスチレンにタルク（フィラー）を混ぜたものもある。貼り付け模型にもシングルピン及びツインピン製品が販売されており、ツインピンタイプはシングルピンタイプに比べ維持力が大きく分割後の誤差は少なく精度が高いと推測される（fig. 13）.

本検証は、シングルピン及びツインピンを使用したピン立て模型及び各種貼り付け模型の分割前歯列模型と分割後歯列模型に対し、三次元歯科用スキャナーを用いてスキャンしそれぞれSTLデータに置き換えた。分割前歯列模型を基準とし、2種のSTLデータを重ね合わせブーリアン演算により誤差の比較評価をしたので報告する。



fig. 13 上部プレートが石膏で下部が樹脂素材のツインピン貼り付け模型

2. 材料と方法

ピン立て模型及び各種貼り付け模型（片顎）を各5個製作した。歯列模型に使用する石膏は、硬質石膏（ファインストーン、膨張率 0.22%，クエスト）を使用し石膏注入後室温中で12時間放置した。ピン立て模型には、シングルピン1種とピン部と鞘部とピン先のキャップで構成されたツインピン3種を用い、土台となる二次石膏に硬質石膏（ハードロック、膨張率 0.12～0.32%，クエスト）を使用し室温中で12時間放置した。

貼り付け模型をシングルピン及びツインピンに関わらず上部プレート及び下部土台の素材構成をタイプ別に分類をした。タイプAは上部プレートが石膏で下部も石膏素材とし（fig. 14）タイプBは上部プレートが石膏で下部が樹脂素材とし（fig. 15）タイプCは上部下部共に樹脂素材（fig. 16）とする。

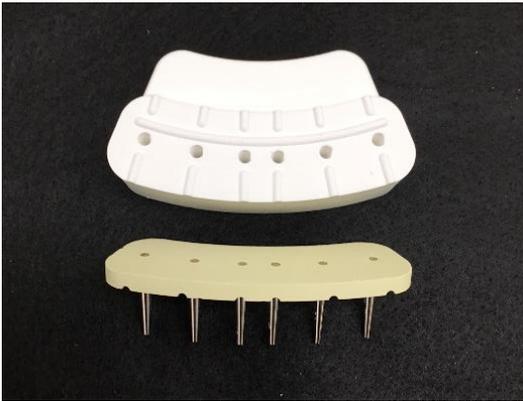


fig. 14
タイプA 上部プレートが石膏で下部も石膏素材

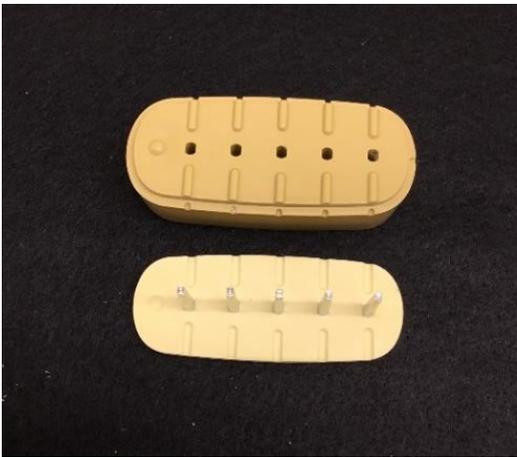


fig. 15
タイプB 上部プレートが石膏で下部が樹脂素材



fig. 16
タイプC 上部下部共に樹脂素材

今回使用した各社貼り付け模型及びピン立て模型に使用したダウエルピンをタイプ別に分類した表を示す (fig. 17, fig. 18).

| 略号 | 製品名 | メーカー | タイプ |
|------|----------------------|---------|------|
| DYC | だいちゃん | サンエス石膏 | タイプA |
| MOD | モデルカップ | ディーシーシー | タイプB |
| RKT | らく太郎 | プレイブ | タイプC |
| DTK | ダイトック | ダイトク化研 | タイプC |
| MOT3 | モデルカップ premo/T-3 ブルー | ディーシーシー | タイプB |
| MOT5 | モデルカップ premo/T-5 ブルー | ディーシーシー | タイプB |

fig. 17 各社貼り付け模型

| 略号 | 製品名 | メーカー | タイプ |
|--------|---------------|---------|--------|
| QES(S) | クエスト シングルピン | クエスト | シングルピン |
| QES(T) | クエスト ツインピン | クエスト | ツインピン |
| RIN | リンカイ ツインピン | リンカイ | ツインピン |
| BSA | BSAサクライ ツインピン | BSAサクライ | ツインピン |

fig. 18 ピン立て模型タイプ (シングル・ツイン)

分割前歯列模型及び分割後歯列模型を三次元歯科用スキャナー非接触式 LED パターン光投影型 (IdenticaT300CAD, アイキャスト, スキャン精度 $7\mu\text{m}$ 以下) を使用してスキャニングを行う (fig. 19).



fig. 19 IdenticaT300CAD

CAD ソフト (Exocad, exocad 社) を使用し, 分割前歯列模型及び分割後歯列模型の STL データ (fig. 20 ~fig. 21) に分割前歯列模型を基準とし 2 種の STL データを重ね合わせ応力解放によるズレをカラーチャートで示した (fig. 22).

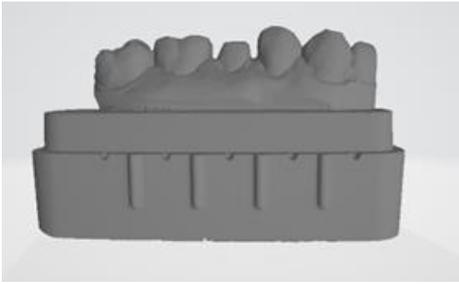


fig. 20 分割前 STL データ

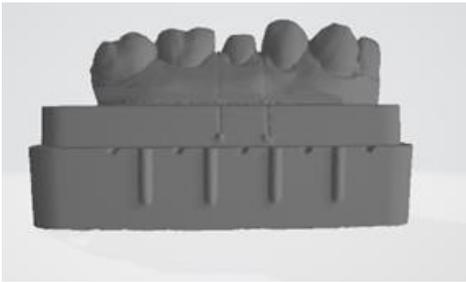


fig. 21 分割後 STL データ

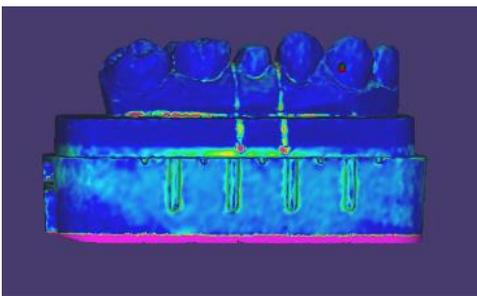


fig. 22 重ね合わせ (カラーチャート)

CAD ソフトウェア (Power Shape, AUTODESK 社) を用い分割前歯列模型 (fig. 23) 及び分割後歯列模型 (fig. 24) STL データの表面形態一致度が最大となる三次元的位置関係で重ね合わせ、突出している部分及び陥凹部分 (fig. 25~26) の体積にそれぞれブーリアン演算を用いて算出しその合計の平均値を求めた。

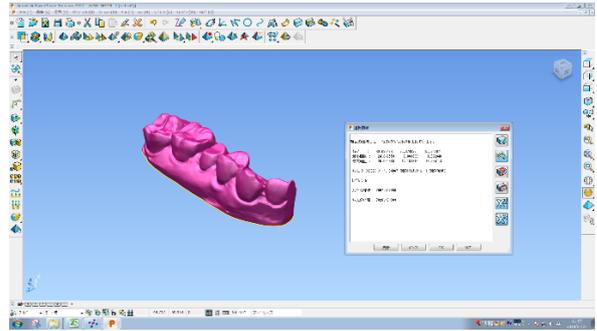


fig. 23 分割前の STL データ (a)

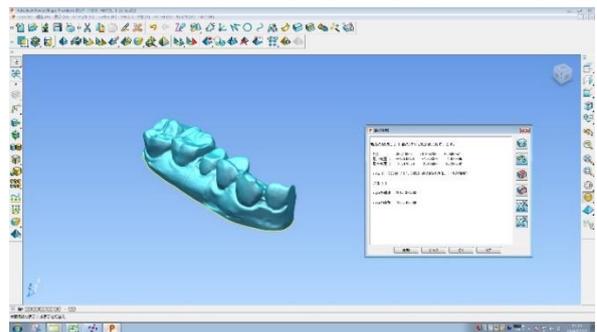


fig. 24 分割後 STL データ (b)

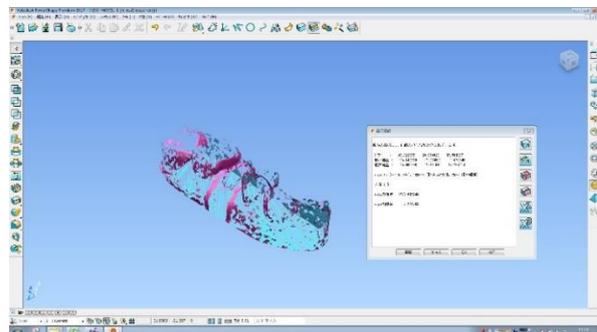


fig. 25 ブーリアン演算 (a-b) mm³

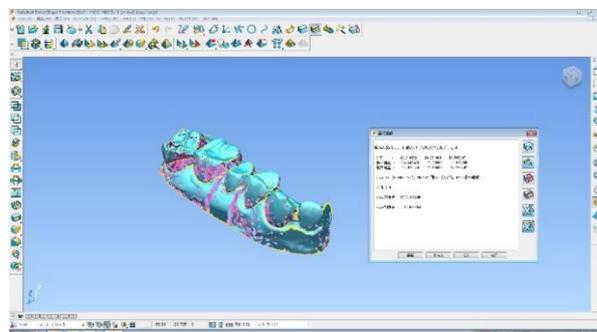


Fig. 26 ブーリアン演算 (b-a) mm³

総体積の誤差計算式は以下のようになる。

$$\underline{\underline{\text{総体積誤差 (mm}^3\text{)} = (a-b) + (b-a)}}$$

3. 結果

各種ピン立て模型及び貼り付け模型のズレをカラーチャートで示す (fig. 27). ブーリアン演算によるピン立て模型 (fig. 28) 及び貼り付け模型の総体積誤差平均値を示す (fig. 29). ピン立て模型の総体積誤差で最も低い値は QES (T) の 15.67 mm³ であり, 貼り付け模型の総体積誤差で最も低い値は DYC の 16.69 mm³ であった. 全体的に見てもピン立て模型 4 種の平均が 17.96 mm³ を示し, 貼り付け模型 6 種の平均は 33.06 mm³ でありピン立て模型の数値が低い値となった.

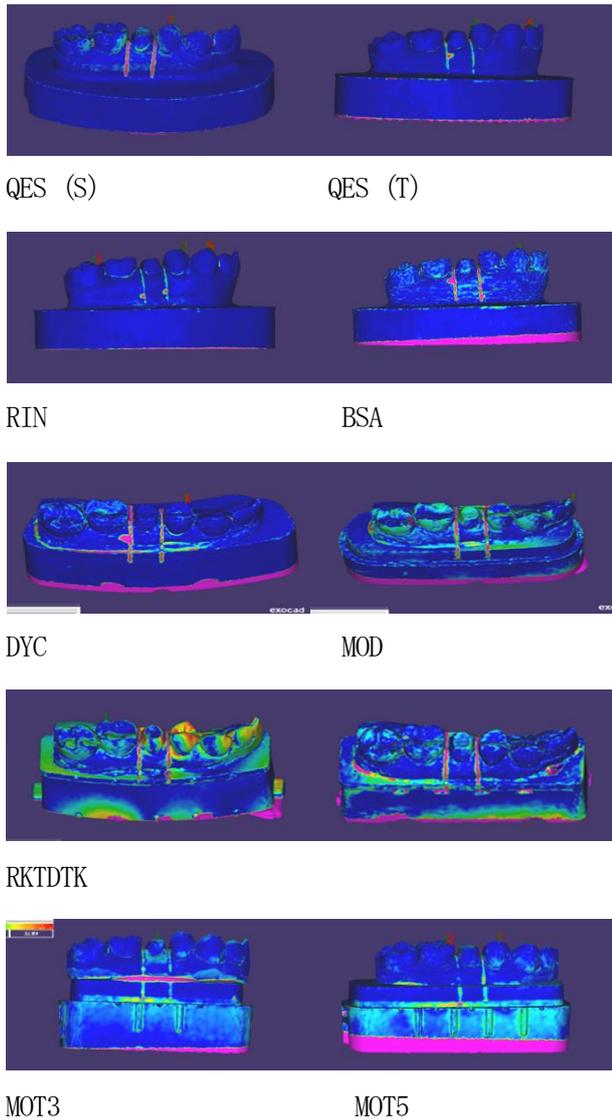


fig. 27

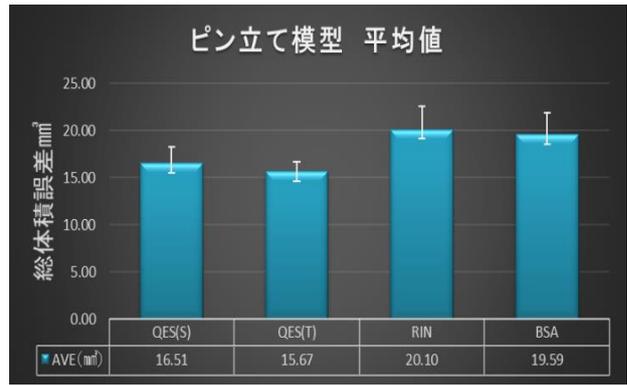


fig. 28 ピン立て模型総体積誤差比較 (mm³)



fig. 29 貼り付け模型総体積誤差比較 (mm³)

4. 考察

ピン立て模型は石膏の応力緩和により貼り付け模型に比べ大きな体積誤差を示すと予測していたが, 12 時間放置したことで応力が緩和されている. ツインピンは 2 本のピン部と鞅部とピン先のキャップで構成されており, シングルピンに比べ鞅部の面積は大きく応力の影響を大きく受けると予測していたが影響はなかった. ただツインピンにおいては 2 本のピン部と鞅部の嵌合精度の違いが数値に現れると推測される.

貼り付け模型はタイプ A が最も低い数値を示しており, 上部プレート及び土台ともに石膏ではあるが石膏膨張は終わっているためその影響を受けていない. 石膏対石膏であることで密着度もありその構造が数値に表れている. タイプ B は模型製造過程において樹脂土台部に石膏を填入して製作されており, タイプ A と同様密着度があるためタイプ A に次いでタイプ B は低い値となっている. ただ土台部は射出形成で製作されており, ダウエルピン部との嵌合精度が影響していると推測される. タイプ B 群の MOT3・

MOT5には、ツインピンタイプの貼り付け模型であり回転防止の機能が強くシングルピンと比較すると構造上若干精度が高いと言える。

タイプCは上下が樹脂素材で上下別々の金型で射出形成され製作された貼り付け模型であるため天板及びピン部・土台部の嵌合精度が低い為、安定性が低くこの結果に至っていると推測する。

ピン立て模型の総体積誤差値は低く貼り付け模型に比べ優位と考えるが、前述の fig. 4~11 に示した様にピン立て模型はすでに弧状変形を引き起こしている。

本実験でのブーリアン演算による総体積誤差比較する以前に作業模型自身が弧状変形を起こしているため、総体積誤差比較以上の誤差があると考えられる。補綴物製作において貼り付け模型は弧状変形の影響は無く総合的に見て、上部プレート及び土台ともに石膏あるいは樹脂土台部に石膏を填入して製作された嵌合精度の高い貼り付け模型はピン立て模型より優位と考えられる。

5. おわりに

今回、各種ピン立て模型及び貼り付け模型の精度比較の検証を行った。

間接法で作製する以上、石膏の使用は避けられず石膏の膨張は補綴物製作に大きな影響を与える。一般的に石膏は45分で硬化し24時間膨張を続けることされており製作された補綴物は口腔内で約150~200 μ 高くなると言われている。

要因として、印象材の収縮による0~1%、模型の膨張による0~0.3%、ワックスパターンの収縮による0~1%、埋没材の膨張による1~2%、鋳造による金属収縮が1~2%、そして生体の問題（歯周病による歯牙の動揺など）から発生する誤差が関係してくる^{3) 4)}。

上記の誤差による口腔内での調整を極力抑える為にバイト材等で咬合接触点を確認し、咬合器付着後に上下作業模型を口腔内と近似した咬頭嵌合位に再現する為の模型補正を行う事が必要になってくる。

従来法であるピン立て模型の精度を良好なものにする為には、計量による正確な混水比と水温管理及び石膏の湿度管理等が必要である。それに加え、ピン立て模型は弧状変形も考慮して咬合調整に臨む必要がある。

貼り付け模型はピン立て模型に比べ弧状変形もなく安定しているが、貼り付け模型の素材や構成の種類によってメリット・デメリットを理解した上で補綴物製作を行うことが誤差の少ない補綴製作に繋がる。

参考文献

- 1) 岡野京二. 卒後5年までに身につけたいブリッジ技工力. 医歯薬出版. 2012.
- 2) 村田泰彦他. 射出成形品におけるそり変形と金型温度分布との相関関係検討. 成型加工 2008; 10: 769-775.
- 3) 遊亀裕一. 生体と調和する歯周組織にやさしい歯冠修復物. クインテッセンス出版. 2014
- 4) YAMAKIN. 歯科用CAD/CAMハンドブックV. 2017