

学 位 論 文

The effect of scan methods by intraoral scanner on
trueness and precision of scanning data

(口腔内スキャナーのスキャン方法がスキャン
真度と精度に与える影響)

高山 幸宏

広島大学大学院医歯薬保健学研究科
博士課程後期 口腔健康科学専攻

2020 年度

主指導教員：二川 浩樹 教授
(医系科学研究科 口腔生物工学)

目次

緒言	1
第 I 章 口腔内スキャナーを用いた上顎 2 歯欠損の全顎光学印象に おける新しい印象法の検討	
第1節. 序論	5
第2節. 材料および方法	7
2-1 基準模型の作製	7
2-2 ガイドラインの記入	7
2-3 口腔内スキャナーによるスキャン手順と取得データの三次元化	8
2-4 計測箇所と計測方法	9
2-5 基準データの作成と基準値の算出	10
2-6 精確さ(真度と精度)の評価.....	11
2-7 各スキャンデータの三次元的評価	12
2-8 統計処理	12
第3節. 結果	19
3-1 基準値と各測定距離の平均値を比較した際の増減率	19
3-2 各測定距離におけるそれぞれの印象法の真度	20
3-3 各測定距離におけるそれぞれの印象法の精度	21
3-4 基準データとそれぞれの印象法で得た 3D データの三次元的比較	22
第4節. 考察	35
第5節. 結論	39

第Ⅱ章 口腔内スキャナーを用いた上顎臼歯部4歯ブリッジの全 顎光学印象における新しい印象法の検討

第1節. 序論	40
第2節. 材料および方法	42
2-1 基準模型の作製	42
2-2 ガイドラインの記入	42
2-3 口腔内スキャナーによるスキャン手順と取得データの三次元化	43
2-4 計測箇所と計測方法	43
2-5 基準データの作成と基準値の算出	44
2-6 各スキャンデータの三次元的評価	44
2-7 統計処理	45
第3節. 結果	49
3-1 基準値と各測定距離の平均値を比較した際の増減率	49
3-2 各測定距離におけるそれぞれの印象法の真度	50
3-3 各測定距離におけるそれぞれの印象法の精度	51
3-4 基準データとそれぞれの印象法で得た3Dデータの三次元的比較	52
第4節. 考察	65
第5節. 結論	69
総括	70
参考文献	71
謝辞	75

緒言

近年、デジタル技術を用いた歯科医療、いわゆるデジタルデンティストリー¹⁾が飛躍的に進歩し、歯科治療や歯科技工作業工程に大きな変革を与えてきた。設計や加工といった製作工程をコンピューターにより制御するという歯科用の Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing (以下、CAD/CAM) システムは、ジルコニアやチタンなどの精密加工を可能にし^{2,3)}、その他にもインプラント手術支援システムを利用したインプラント治療など、現在もデジタルデンティストリーの様々な応用方法が開発されている。歯科用 CAD/CAM システムは計測装置、設計装置、加工機から構成されるが、なかでも計測装置は近年目覚ましい進化を遂げ、改良・開発が進んでいる。計測装置は大まかに分けて、模型をスキャンするデスクトップ型スキャナーと、直接口腔内をスキャンして光学印象により印象採得を行う口腔内スキャナー (Intraoral Scanner) に分類されるが、昨今口腔内スキャナーの開発が急激に進み、徐々に臨床応用されつつある。

口腔内スキャナーによる光学印象法は、スキャナーのヘッドと呼ばれる部分から規則的なパターン光を口腔内に照射し、内蔵カメラによってその反射光を捉えることで、支台歯や周囲組織の三次元的な形状を再現することができる新たな印象法である⁴⁾。

近年の更なる進歩により、口腔内スキャナーは幅広い症例に適応可能となり、インレー、クラウン、ブリッジといった天然歯の修復治療^{5,7)}だけでなく、インプラント治療においても応用可能^{2,8)}とされている。口腔内スキャナーによる光学印象は、リアルタイムで撮影画像の確認が可能、嘔吐反射の軽減、治療時間の短縮などの利点から患者に対しても非常に有用なものであると考えられており、今後 CAD/CAM システムと併用することで補綴装置の製作方法の簡略化や適合性の向上も期待されている^{2,9)}。しかし、その一方で、歯肉縁下マージンの撮影の困難さ、唾液や血液等の水分による光の反射に

よる影響, 全部床義歯やポストコア, ロングスパンブリッジ症例への対策という課題が残されているというのも現状である.

歯科治療において装着した補綴物により良好な予後を得ることは, 臨床において患者の QOL の向上に関わる重要な要素であるため, 当然口腔内スキャナーを用いた歯科治療においても適合の良い補綴物の製作が求められる. 口腔内スキャナーの精確さは従来のシリコーン印象法と同等で, 歯冠補綴装置においても良好な適合を得たという結果が報告されており¹⁰⁾, また, 単独歯や少数歯欠損のインプラント症例においても高い位置再現性を有すると報告されている¹¹⁾. 今後, 多数歯欠損症例や義歯への応用も期待されているが, 口腔内スキャナーによる光学印象法は印象範囲が広範囲になると誤差を生じやすく精確さが低下することも報告されており^{12,13)}, また, 4 歯以上の多数歯欠損症例に関する報告も少なく不明な点が多い.

口腔内スキャナーは撮影した画像をパノラマ写真のように重ね合わせてデータを作成しているため, 全顎印象を行う際に歯列だけを撮影すると完成したデータにひずみや歪みが生じ, 二次元的・三次元的な誤差を発生させると報告されている¹⁴⁾ (図 1). 今後, 更に普及していくと考えられる口腔内スキャナーによる光学印象において多数歯欠損症例や義歯へ応用していくとするならば, 全顎印象における歯列の再現性や支台歯部分の印象の精確さをより一層向上させることは非常に重要であると考えられる.

さらに, 口腔内スキャナーによる光学印象は凹凸の少ない口蓋部や欠損歯部の粘膜面で誤差が生じやすいとされており¹⁶⁾, 粘膜面での誤差が全体的な歯列のズレを発生させている可能性もあるため, 粘膜面での誤差を減少させ, なおかつ印象の精確さを向上させることが課題となる.

そこで本研究では, 口腔内スキャナーによる上顎全顎印象において口蓋部や欠損歯部にガイドラインを設け, それを指標として口蓋部も含めてスキャンし, スキャンの始点と終点をつなげることでデータの両端が規定されデータの重ね合わせによる誤差を取

り除くことができるのではないかと考えた。この方法により誤差を減少させ、広範囲な撮影においても口腔内スキャナーによる印象の精確さを向上させることができれば、今後さらに幅広い症例への応用の可能性が期待できる。

そこで本研究では、口蓋部にガイドラインを設けて口腔内スキャナーにより始点と終点を繋げて撮影するという新しい印象法が上顎 2 歯欠損の全顎印象において歯列の真度と精度に与える影響と、上顎臼歯部 4 歯ブリッジの全顎印象において欠損歯部にガイドラインを設けて口腔内スキャナーにより撮影するという新しい印象法が支台歯と欠損歯部の真度と精度に与える影響を明らかにすることを目的とし検討を行った。

さらに、3D 評価ソフトウェアを用いて、カラーマップにより模型全体の変位量を視覚的に表現することで新しい印象法がスキャンデータに与える三次元的な影響の評価も行った。

本研究は、第 I 章：口腔内スキャナーを用いた上顎 2 歯欠損の全顎光学印象における新しい印象法の検討、第 II 章：口腔内スキャナーを用いた上顎臼歯部 4 歯ブリッジの全顎光学印象における新しい印象法の検討により構成される。

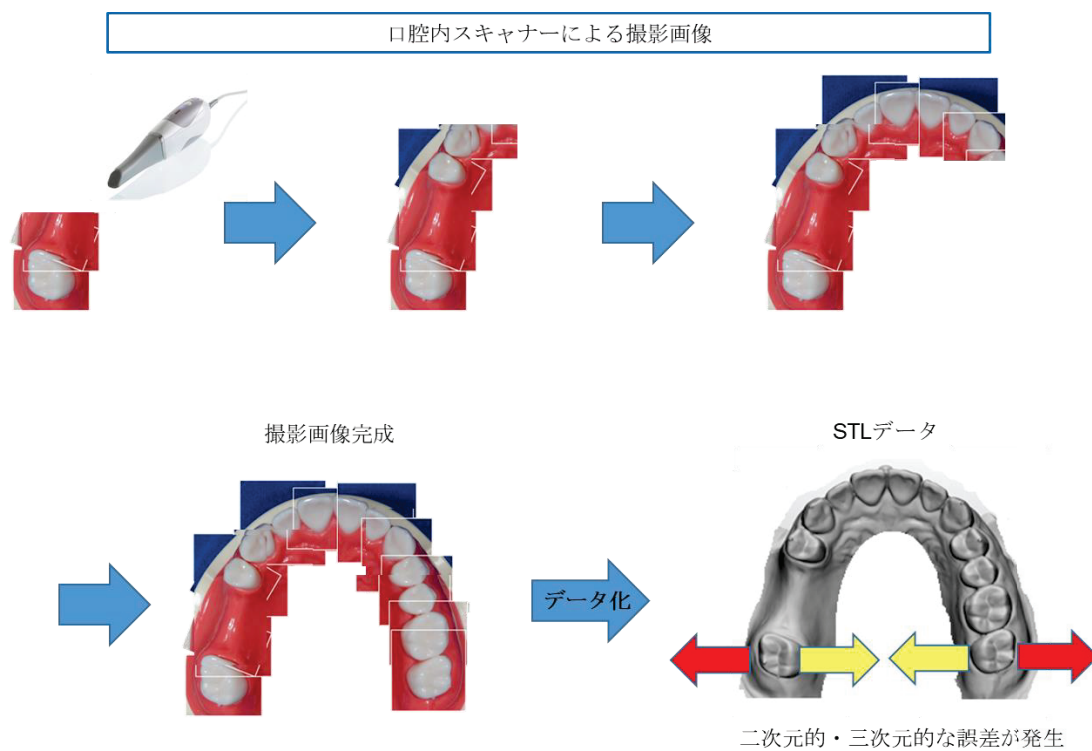


図 1 : 口腔内スキャナーにて歯列のみの全顎スキャンを行った際に生じる誤差の発生イメージ図

第 I 章 口腔内スキャナーを用いた上顎 2 歯欠損の全顎光学印象における新しい印象法の検討

第1節. 序論

口腔内スキャナーによる光学印象は今後、多数歯欠損症例や義歯への応用も期待されているが、全顎印象のように印象範囲が広範囲になると誤差を生じ、精確さが低下すると報告されている^{12,13)}。口腔内スキャナーはレーザー光デスクトップ型スキャナーに比べカメラのサイズが小さいために撮影画像をパノラマ写真のように重ね合わせてデータを作成しており、全顎印象を行う際に歯列のみを撮影すると完成したデータにひずみが生じ、二次元的・三次的に誤差が発生するとされている¹⁴⁾。そして、そのようなデータのひずみは最後臼歯部に近づくにつれて大きくなるとされている¹⁵⁾。

今後、口腔内スキャナーが更に普及し多数歯欠損や義歯へ応用されるとするならば、全顎印象は必須となるため口腔内スキャナーの光学印象においてデータの誤差を減らし、精確さを向上させることは非常に重要であると考えられる。

そこで本研究では、口腔内スキャナーによる上顎全顎印象において口蓋部にガイドラインを設け、それを指標として口蓋部も含めてスキャンしスキャンの始点と終点をつなげることでデータの両端が規定され、データの重ね合わせによる誤差を取り除くことができるのではないかと考えた。この方法により口腔内スキャナーによる広範囲な歯列の撮影においても印象の精確さを向上させることができれば、臨床応用可能な症例の拡大に繋がると考えられる。また、このような口腔内スキャナーによる光学印象において精確さを向上させるような検討をした報告はあまり見受けられない。

そこで本研究では、口蓋部にガイドラインを設けて口蓋部も含めて撮影し始点と終点

を繋げるといふ口腔内スキャナーによる新しい印象法が、上顎右側臼歯部 2 歯欠損の全顎印象においてスキャン真度と精度に与える影響を検証することを目的として検討を行った。

さらに、3D データ評価ソフトウェアによる三次元的な評価を行い、新しい印象法が歯列や口蓋部分に与える影響を検討した。

第 2 節. 材料および方法

2-1. 基準模型の作製

本実験には、右側第二小臼歯と第一大臼歯が欠損した 2 色レジン製上顎模型 (E50-523, NISSIN) (以下, 模型 I) を使用した (図 2. a). のちの距離測定の計測点として利用するために, 模型 I の両側中切歯正中部, 両側の犬歯尖頭, 第一小臼歯頬側咬頭頂, 第二大臼歯遠心頬側咬頭頂に 0.6 mm のリテンションビーズ (リテンションビーズ II L, GC) を付与した (図 2. b). 口腔内スキャナーが接触し模型歯が動揺することでデータ間にブレが発生することを防ぐために, 模型歯の歯間部や歯頸部を歯科用ワックス (ジーシーパラフィンワックス, GC) で埋めて固定した (図 2. b).

2-2. ガイドラインの記入

本実験では口腔内スキャナーによる印象時のガイドラインとして手術用スキンマーカ (NESCO DERMARK, Alfresa Pharma Corporation) とボールペン型修正液 (ペン修正液, ペんてる社) を用いた. ガイドラインを記入していない未処理の模型 (以下, 未処理) (図 3. a), 模型 I の口蓋部に両側の第二小臼歯同士と第一大臼歯同士を結ぶようにボールペン型修正液を用いて左右に 2 本の線を引いた模型 (以下, CP-LR) (図 3. b), 両側の第二小臼歯同士と第一大臼歯同士を結ぶようにスキンマーカを用いて左右に 2 本の線を引いた模型 (以下, SK-LR) (図 3. c), 両側の中切歯と側切歯の歯間部から咽頭方向に向かって前後にボールペン型修正液で 2 本の線を引いた模型 (以下, CP-FB) (図 3. d), 両側の中切歯と側切歯の歯間部から咽頭方向に向かって前後にスキンマーカで 2 本の線を引いた模型 (以下, SK-FB) (図 3. e) の 5 種類を用意した (図 3).

2-3. 口腔内スキャナーによるスキャン手順と取得データの三次元化

本実験では国内で認可されている口腔内スキャナー（Trophy 3DI Pro, Trophy Radiology Japan）を使用し、実験に用いた各模型を歯科用マネキンファントム（NISSIN）に装着して（図 4. a），外光の影響を排除した室内灯のみの環境下で実際の臨床現場での撮影状況に近い状態でスキャンを行った（図 4. b）。また、スキャン経路はメーカーにより推奨経路があるため、今回は本実験で使用した口腔内スキャナーのメーカー推奨経路で歯列の撮影を行い、その後に口蓋部の撮影を行った（図 4. c）。

スキャン経路は、右側第二大臼歯咬合面からスタートし、欠損歯部、右側小臼歯部を通り前歯部の唇側面、舌側面を往復しながら撮影して左側の臼歯部咬合面へ向かい、左側第二大臼歯咬合面に到着後、頬側面、唇側面を撮影しながら右側第二大臼歯頬側面へ向かい、そして右側第二大臼歯舌側面から前歯部舌側面を通り左側第二大臼歯舌側面へ向かい全歯列を撮影後、最終的に口蓋部を撮影し右側第二大臼歯咬合面で終了することで始点と終点を結んだ（図 4. c）。

図 3 の 5 種類の条件下で口腔内スキャナーによる全顎印象を行い、各データは Standard Triangulated Language（以下、STL）データに変換して出力した。撮影は各条件下で 10 回ずつ行い、各条件で 10 個ずつのスキャンデータを得た。

2-4. 計測箇所と計測方法

出力した STL ファイルを 3D 設計ソフトウェア (3-matic, Materialise) にインポートし、基準模型作製時に付与した各リテンションビーズを計測点として、両側犬歯尖頭間 (以下、距離①)、両側第一小白歯頬側咬頭頂間 (以下、距離②)、両側第二大臼歯遠心頬側咬頭頂間 (以下、距離③)、両側中切歯正中部と右側第二大臼歯遠心頬側咬頭頂間 (以下、距離④)、両側中切歯正中部と左側第二大臼歯遠心頬側咬頭頂間 (以下、距離⑤) の二点間直線距離を計測した (図 5)。それぞれのリテンションビーズの中心同士の距離を算出することを取り決めとして①から⑤の距離を 20 回ずつ計測し、20 回の平均をその距離の測定値とした。そしてこの作業を 10 個全てのデータで行い、各距離において 10 個の測定値を得た。

2-5. 基準データの作成と基準値の算出

基準値とは、「より正確な測定装置による反復測定結果の平均値」と定義されている。また、数多くの先行論文において口腔内スキャナーに比べレーザー光デスクトップ型スキャナーの方が精確さにおいて優れているとされている^{17,18)}。そこで本実験では、レーザー光デスクトップ型スキャナー (Aadv Scan D810, GC) (図 6. a) にて本実験に使用する模型 I をスキャンしたデータを「基準データ」とした (図 6. b)。基準データにおいても 10 回のスキャンにより 10 個のデータを得た。そして、計測箇所①から⑤の二点間直線距離を 20 回ずつ測定し、それらの平均を測定値とした。①～⑤の距離において 10 個ずつの測定値を算出し、10 個の測定値の平均値を本実験の「基準値」とした (図 6. c)。

また、本実験で用いたレーザー光デスクトップ型スキャナーは、スキャン前に模型表面にスキャンパウダーを噴霧することを推奨しているため、本実験でもスキャン前の模型にスキャンパウダー (オクリン, アルタデント) を噴霧した (図 6. d)。また、スキャンパウダーは 1 回のスキャン毎に 1 回ずつ噴霧し直し、レーザー光デスクトップ型スキャナーへの模型の固定も毎回装着し直した。

2-6. 精確さ（真度と精度）の評価

機械による測定方法を検討する過程で留意すべき項目として「精確さ」があり、精確さは「個々の測定結果と採択された基準値との一致度」として JIS 規格で定義されている¹⁹⁾。

「精確さ (accuracy)」は「真度 (trueness)」と「精度 (precision)」から構成される。「真度」とは「十分多数の測定結果から得られた平均値と、採択された基準値との一致の程度」として定義されており、測定値の偏りを表す。一方、「精度」とは、「定められた条件下で繰り返された独立な測定結果間の一致度」として定義されており、すなわち測定値のばらつき具合を表す。つまり、測定した平均値が基準値とする真の値に近くなると真度が高くなり、個々の測定値のバラつきが小さくなり平均値に近づくと精度が高くなるということになる (図 7)。従って、精確さを向上させるには真度と精度の両方を向上させる必要があるため、本研究でも真度と精度の両方について検討を行った。

なお本実験では、各印象法で得た測定距離の「平均値」を「基準値」と比較した時の一致度を「真度」、それぞれの印象法で得られた 10 個の「測定値」をそれぞれの距離の「平均値」と比較した時の誤差のばらつきを「精度」とした。

2-7 各スキャンデータの三次元的評価

各印象方法で得た STL データと基準データを 3D データ評価ソフトウェア (GOM inspect 2020, GOM) にインポートし, 本ソフトウェアのベストフィットアルゴリズム機能を使用することで 2 つのデータの重ね合わせを行い, 各データの表面偏差をカラーマップにより表示した. 変位量を表すカラーバーは, 色の変化による変位の度合いを全ての条件下で統一するために最大値を 0.3mm, 最小値を-0.3mm とした.

2-8 統計処理

統計処理には統計解析ソフトウェア (SPSS Statistic 24.0, IBM Japan) を用いた. ガイドラインを設けた要因の評価には二元配置分散分析を行い, 各印象法間の統計処理には Scheffe の多重比較法を行った. 全ての統計処理において有意水準は 5% とした.



(a)



(b)

図 2 : (a)基準模型 I / (b)付与したリテンションビーズ拡大図とパラフィンワックスで埋めた歯間部



(a) 未処理



(b) CP-LR



(c) SK-LR



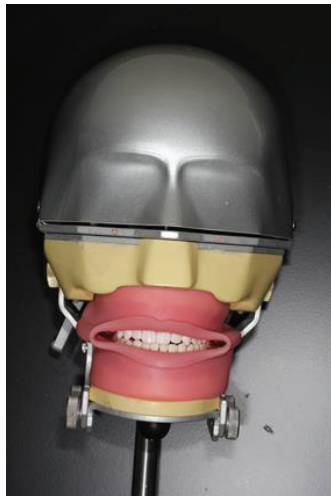
(d) CP-FB



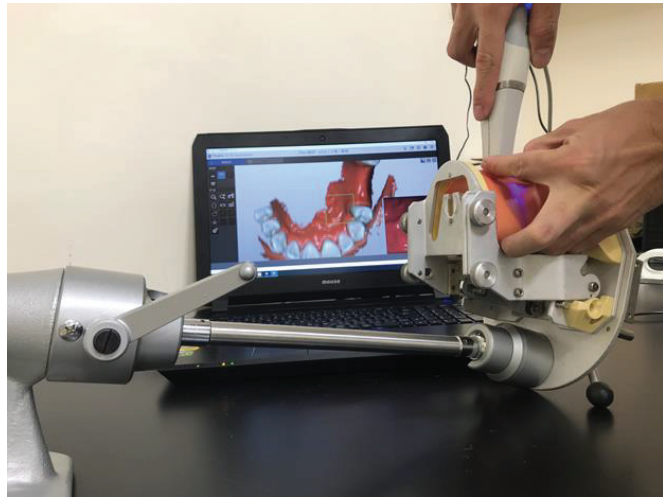
(e) SK-FB

図 3 : 実験に用いた 5 種類の模型 I

(a) 未処理 : ガイドラインを設けていない模型 I , (b) CP-LR : 模型 I の口蓋部に両側の第二小臼歯同士と第一大臼歯同士を結ぶようにボールペン型修正液を用いて左右に 2 本の線を引いた模型 , (c) SK-LR : 両側の第二小臼歯同士と第一大臼歯同士を結ぶようにスキンマーカーを用いて左右に 2 本の線を引いた模型 , (d) CP-FB : 両側の中切歯と側切歯の歯間部から咽頭方向に向かって前後にボールペン型修正液で 2 本の線を引いた模型 , (e) SK-FB : 両側の中切歯と側切歯の歯間部から咽頭方向に向かって前後にスキンマーカーで 2 本の線を引いた模型



(a)



(b)



(c)

図4：(a)歯科用マネキンファントムに模型を装着した状態
(b)撮影中の様子 (c)撮影経路

撮影経路：右側第二大臼歯咬合面（●）からスタートし、欠損歯部，右側小臼歯部を通り前歯部の唇側面，舌側面を往復しながら撮影して左側の臼歯部咬合面へ向かい，左側第二大臼歯咬合面に到着後，頬側面，唇側面を撮影しながら右側第二大臼歯頬側面へ向かい，そして右側第二大臼歯舌側面から前歯部舌側面を通り左側第二大臼歯舌側面へ向かい全歯列を撮影後，最終的にスキャナーのヘッドを左右に動かしながら口蓋部を撮影し右側第二大臼歯咬合面で終了することで始点と終点を結んだ

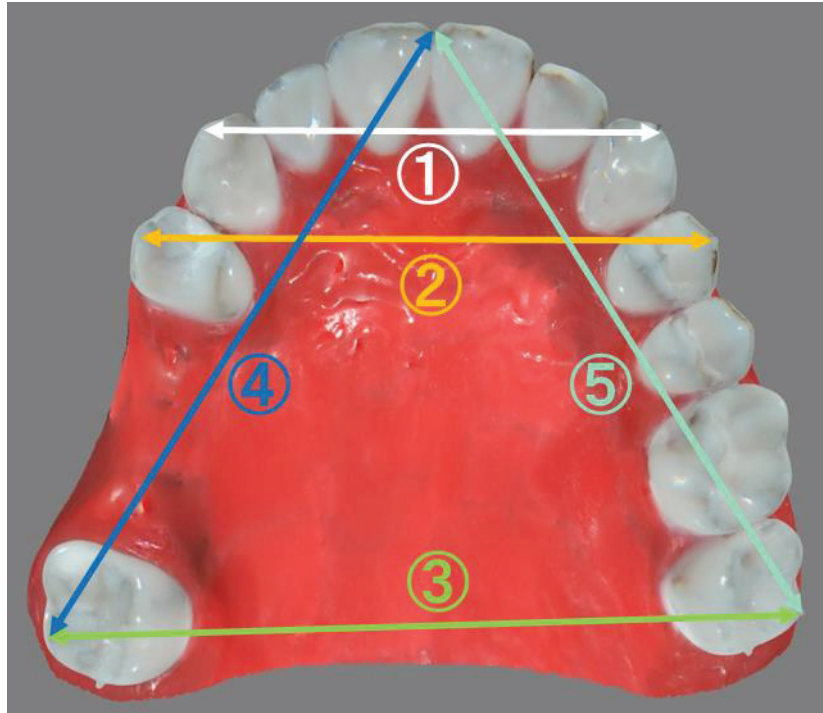
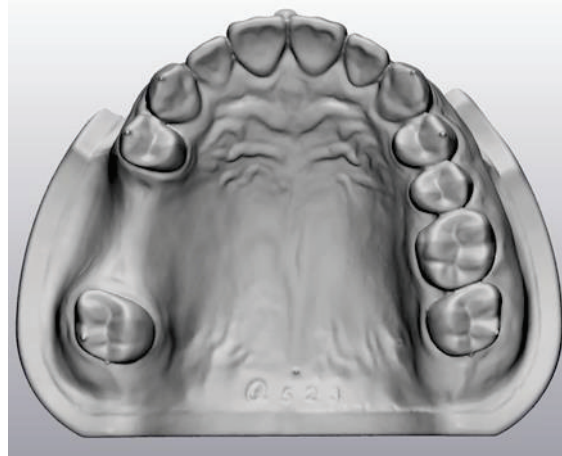


図 5 : 測定箇所

- ①両側犬歯尖頭間の直線距離
- ②両側第一小臼歯頬側咬頭頂間の直線距離
- ③両側第二大臼歯遠心頬側咬頭頂間の直線距離
- ④両側中切歯正中部と右側第二大臼歯遠心頬側咬頭頂間の直線距離
- ⑤両側中切歯正中部と左側第二大臼歯遠心頬側咬頭頂間の直線距離



(a)



(b)

	基準値 (mm)
距離①	36.4
距離②	45.5
距離③	59.7
距離④	54.5
距離⑤	54.3

(c)



(d)

図 6 : (a) レーザー光デスクトップ型スキャナー Aadva Scan D810
 (b) 基準データの一例
 (c) 各距離における基準値
 (d) レーザー光デスクトップ型スキャナーで使用したスキャンパウダー

Accuracy = Trueness + Precision

(精確さ)

(真度)

(精度)

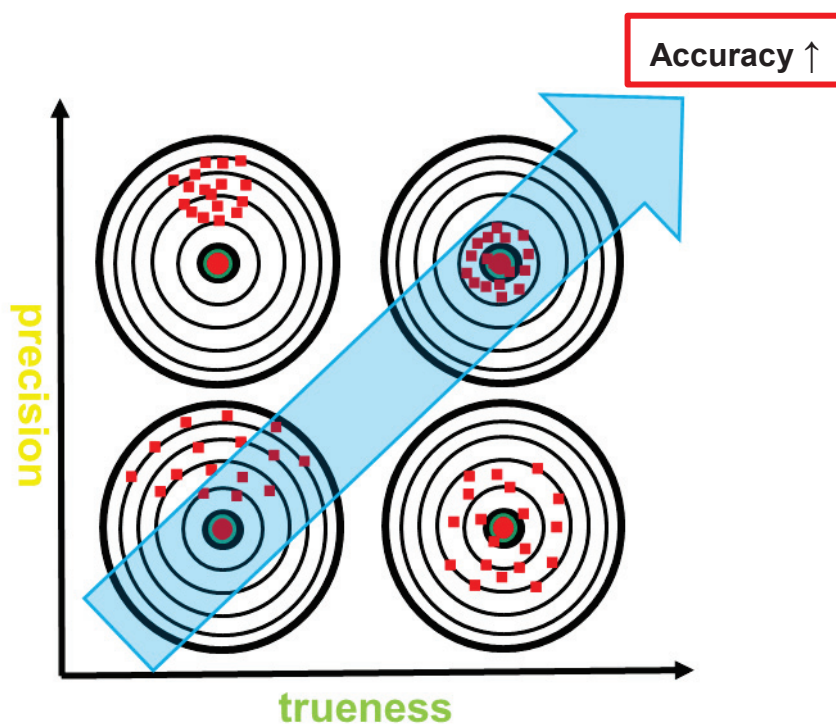


図 7 : 真度と精度の関係性

第3節. 結果

3-1. 基準値と各測定距離の平均値を比較した際の増減率

各印象法による距離①から⑤の平均値を算出した結果、未処理：①36.4, ②45.6, ③59.8, ④54.5, ⑤54.2, CP-LR：①36.4, ②45.7, ③59.9, ④54.6, ⑤54.1, SK-LR：①36.5, ②45.7, ③59.8, ④54.5, ⑤54.2, CP-FB：①36.4, ②45.7, ③59.9, ④54.5, ⑤54.2, SK-FB：①36.4, ②45.6, ③59.7, ④54.5, ⑤54.2 (単位はmm) となった。(図 11)

距離①から⑤の各基準値を 100%とし、各印象法で得たデータの①から⑤の平均値と比較したところ(図 8), 距離①においては未処理に比べ、ガイドを設けた全ての方法で基準値に近い値を示した(図 8. a).

②, ③の距離においては、基準値に比べ各平均値が増加し、歯列の横幅が大きくなるという傾向を示した(図 8. b,c). 距離②の CP-LR のように 0.431%増加した方法がある中で、SK-FB において②, ③の距離の平均値が最も基準値に近い値となり、距離②では 0.173%, 距離③では 0.147%の増加率にとどまった。

その一方で、④, ⑤の距離においては、基準値に比べ各距離のほとんどの平均値が減少し、歯列の前後幅が短くなるという傾向を示した(図 8. d,e). 未処理と比較してさほど大きな変化は見られなかったが、距離④と⑤においても SK-FB の増減率が最小となり、距離④で-0.062%, 距離⑤で-0.165%となった。SK-FB のみが①から⑤の全ての距離において未処理より基準値に近い値を示した。

3-2. 各測定距離におけるそれぞれの印象法の真度

真度を検討するため、距離①から⑤の平均値と基準値の誤差の絶対値の平均を算出した結果、未処理：①91.9, ②151.5, ③242.5, ④94.0, ⑤124.4, CP-LR：①70.9, ②195.9, ③245.3, ④119.6, ⑤171.4, SK-LR：①59.6, ②150.4, ③177.2, ④95.2, ⑤139.0, CP-FB：①112.4, ②190.8, ③232.4, ④119.4, ⑤129.5, SK-FB：①40.1, ②78.6, ③84.1, ④65.1, ⑤92.5 (単位は μm) となった。

①から⑤の各距離の真度を検討した結果 (図 9), 距離①, ②, ③においてスキンマーカで前後方向にガイドラインを設けた方法 SK-FB において未処理に比べ基準値との誤差が比較的小さくなり (図 9. a,b,c), 距離②, ③において未処理に比べ統計学的に有意な差が見られた。また, 距離④, ⑤においては未処理と比べ有意な差を示す方法はなく, 未処理より真度が劣る方法が認められた (図 9. d,e)。

口蓋部に設けたガイドラインが真度に与える影響を検討するために, 二元配置分散分析を行った結果 (図 11), スキンマーカで前後にガイドラインを設けた方法において他のスキャン方法に比べて比較的真度が高くなる結果を示した。

3-3 各測定距離におけるそれぞれの印象法の精度

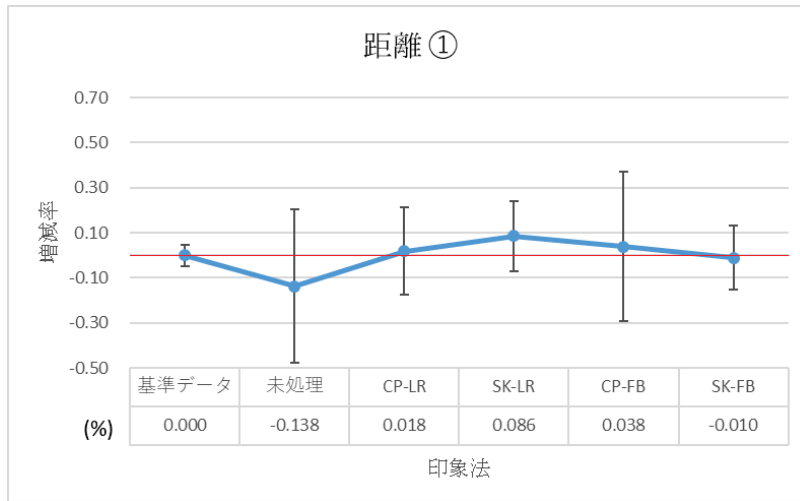
精度を検討するため、距離①から⑤の平均値とそれぞれの測定値の誤差の絶対値の平均を算出した結果、未処理：①101.7, ②59.1, ③144.8, ④79.2, ⑤85.1, CP-LR：①70.9, ②73.5, ③72.2, ④91.8, ⑤59.9, SK-LR：①45.4, ②78.7, ③104.6, ④76.2, ⑤87.0, CP-FB：①109.6, ②75.0, ③112.4, ④117.7, ⑤80.9, SK-FB：①41.4, ②29.0, ③74.9, ④58.0, ⑤52.2 (単位は μm) となった。

①から⑤のそれぞれの距離において各印象法による精度を検討した結果 (図 10), 真度において基準値からの誤差が最も大きかった距離③において、未処理に比べてバラつきが減少し、比較的精度が高くなる傾向を示した (図 10. c). しかし、距離④, ⑤においてはどの方法でも未処理に比べて精度が変わらない、もしくは精度が劣るという結果となった (図 10. d,e).

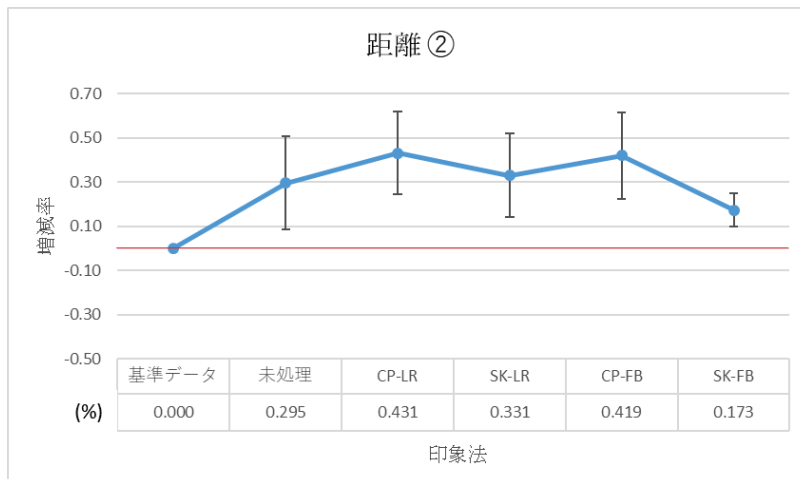
口蓋部に設けたガイドラインが精度に与える影響を検討するために、二元配置分散分析を行った結果 (図 11), スキンマーで前後にガイドラインを設けた方法において未処理に比べ有意に精度が高くなった。

3-4 基準データとそれぞれの印象法で得た 3D データの三次元的比較

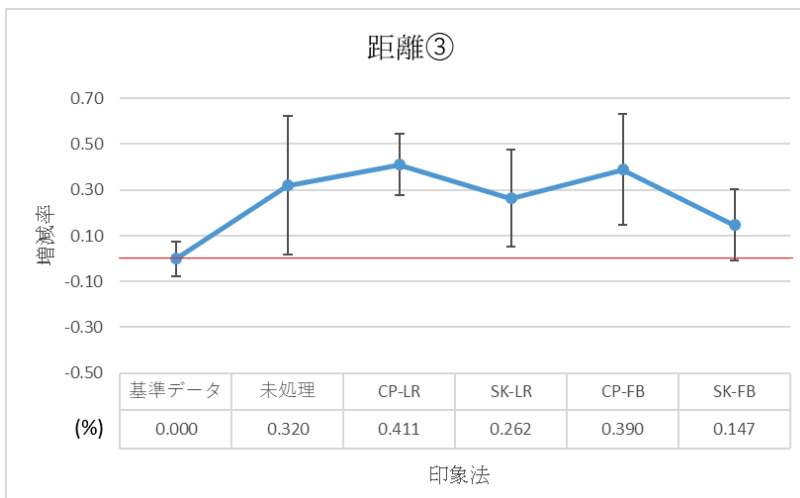
基準データと各方法で得たデータを 3D データ評価ソフトウェアのベストフィットアルゴリズム機能により重ね合わせを行い、各方法の表面偏差を検証した結果 (図 12), 未処理においては口蓋部に最大で 0.31 mm, 両側最後臼歯部に最大で-0.60 mmの比較的大きな変位が確認された (図 12. a). スキンマーカでガイドラインを設けた方法 SK-LR, SK-FB においては未処理と比較して口蓋部や右側大白歯部の変位量が比較的小さく, SK-LR では口蓋部で最大 0.15 mm, 右側最後臼歯部で最大-0.32 mm, SK-FB では口蓋部で最大 0.17 mm, 右側最後臼歯部で最大-0.46 mmとなった (図 12. c,e). ボールペン型修正液でガイドラインを設けた CP-LR と CP-FB では未処理と比べて口蓋部分に局所的に大きな変位が発生することはない, CP-LR で最大 0.19 mm, CP-FB で最大 0.19 mmとなった. また, 右側大白歯部の変位量については CP-LR で最大 0.31 mm, CP-FB で最大 0.62 mmとなり, 未処理に比べ変位量が大きくなっている箇所が確認できた (図 12. b,d).



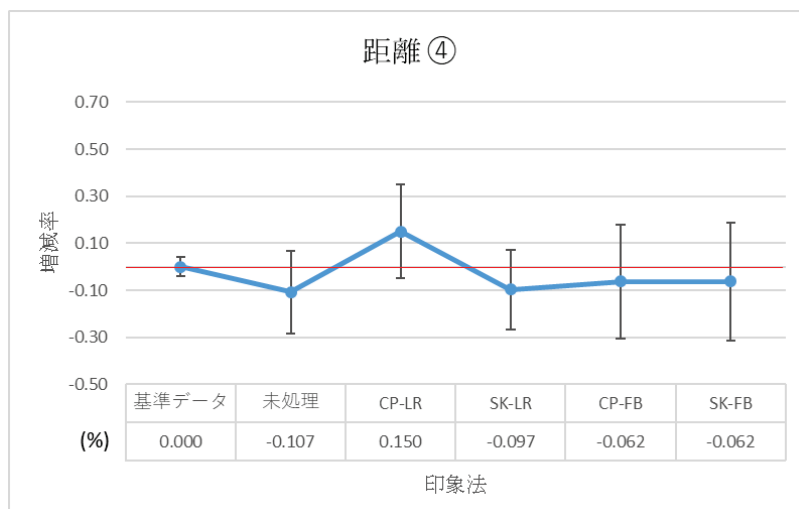
(a)



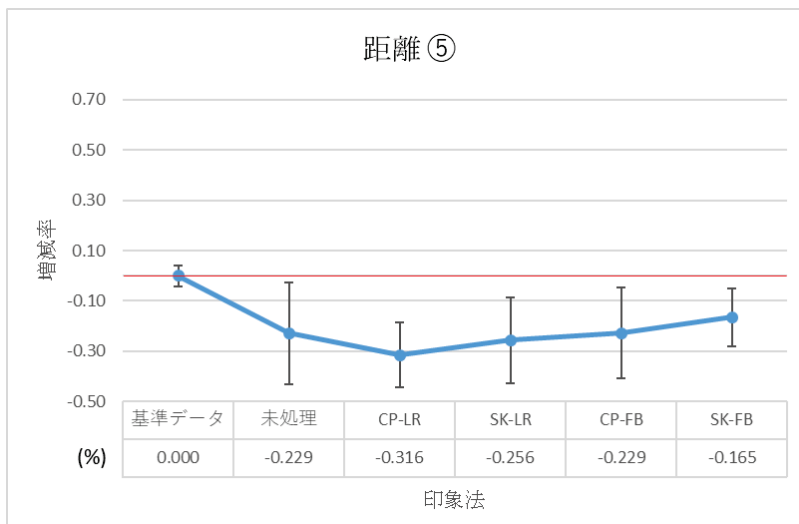
(b)



(c)



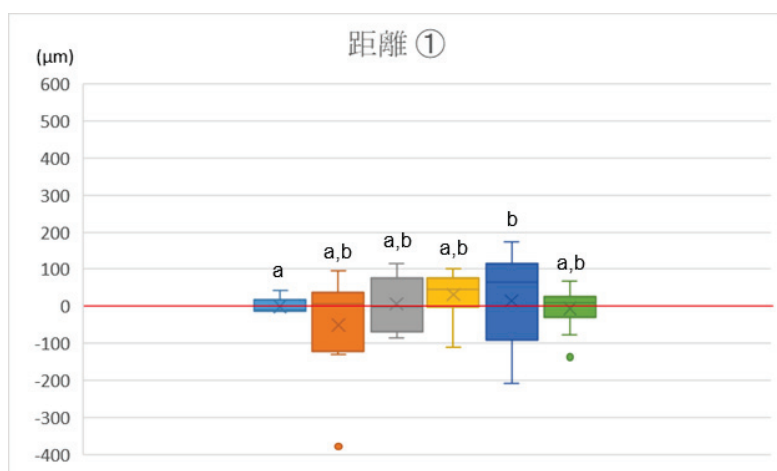
(d)



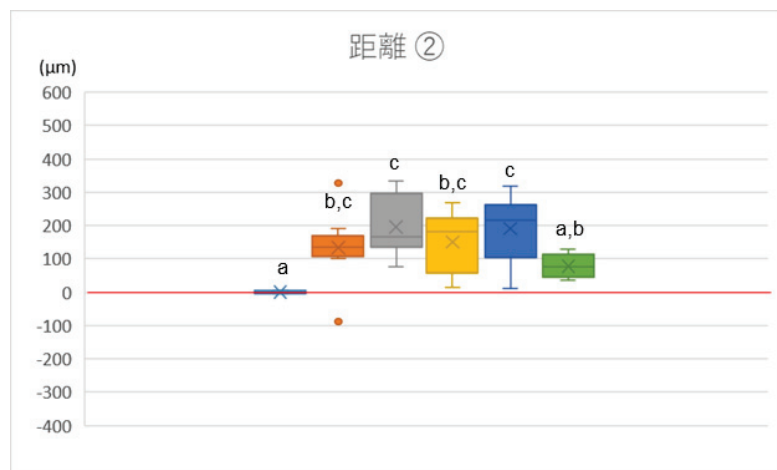
(e)

図 8. 基準値と各測定距離の平均値を比較した際の増減率

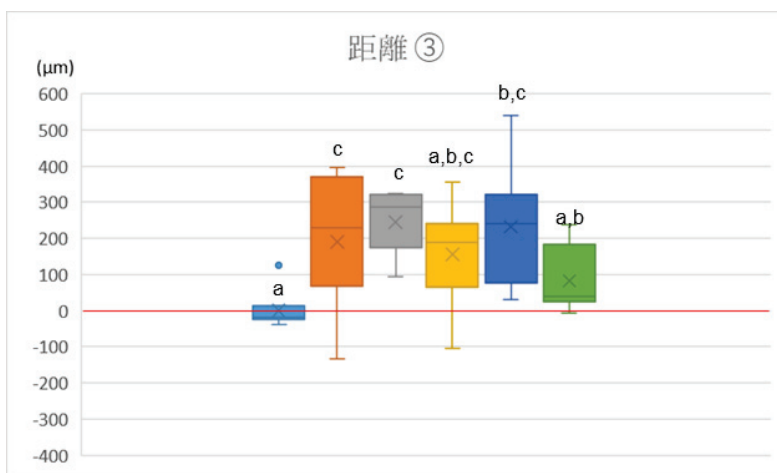
(a)距離① (b)距離② (c)距離③ (d)距離④ (e)距離⑤



(a)



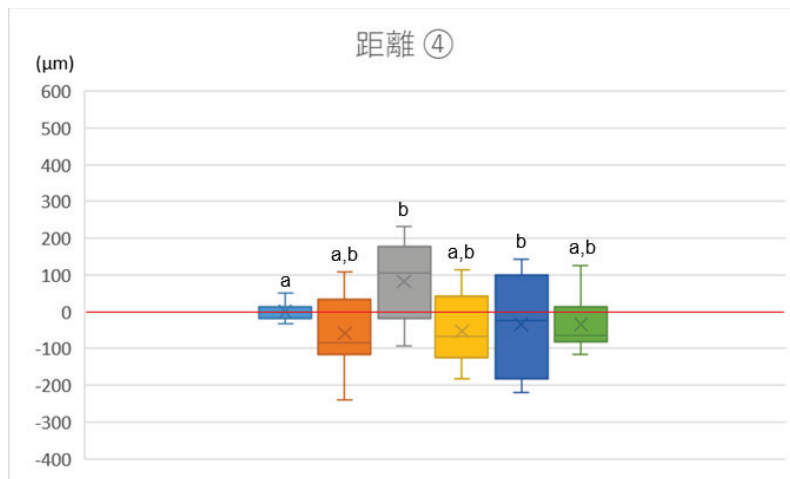
(b)



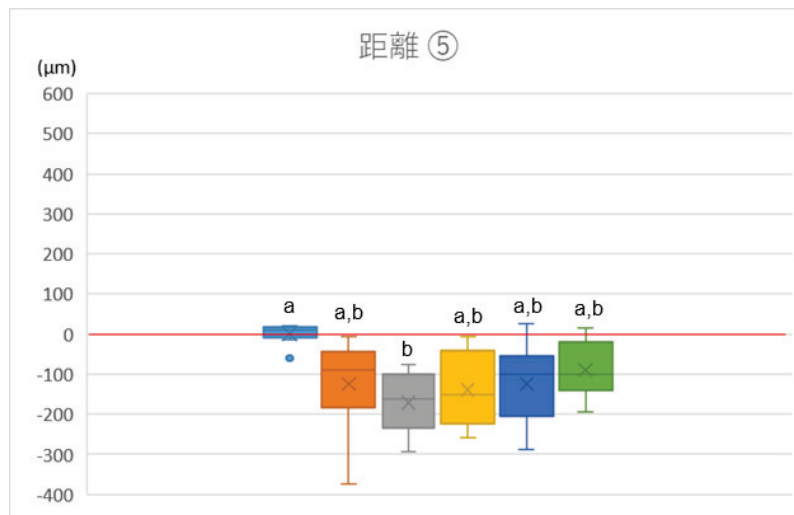
(c)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-LR ■ SK-LR ■ CP-FB ■ SK-FB

* 同一文字間は有意差なし ($p < 0.05$)



(d)



(e)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-LR ■ SK-LR ■ CP-FB ■ SK-FB

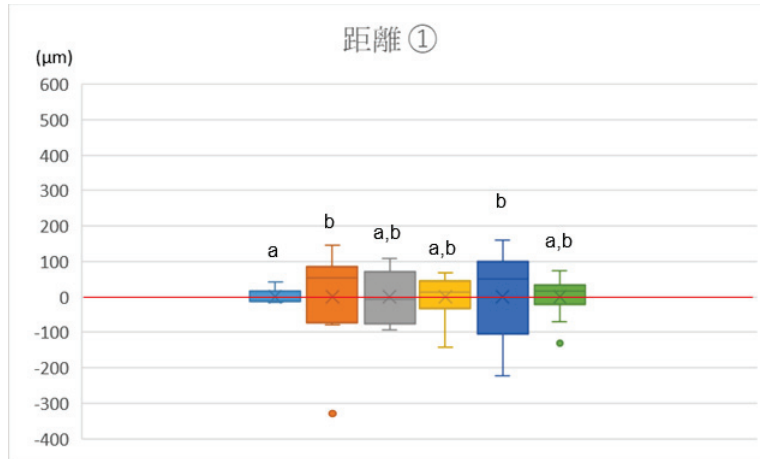
図 9. 各測定距離におけるそれぞれの印象方法の真度

(a) 距離①における各印象方法の真度 (b) 距離②における各印象方法の真度

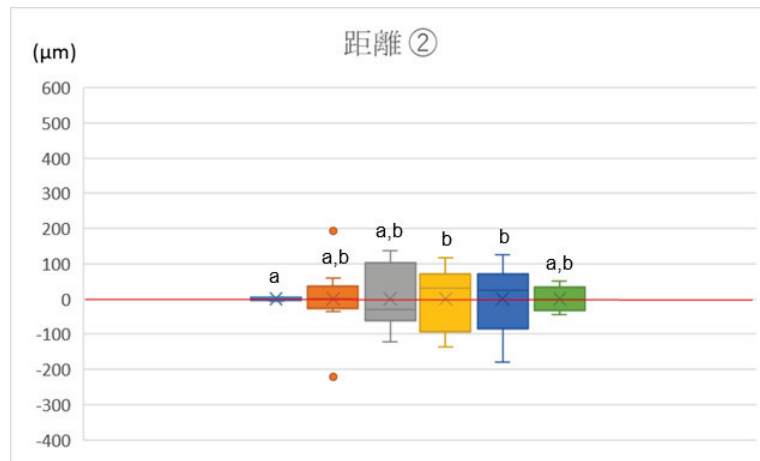
(c) 距離③における各印象方法の真度 (d) 距離④における各印象方法の真度

(e) 距離⑤における各印象方法の真度

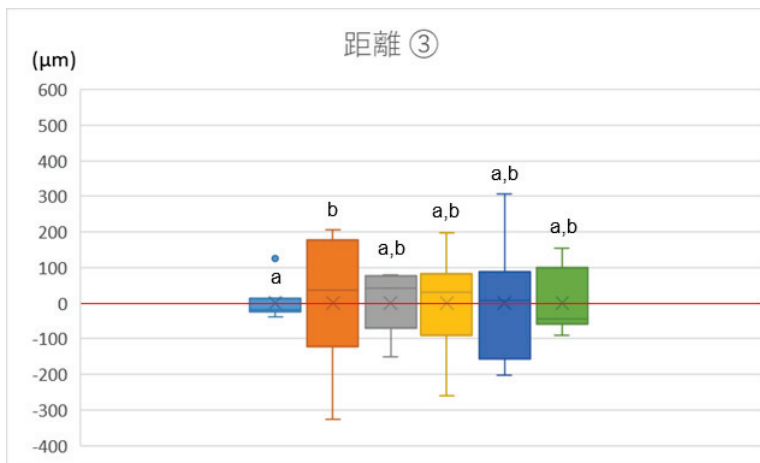
* 同一文字間は無意味差なし ($p < 0.05$)



(a)



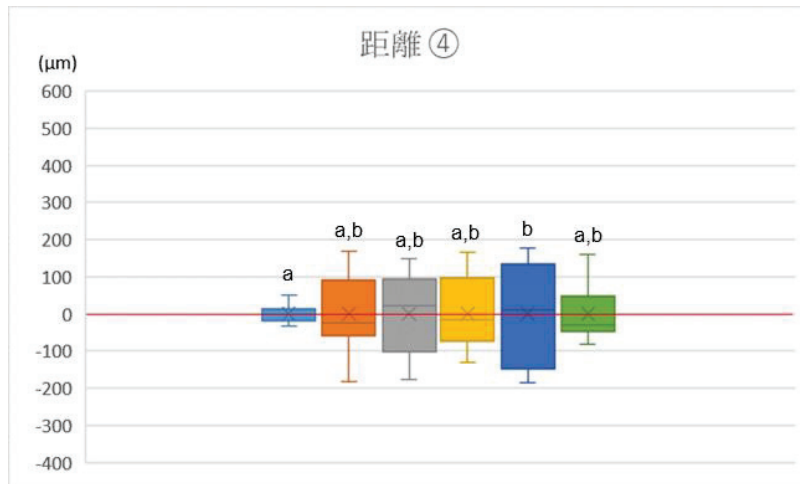
(b)



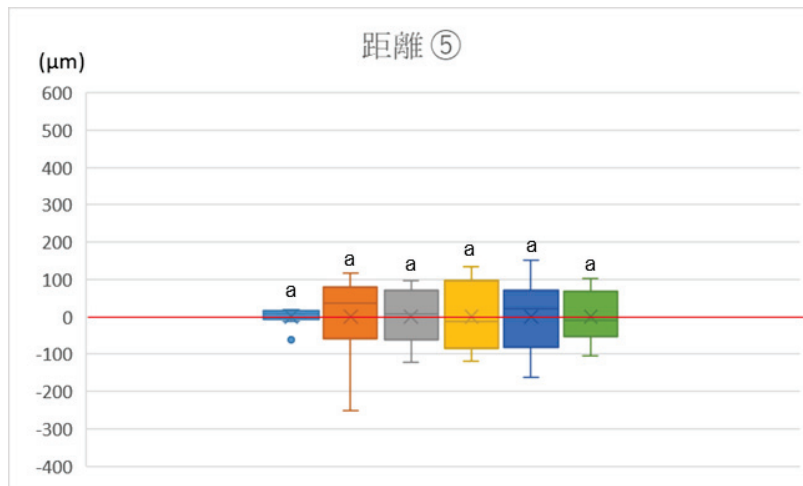
(c)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-LR ■ SK-LR ■ CP-FB ■ SK-FB

* 同一文字間は無意味差なし ($p < 0.05$)



(d)



(e)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-LR ■ SK-LR ■ CP-FB ■ SK-FB

図 10. 各測定距離におけるそれぞれの印象方法の精度

- (a) 距離①における各印象方法の精度 (b) 距離②における各印象方法の精度
 (c) 距離③における各印象方法の精度 (d) 距離④における各印象方法の精度
 (e) 距離⑤における各印象方法の精度

* 同一文字間は無差なし ($p < 0.05$)

	平均値 (中央値) (最小値-最大値) (mm)					二元配置分散分析	
	距離①	距離②	距離③	距離④	距離⑤	真度	精度
基準データ	36.4 (36.4) (36.4-36.5)	45.5 (45.5) (45.5-45.5)	59.7 (59.6) (59.6-59.8)	54.5 (54.5) (54.0-54.6)	54.3 (54.3) (54.2-54.3)	a	a
未処理	36.4 (36.4) (36.0-36.5)	45.6 (45.6) (45.4-45.8)	59.8 (59.9) (59.5-60.1)	54.5 (54.5) (54.3-54.6)	54.2 (54.2) (54.9-54.3)	c	c
CP-LR	36.4 (36.4) (36.3-36.5)	45.7 (45.7) (45.6-45.8)	59.9 (59.9) (59.8-60.0)	54.6 (54.6) (54.4-54.7)	54.1 (54.2) (54.0-54.2)	c	b,c
SK-LR	36.5 (36.5) (36.3-36.5)	45.7 (45.7) (45.5-45.7)	59.8 (59.8) (59.6-60.0)	54.5 (54.4) (54.3-54.6)	54.2 (54.1) (54.0-54.3)	c	b,c
CP-FB	36.4 (36.4) (36.2-36.6)	45.7 (45.7) (45.5-45.8)	59.9 (59.9) (59.7-60.2)	54.5 (54.5) (54.3-54.6)	54.2 (54.2) (54.0-54.3)	c	c
SK-FB	36.4 (36.4) (36.3-36.5)	45.6 (45.6) (45.5-45.6)	59.7 (59.7) (59.7-59.9)	54.5 (54.4) (54.2-54.6)	54.2 (54.1) (54.0-54.3)	b	a,b

図 11. 二元配置分散分析による結果

* 同一文字間は有意差なし ($p < 0.05$)

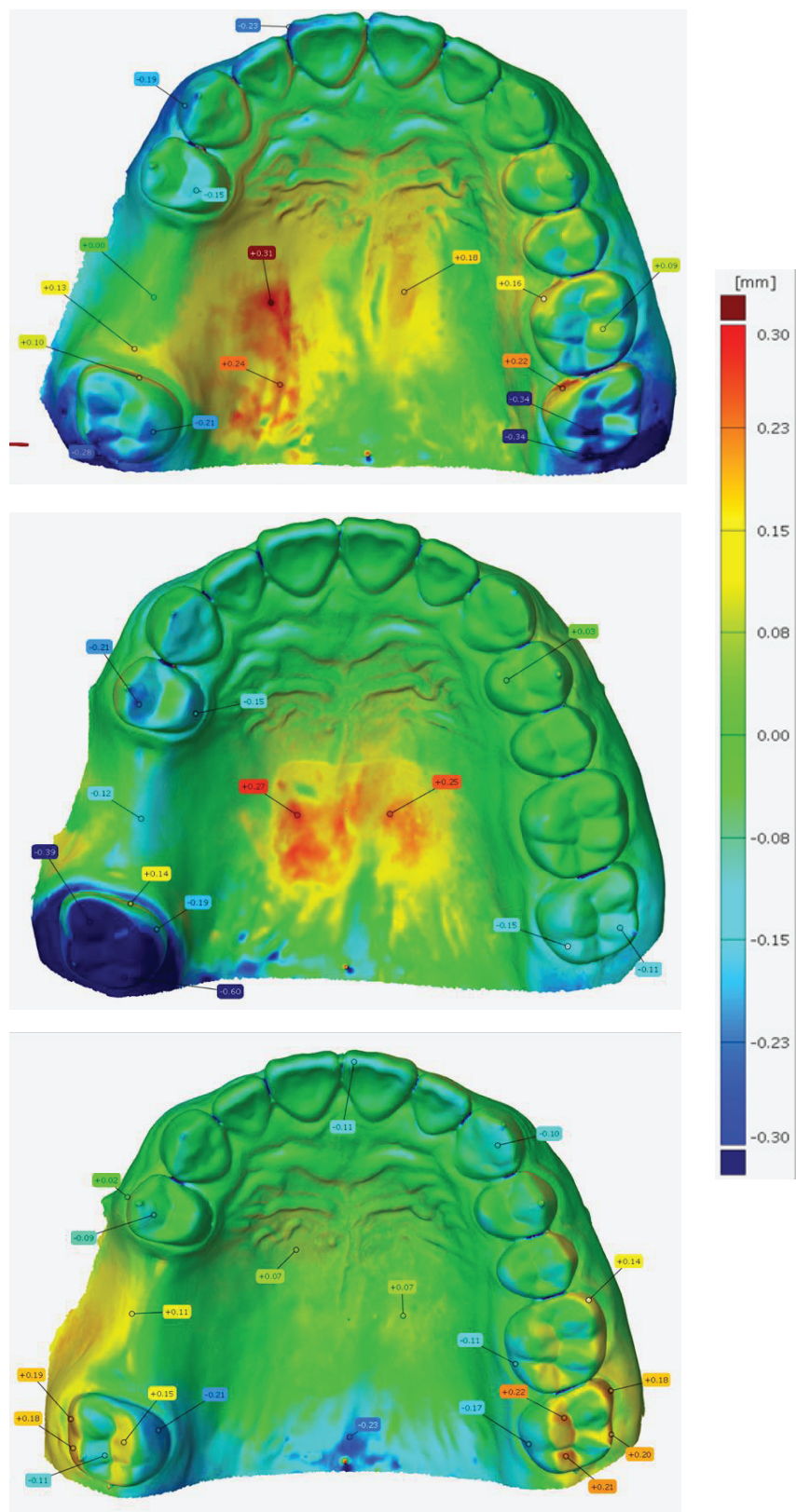


図 12-a. 基準データと未処理のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

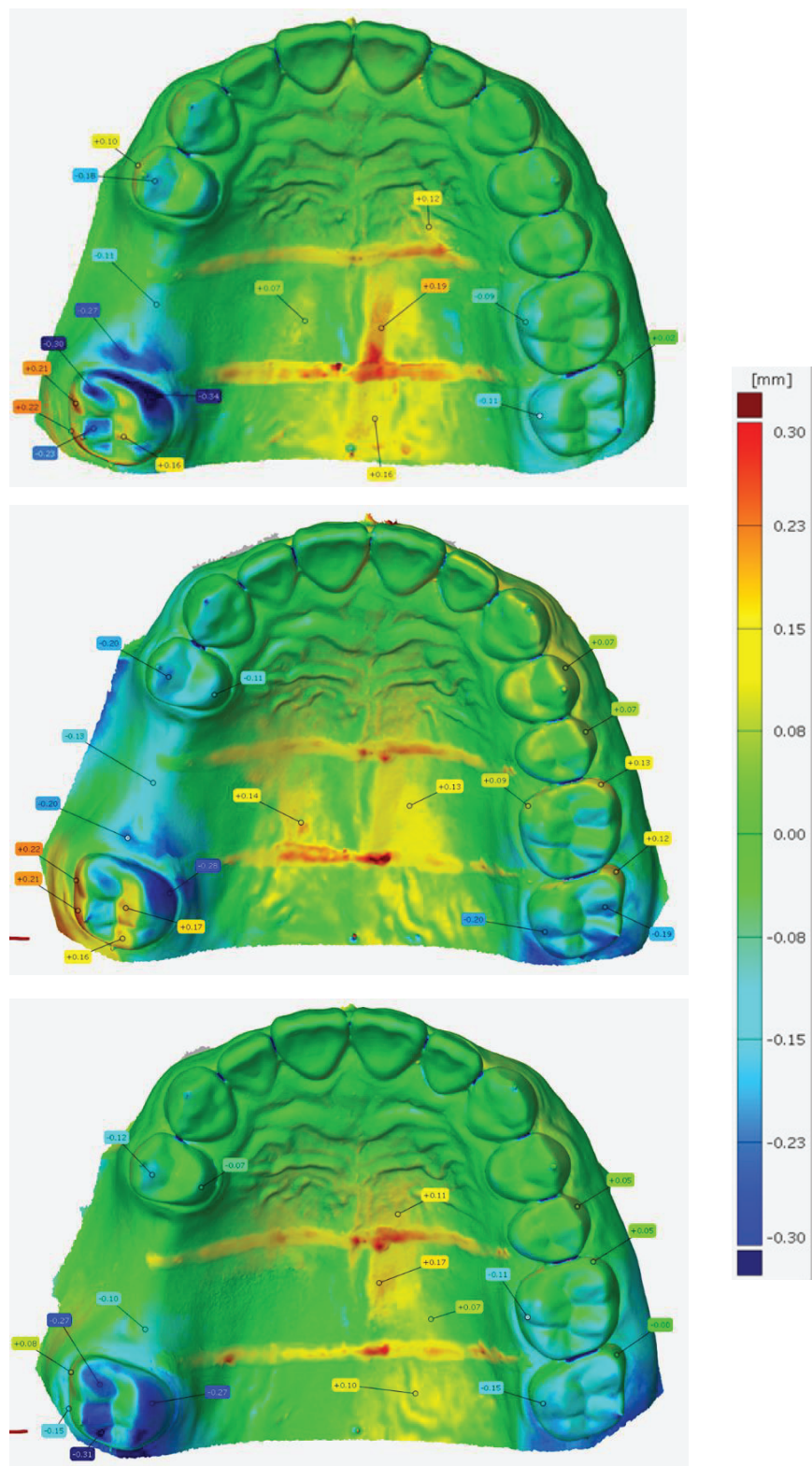


図 12-b. 基準データと CP-LR のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

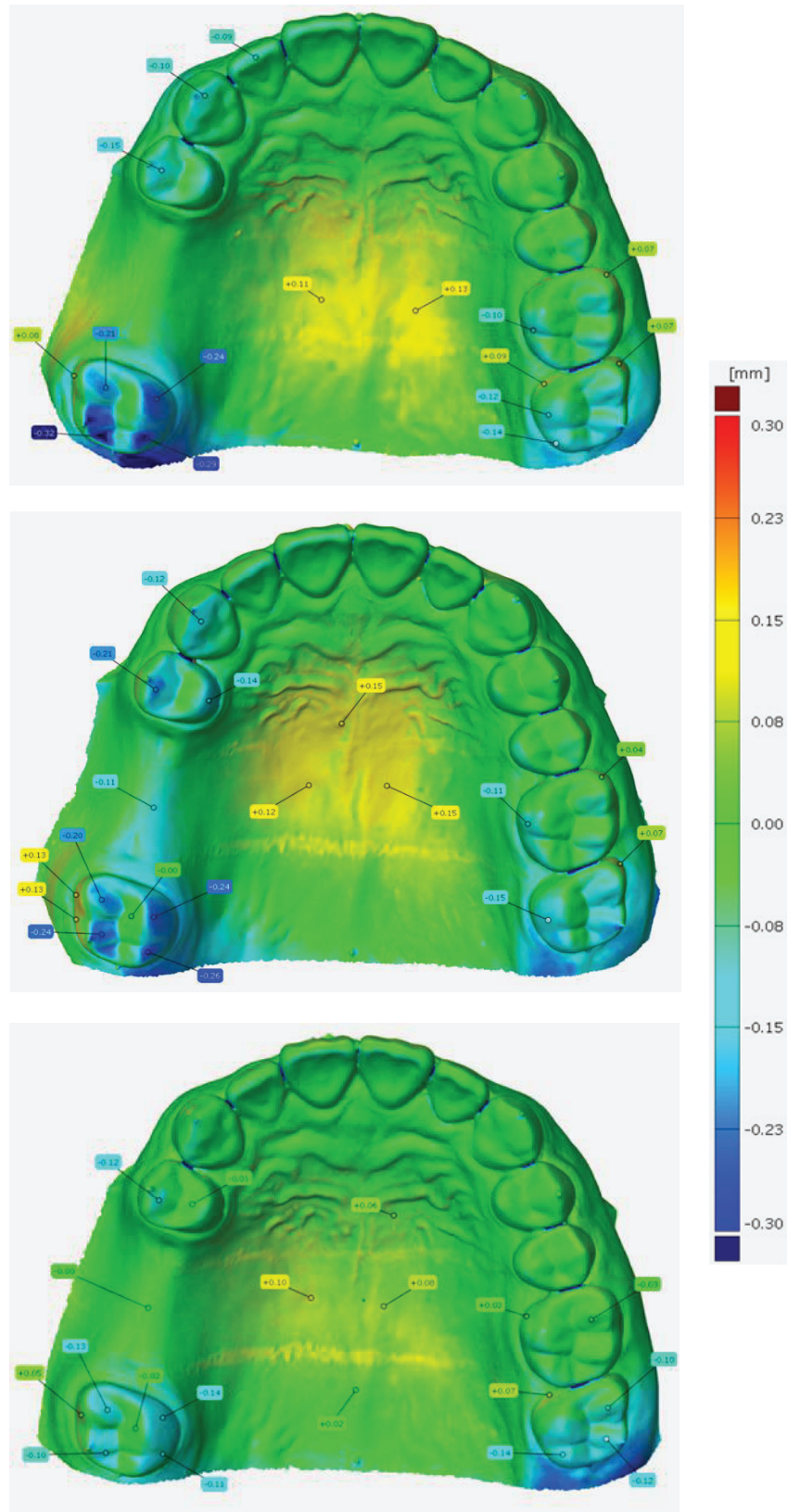


図 12-c. 基準データと SK-LR のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

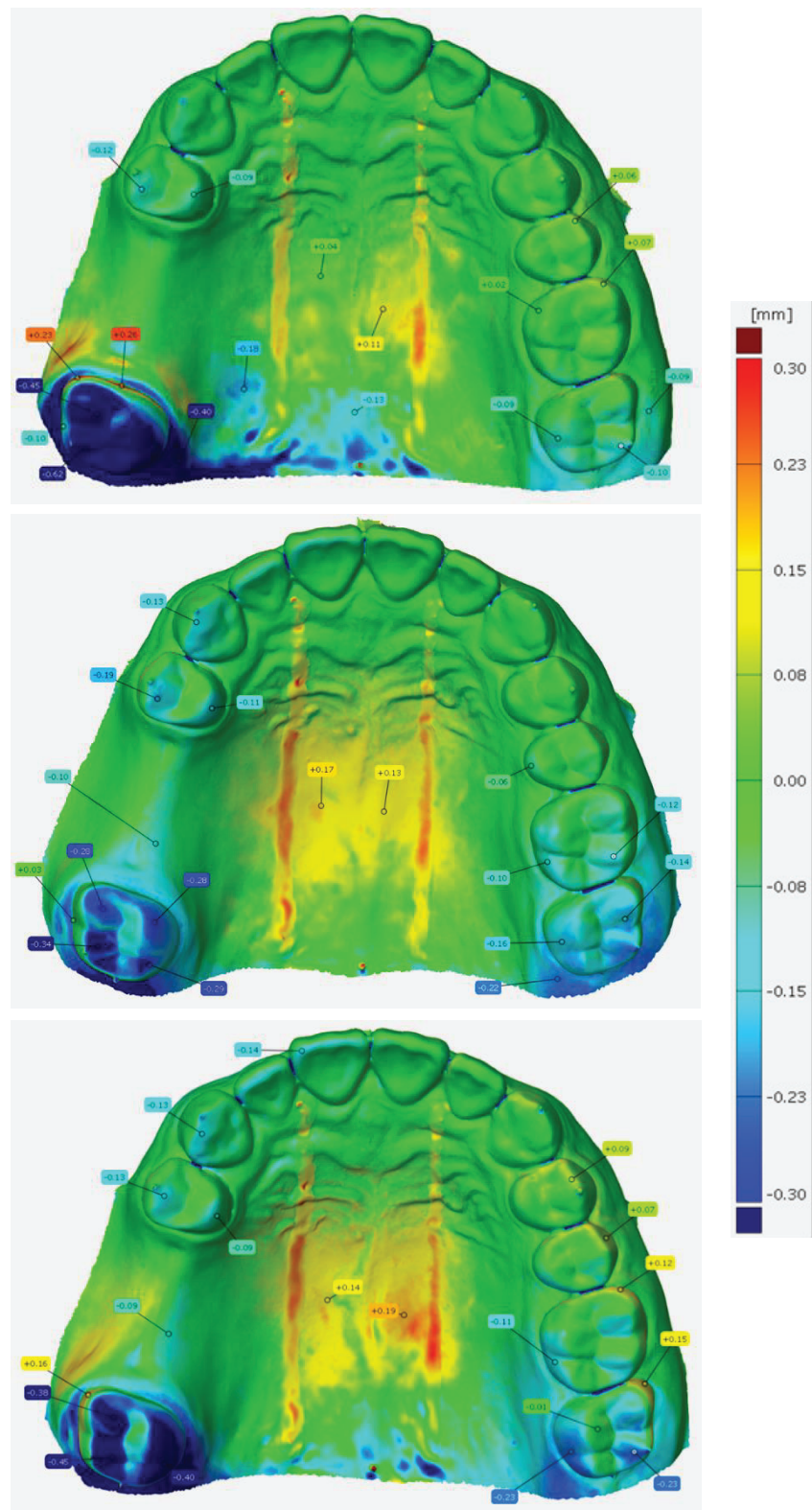


図 12-d. 基準データと CP-FB のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

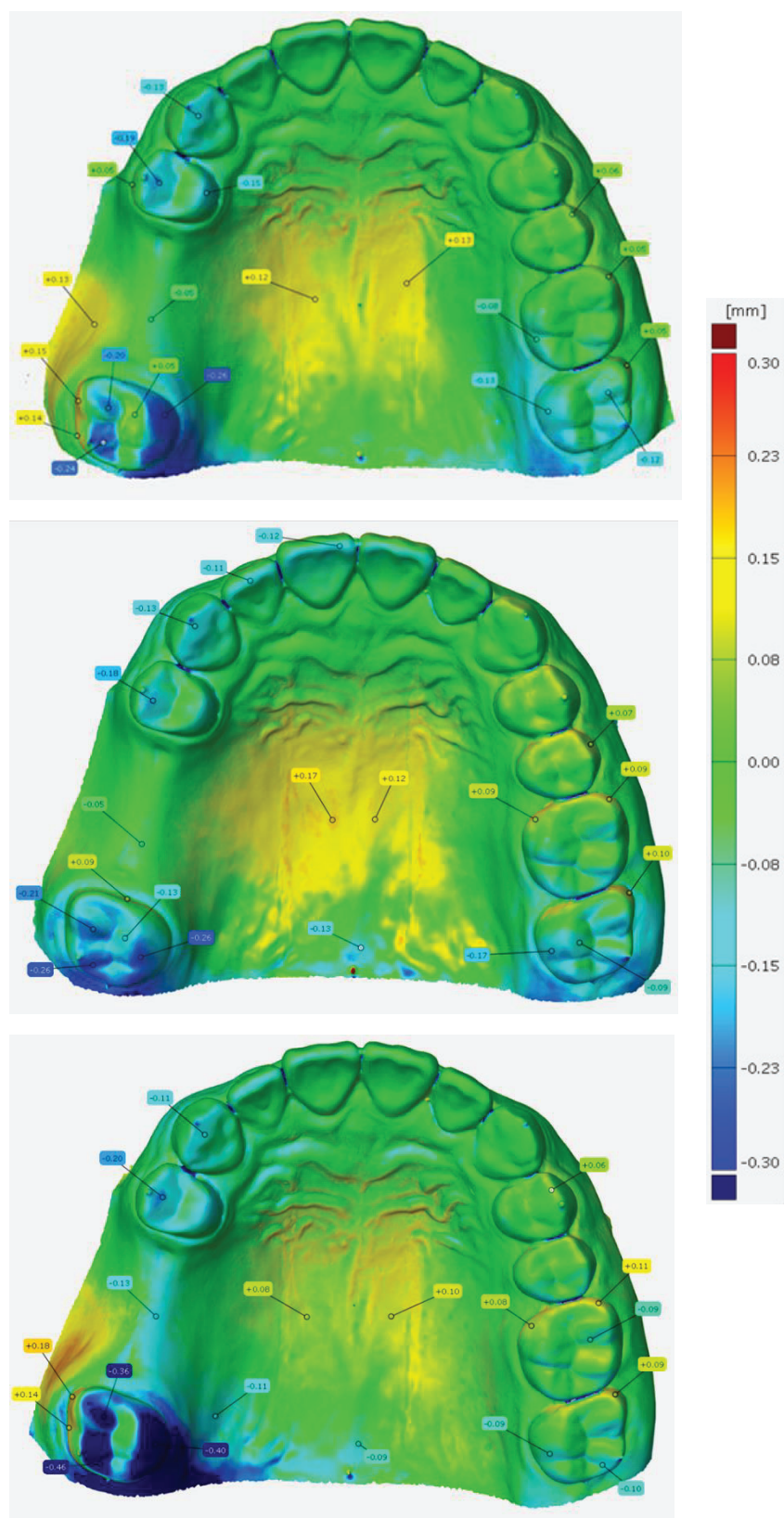


図 12-e. 基準データと SK-FB のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

第4節. 考察

近年、デジタルデンティストリーが飛躍的に進歩したことにより口腔内スキャナーは急速に開発が進み、徐々に臨床応用されてきている。Patzelt らは、口腔内スキャナーにより印象採得の全工程が終了する時間は従来のシリコーン印象法と比較して時間が短縮され効率が良いと報告しており²⁰⁾、口腔内スキャナーによる印象採得は患者負担の軽減や治療時間の短縮、材料費のコストカット等の利点があるため患者に対しても有用であるとされている。

口腔内スキャナーは石膏や印象材等の物理的な変形による影響を受けないことから、理論上は従来のシリコーン印象法より適合の良好な補綴装置を製作できるとされており^{21,22)}、今後、多数歯欠損症例や義歯への応用によって患者の更なる QOL の向上が期待されているが、全顎印象のような広範囲な撮影になると精確さが低下すると報告されている^{12,13)}。また、それを改善するような検討を行った報告も少ない。

そこで本実験では口蓋部にガイドラインを設けて口蓋部も含めて口腔内スキャナーにてスキャンし、スキャンの始点と終点を繋げるという新しい印象法を考案し、その印象法が上顎 2 歯欠損の全顎印象においてスキャンの真度と精度に与える影響を検討した。

まず、本実験では二点間距離の計測点として 0.6 mm のリテンションビーズを用いた。これは、今回用いた 3D 設計ソフトウェアが 2 点を自ら指定することで 2 点間距離を計測してくれる機能であったため、リテンションビーズの中心に計測点を指定することで 20 回の計測点を可能な限り同じ位置に打てるようにするためである。こうすることで 20 回の計測のばらつきが減少し、さらにその平均を測定値とすることでより正確な測定値を算出できると考えた。直径 10mm ほどの鋼球を模型に装着し、その球心間距離を計測するという方法もあるが²³⁾、歯列幅を計測したいという本実験の内容を考慮す

ると今回は本手法が有効であると考え、本実験ではリテンションビーズを用いることにした。

各測定距離の平均値と基準値を比較した結果、未処理を含む全ての印象法において小臼歯部と大臼歯部において歯列の横幅が大きくなる傾向を示し、大臼歯部において誤差は最も大きくなった。Sonらは、口腔内スキャナーで全顎印象を行った場合、大臼歯部に近づくにつれて誤差は大きくなると報告しており¹⁵⁾、本実験でも同様の結果を示した。また、Patzeltらは4種の口腔内スキャナーを用いて全顎印象の精確さを検証し、大臼歯部において歯列の横幅が拡大したと報告しており²¹⁾、この点についても本実験で同様の結果を得た。

その一方で、距離①から③の結果に反し、距離④と⑤では歯列の前後幅は小さくなる傾向を示した。また、距離④に比べ距離⑤では2倍以上の減少率を示した。この点に関しては、欠損歯部の有無やスキャン経路が関係する可能性が考えられるが、口腔内スキャナーによる全顎印象において歯列の前後幅について論じた報告は見受けられないため、欠損歯のない歯列やあらゆるスキャン経路を検証し、今後も更なる検討をしたいと考えている。

また本実験では、スキンマーカ―やボールペン型修正液でガイドラインを設け、それを指標としてスキャンを行いスキャンの始点と終点を繋げることで誤差が減少し、真度や精度を向上することができると考えたが、スキンマーカ―にて前後に2本のガイドラインを設ける方法SK-FBにおいて比較的眞度と精度が高くなる傾向が見られた。口腔内スキャナーによる光学印象は凹凸や色の変化の少ない粘膜部分で誤差を生じやすいと報告されており¹⁶⁾、口蓋中央部の不要な粘膜部のデータにより無駄な誤差が生じ、眞度や精度に影響を与えた可能が考えられる。歯列のみを撮影し、最後臼歯部付近の口蓋部のみにガイドラインを設けて撮影を行い、始点と終点を繋げれば歯列データの両端が規定されるため、理論上は同様の結果が得られる可能性があり、データ量も少なくなる

ため誤差が最小限に抑えられる可能性がある。口腔内スキャナーは撮影枚数が多いほど精度が増すわけではなく、むしろ撮影枚数が多い方がデータ量が増えるため誤差を発生させやすいという報告もある¹⁶⁾ため、今後の検討課題である。

3D データ評価ソフトウェアにより三次元的な評価を行った結果、SK-LR と SK-FB において口蓋部分や両最後臼歯部の偏差が減少する傾向を示し、スキンマーカで口蓋部にガイドラインを設けて口腔内スキャナーで光学印象を行い始点と終点を繋げることで、口蓋部や大臼歯部の偏差に影響を与える可能性が示唆された。Kattadiyil らは、口腔内スキャナーで印象採得を行い、大連結子を有した上顎部分床義歯を製作しているが²⁴⁾、本実験の手法を応用することで大連結子や床を要する技工物の口蓋部における適合を向上できる可能性が考えられる。

また、本実験ではガイドラインとしてスキンマーカとボールペン型修正液を用いた。光学印象は白い物体の方が容易にスキャンできるという特徴があり、また、修正液の主成分には酸化チタンが使用されておりレーザー光デスクトップ型スキャナーに用いられるスキャンパウダーと成分が似ているためガイドラインに適していると考えたが、結果的にボールペン型修正液でのガイドラインによる真度や精度の向上は認められなかった。その原因の一つとして、修正液の硬化した表面の光沢がスキャンに影響した可能性が考えられる。口腔内スキャナーは FMC やジルコニアクラウンなどの反射の強い研磨面を有する物体のスキャンは困難であるとされているため、修正液の硬化後の表面の光沢によって同様の現象が起きた可能性が考えられる。

レーザー光デスクトップ型スキャナーは開閉扉により外光を遮断し、対象物を一定の距離で固定して全体を内蔵カメラにより多方向から測定し STL データを作成するので術者の手技に左右される可能性は低い。口腔内スキャナーは術者の手技によって精度さに影響を与えることが報告されており²⁵⁾、この要因を排除するのは困難であるとされている。そのため、術者は口腔内スキャナーの使用に関して十分なトレーニングを行

う必要があり, 本実験でも術者の手技が影響し真度や精度が向上しなかった可能性も否定できない. 撮影時の口腔内スキャナーの動かし方や撮影距離のばらつきなどが精確さに影響を及ぼす可能性があるため, 術者は正確な操作方法を習得しなければならないとされている²⁾. 口腔内スキャナーによる全顎印象の精確さ向上のために今後もあらゆる可能性を考慮して, 更なる検討が必要であると考えられる.

第 5 節. 結論

本実験の結果, 口腔内スキャナーを用いた上顎右側臼歯部 2 歯欠損の全顎印象において, 口蓋部にガイドラインを設ける新しい印象法にて以下の結論を得た.

1. スキンマーカールを用いて両側の中切歯と側切歯の歯間部から咽頭方向に向かって口蓋部に前後に 2 本の線を引き, 口蓋部を含めてスキャンし始点と終点を繋げることで他の方法に比べ真度と精度を有意に向上させた.
2. 口蓋部にガイドラインを設けることで, 口蓋部や最後臼歯部の三次元的な変位量に影響を与えている傾向が見られた.

第Ⅱ章 口腔内スキャナーを用いた上顎臼歯部 4 歯 ブリッジの全顎光学印象における新しい印象法の検討

第 1 節. 序論

口腔内スキャナーは近年の劇的な進歩により幅広い症例に適応可能となり、クラウンのような単冠だけでなくブリッジ症例にも用いられている⁷⁾。しかし、ブリッジにおける適応症例は一般的に 3 歯までとされており、3 歯のブリッジやインプラント症例においては良好な適合を得たと報告されているが^{7,26)}、4 歯以上の多数歯欠損症例に対しての口腔内スキャナーによる光学印象法の真度や精度に関する報告は少なく、いまだ不明な点が多い。

4 歯以上のブリッジ症例に適応できない要因の一つとして、印象が広範囲になった際に生じる誤差が考えられる。全顎印象の場合、大臼歯部に近づくにつれ誤差が大きくなるとされているため¹⁵⁾、臼歯部のブリッジの場合にピッチングや不適合を起こす可能性が考えられる。さらに、ブリッジにおいては欠損歯粘膜部の印象採得は必須となるが、口腔内スキャナーによる印象においてはこのような粘膜部で誤差が生じやすいとされているため¹⁶⁾、粘膜部の誤差がブリッジの適合不良の一因となる可能性も考えられる。今後、口腔内スキャナーを用いて更なるロングスパンのブリッジ症例に対応していくためには、4 歯以上のブリッジ症例において支台歯間の印象の精確さを向上させる必要があると考えられる。

そこで本研究では、欠損歯部にガイドラインを設けて撮影するという口腔内スキャナーによる新しい印象法が上顎臼歯部 4 歯ブリッジ症例の全顎印象において支台歯間距離の真度と精度に与える影響を検討した。さらに、第 I 章と同様に 3D データ評価ソフ

トウェアによる三次元的な評価を行い,新しい印象法が支台歯や欠損歯粘膜部分に与える影響を検討した.

第 2 節. 材料および方法

2-1. 基準模型の作製

本実験では第 I 章で用いた模型 I の右側第一小白歯と第二大臼歯を, 支台歯形成された第一小白歯 (A55A-142, NISSIN) と第二大臼歯 (A55A-172, NISSIN) の支台歯模型歯に置き換えた 2 色レジン製模型 (E50-523, NISSIN) (以下, 模型 II) を使用した (図 13. a). 模型 II の右側第一小白歯支台歯の両咬頭頂, 右側第二大臼歯支台歯の両遠心頬側咬頭頂, 各支台歯近遠心面に 0.6 mm のリテンションビーズ (リテンションビーズ II L, GC) を付与し, 第 I 章の実験と同様に歯間部や歯頸部を歯科用ワックス (ジーシーパラフィンワックス, GC) で埋めて模型歯を固定した (図 13. b).

2-2. ガイドラインの記入

本実験ではガイドラインを設けていない未処理の模型 II (以下, 未処理) (図 14. a) と, 模型 II の欠損歯部にボールペン型修正液で近遠心的に 2 本の線を引いた模型 (以下, CP-MD) (図 14. b), スキンマーカーで近遠心的に 2 本の線を引いた模型 (以下, SK-MD) (図 14. c), ボールペン型修正液で頬舌的に 2 本の線を引いた模型 (以下, CP-BP) (図 14. d), スキンマーカーで頬舌的に 2 本の線を引いた模型 (以下, SK-BP) (図 14. e) の 5 種類の模型を用意した. (図 14)

2-3. 口腔内スキャナーによるスキャン手順と取得データの三次元化

本実験でも第 I 章の実験と同様の口腔内スキャナー（Trophy 3DI Pro, Trophy Radiology Japan）を使用し，実験に用いた各模型も第 I 章と同様に歯科用マネキンファントムに装着してスキャンを行った．また，スキャン経路も第 I 章と同様の経路にて図 14 の 5 種類の条件下で全顎印象を行い，各データは STL データに変換して出力した．撮影は各条件下で 10 回ずつ行い，各条件で 10 個ずつのスキャンデータを得た．

2-4. 計測箇所と計測方法

第 I 章の実験と同様に出力した STL ファイルを 3D 設計ソフトウェア（3-matic, Materialise）にインポートし，基準模型作製時に付与した各リテンションビーズを計測点として，各支台歯の頬側咬頭頂間（以下，距離①），舌側咬頭頂間（以下，距離②），第一小臼歯支台歯遠心面と第二大臼歯支台歯近心面間（以下，距離③），第一小臼歯支台歯近心面と第二大臼歯支台歯遠心面間（以下，距離④）の二点間直線距離を計測した（図 15. a）．それぞれのリテンションビーズの中心同士の距離を算出することを取り決めとして，①から④の距離を 20 回ずつ計測し，20 回の平均をその距離の測定値とした．そしてこの作業を 10 個全てのデータで行い，各距離において 10 個の測定値を算出した．

2-5. 基準データの作成と基準値の算出

本実験でも，第 I 章と同様の方法で 10 個の基準データを作成し，距離①から距離④それぞれの基準値を算出した（図 15. b）.

2-6 各スキャンデータの三次元的評価

第 I 章と同様に，各印象法で得た STL データと基準データを 3D データ評価ソフトウェア（GOM inspect, GOM）にインポートし，本ソフトウェアのベストフィットアルゴリズム機能を使用することで 2 つのデータの重ね合わせを行い，各データの表面偏差をカラーマップにより表示した．変位量を表すカラーバーも同じく最大値を 0.3mm，最小値を-0.3mm とした．

2-7 統計処理

第 I 章と同様に，統計処理には統計解析ソフトウェア（SPSS Statistic 24.0, IBM Japan）を用いた．ガイドラインを設けた要因の評価には二元配置分散分析を行い，各印象法間の統計処理には Scheffe の多重比較法を行った．全ての統計処理において有意水準は 5%とした．

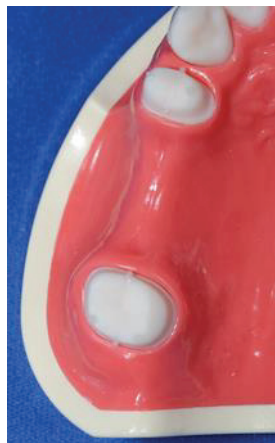


(a)



(b)

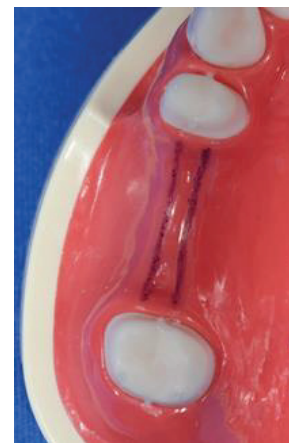
図 13. (a)基準模型Ⅱ / (b)付与したリテンションビーズの拡大図



(a)未処理



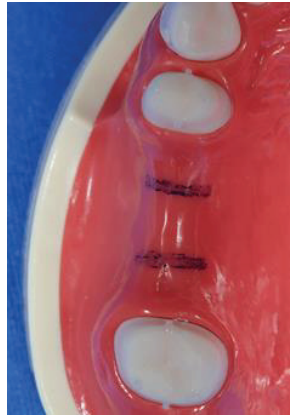
(b)CP-MD



(c)SK-MD



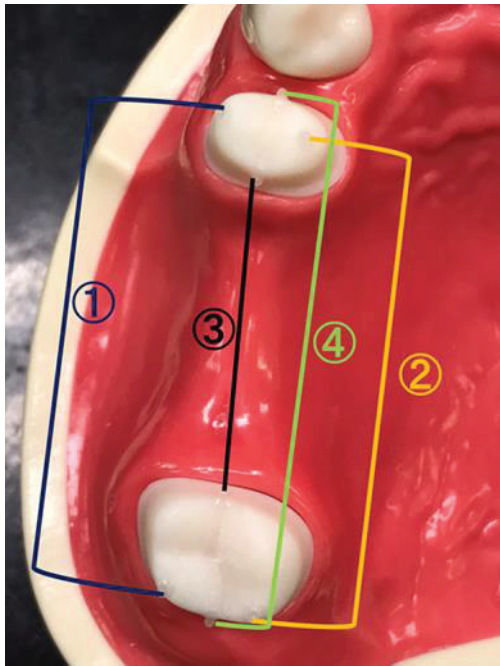
(d)CP-BP



(e)SK-BP

図 14：実験に用いた 5 種類の模型 II

(a) 未処理：ガイドラインを設けていない未処理の模型 II，(b) CP-MD：欠損歯部にボールペン型修正液で近遠心的に 2 本の線を引いた模型，(c) SK-MD：欠損歯部にスキンマーカで頬舌的に 2 本の線を引いた模型，(d) CP-BP：欠損歯部にボールペン型修正液で頬舌的に 2 本の線を引いた模型，(e) SK-BP：欠損歯部にスキンマーカで頬舌的に 2 本の線を引いた模型



(a)

	基準値 (mm)
距離①	30.3
距離②	30.4
距離③	19.4
距離④	34.5

(b)

図 15 : (a) 測定箇所

- ①支台歯の両頬側咬頭頂間の直線距離
- ②支台歯の両舌側咬頭頂間の直線距離
- ③第一小白歯支台歯遠心面と第二大臼歯支台歯近心面間の直線距離
- ④第一小白歯支台歯近心面と第二大臼歯支台歯遠心面間の直線距離

(b) 各距離の基準値

第3節. 結果

3-1 基準値と各測定距離の平均値を比較した際の増減率

各印象法による距離①から④の平均値を算出した結果、未処理：①30.2, ②30.4, ③19.3, ④34.4, CP-MD：①30.0, ②30.3, ③19.5, ④34.2, SK-MD：①30.2, ②30.4, ③19.4, ④34.4, CP-BP：①30.0, ②30.3, ③19.5, ④34.2, SK-BP：①30.2, ②30.4, ③19.6, ④34.4 (単位はmm) となった。(図 19)

距離①から④の基準値を 100%とした時の各距離の平均値の増減率を算出した結果、ほとんどの方法が未処理と同等の結果となる中で、スキンマーカを用いて近遠心的にガイドラインを設けた方法 SK-MD において、未処理に比べ全ての距離において平均値が基準値に最も近い結果を示した(図 16)。SK-MD 以外の方法においては SK-BP で距離③が最大で 1.09%大きくなり、CP-BP の距離④が最大で 0.987%小さくなるなど支台歯間の距離に大きな影響を与えていることが確認された。

3-2 各測定距離におけるそれぞれの印象法の真度

本実験における真度を検討するため、基準値と距離①から④における平均値の誤差の絶対値を平均して算出した結果、未処理：①113.0, ②82.3, ③138.3, ④159.1, CP-MD：①314.7, ②119.9, ③191.5, ④254.1, SK-MD：①98.4, ②66.8, ③51.2, ④93.0, CP-BP：①270.4, ②113.0, ③121.4, ④340.5, SK-BP：①192.4, ②80.7, ③211.5, ④144.6 (単位は μm) となった。

①から④の各距離の平均値と基準値を比較した時の誤差である真度を検討した結果 (図 17), 統計学的な有意差がない距離も存在したが, 全ての距離において未処理に比べ SK-MD において真度が高くなる傾向を示した。また, CP-MD や CP-BP においては未処理より真度が劣る傾向を示し, 支台歯間の真度に悪影響を及ぼしている可能性が示唆された。

欠損歯部にガイドラインを設けたことによる影響を検討するために真度において二元配置分散分析を行った結果 (図 19), スキンマーカーで近遠心的に 2 本のガイドラインを設けた方法において他のスキャン方法に比べて比較的真度が高くなる傾向を示した。ボールペン型修正液でガイドラインを設けた CP-MD と CP-BP においては未処理と比較して真度が劣る結果となり, ガイドラインが悪影響を与える結果を示した。

3-3 各測定距離におけるそれぞれの印象法の精度

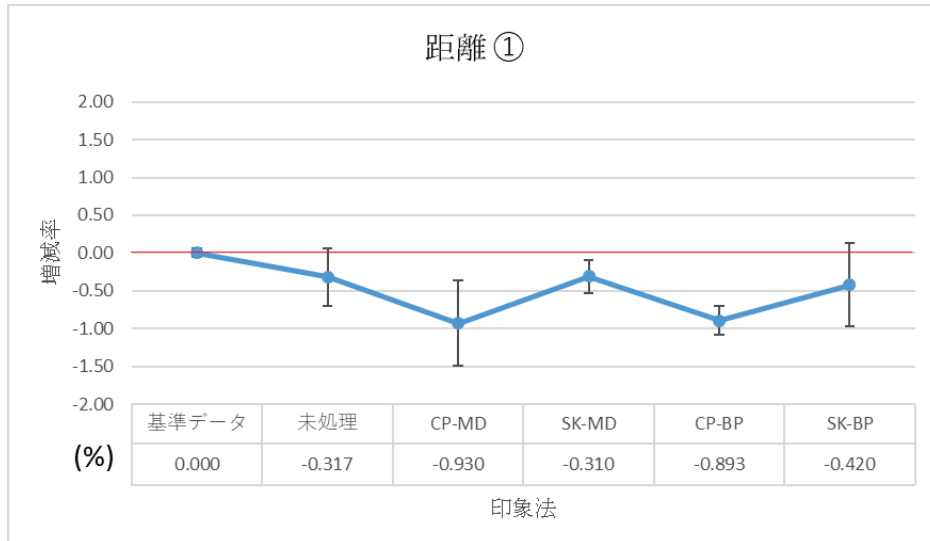
精度を検証するため、距離①から⑤の平均値とそれぞれの測定値の誤差の絶対値を平均して算出した結果、未処理：①100.0, ②75.8, ③107.7, ④111.3, CP-MD：①111.9, ②112.2, ③150.7, ④117.8, SK-MD：①57.9, ②64.5, ③51.2, ④72.5, CP-BP：①45.1, ②68.0, ③95.4, ④90.5, SK-BP：①139.4, ②85.4, ③106.4, ④120.8（単位は μm ）となった。

①から④のそれぞれの平均値と各距離の10個の測定値を比較し、各印象方法による精度を検証した結果（図18）、各距離において未処理に比べSK-MDやCP-BPでグラフ上にて精度が高くなる傾向が認められ、その中でもスキンマーカで近遠心的にガイドラインを設けたSK-MDにおいて統計学的に有意に精度が高くなった。

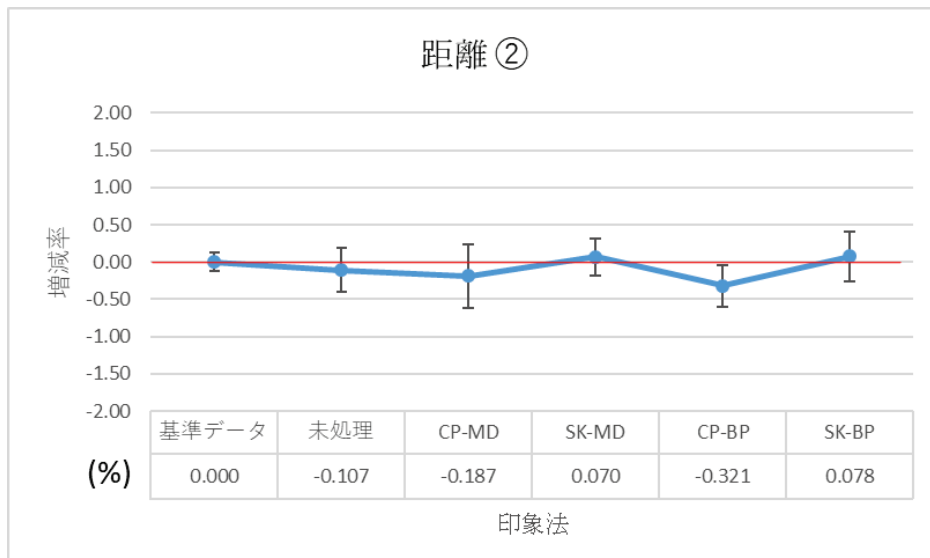
欠損歯部にガイドラインを設けたことによる影響を検討するために精度において二元配置分散分析を行った結果（図19）、スキンマーカで近遠心的に2本のガイドラインを設けた方法において他のスキャン方法に比べて比較的精度が高くなる傾向を示した。また、ボールペン型修正液でガイドラインを設けたCP-MDにおいては未処理と比較して精度が劣る結果となり、真度と同様にガイドラインが悪影響を与える結果を示した。

3-4 基準データとそれぞれの印象法で得た 3D データの三次元的比較

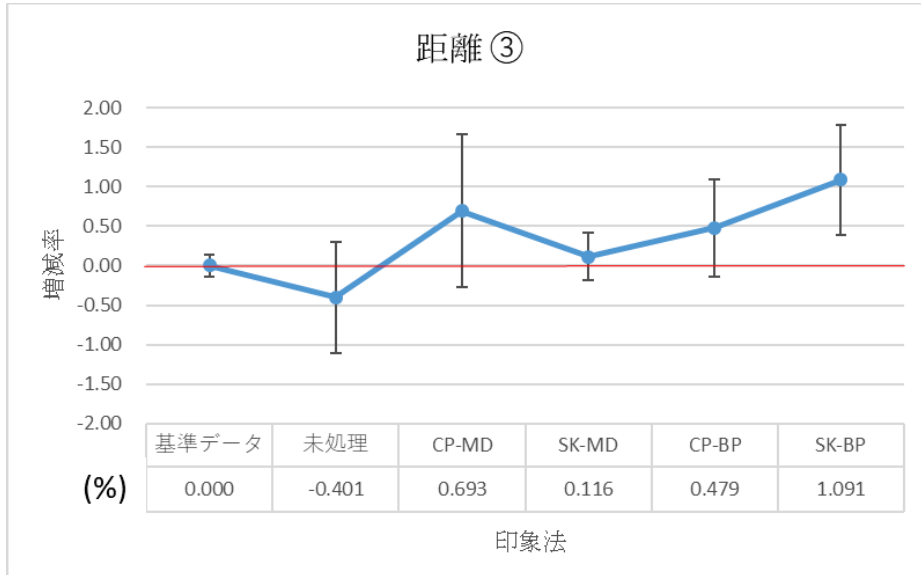
基準データと各撮影方法で得たデータを 3D データ評価ソフトウェアのベストフィットアルゴリズム機能により重ね合わせを行い、各方法の表面偏差を調べた結果(図 20)、未処理においてはスキヤンの始点である右側第二大臼歯の支台歯近心面に最大で 0.3 mm、遠心面に最大で-4.8 mmの変位が確認された(図 20. a)。CP-MD や CP-BP においては(図 20. b,d)、CP-MD の第二大臼歯支台歯近心面に最大 0.37 mm、CP-BP の第二大臼歯支台歯頬側面で最大 0.27 mmの大きな変位が確認された。ガイドライン周辺にも CP-MD で最大-0.26 mmの大きな変位があり、未処理に比べて全体的な変位量が大きくなる傾向があった。SK-BP においては(図 20.e)、未処理と同等、もしくは未処理に比べ良い結果を示すデータもあるという状況であったが、第二大臼歯支台歯部で最大-0.41 mmの変位を確認できるものもあった。SK-MD においては(図 20. c)、第二大臼歯支台歯側面で最大 0.15 mm、咬合面部で最大-0.25 mmとなり、ほとんどのデータで未処理に比べて第二大臼歯支台歯や欠損歯部の変位量が大きく減少する傾向が確認できた。



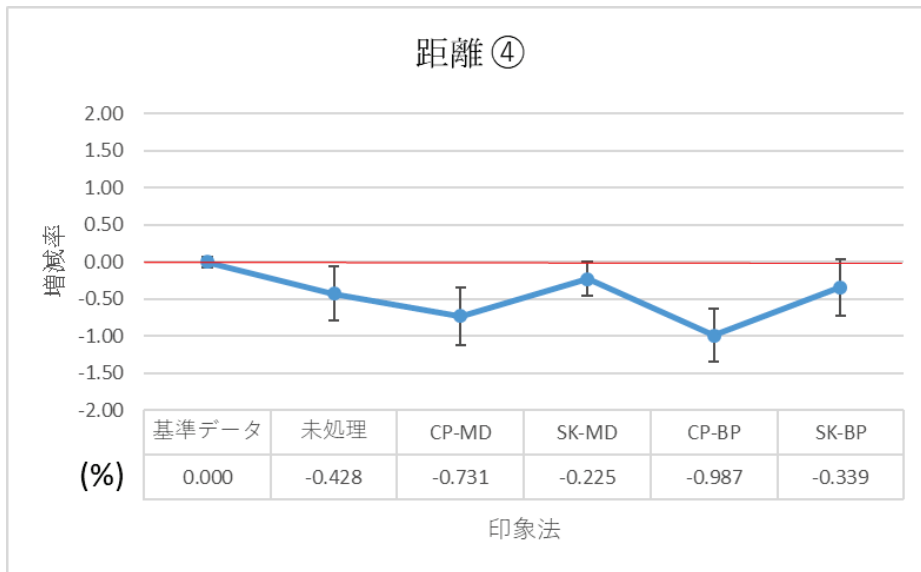
(a)



(b)



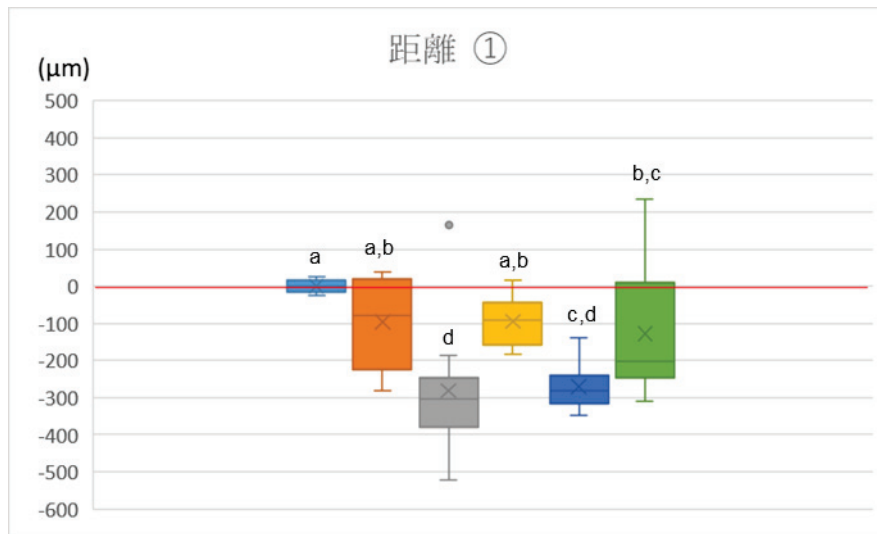
(c)



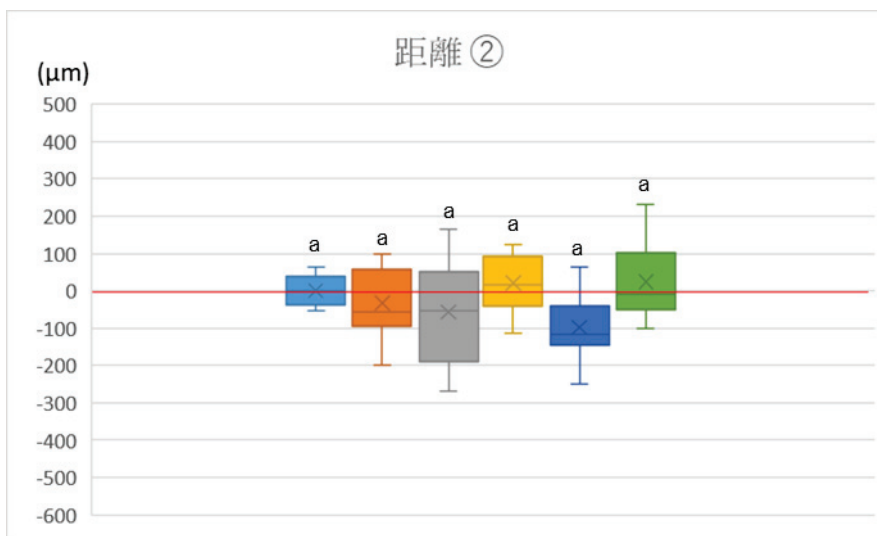
(d)

図 16. 基準値と各測定距離の平均値を比較した際の増減率

(a)距離① (b)距離② (c)距離③ (d)距離④



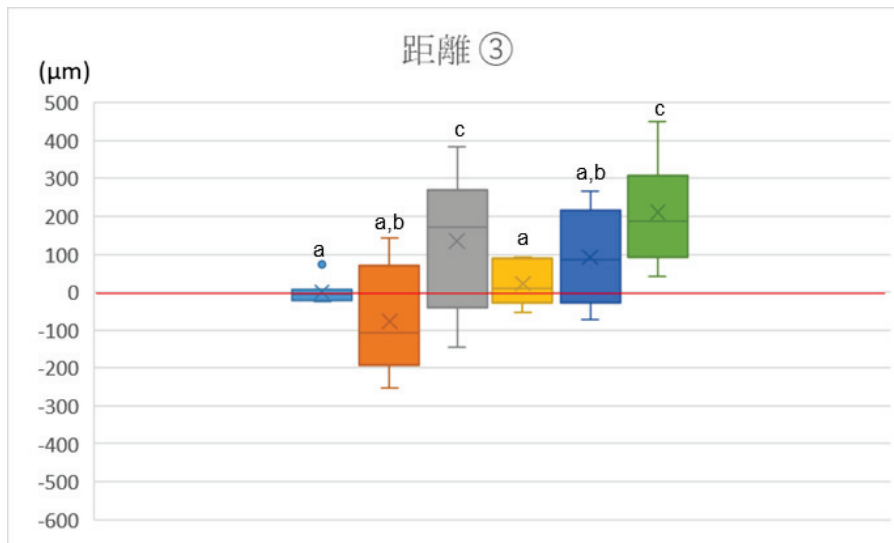
(a)



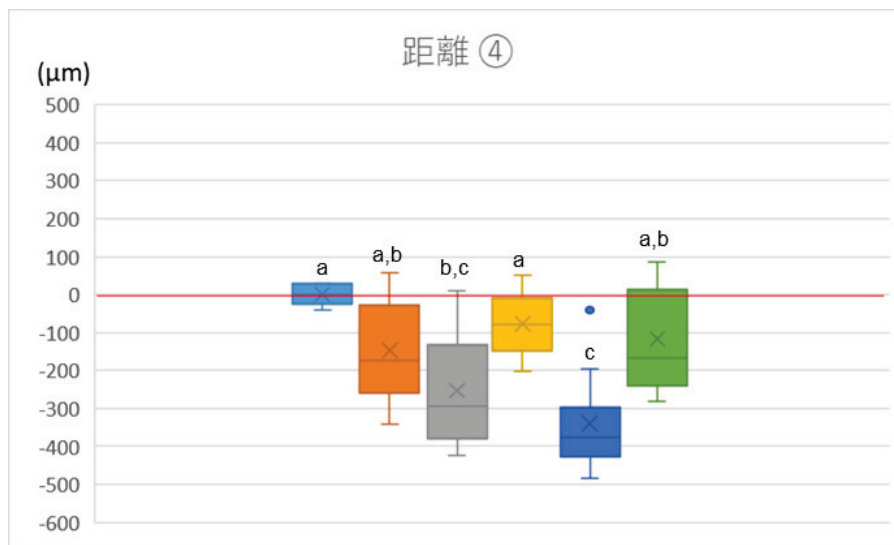
(b)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-MD ■ SK-MD ■ CP-BP ■ SK-BP

* 同一文字間は有意差なし (p < 0.05)



(c)



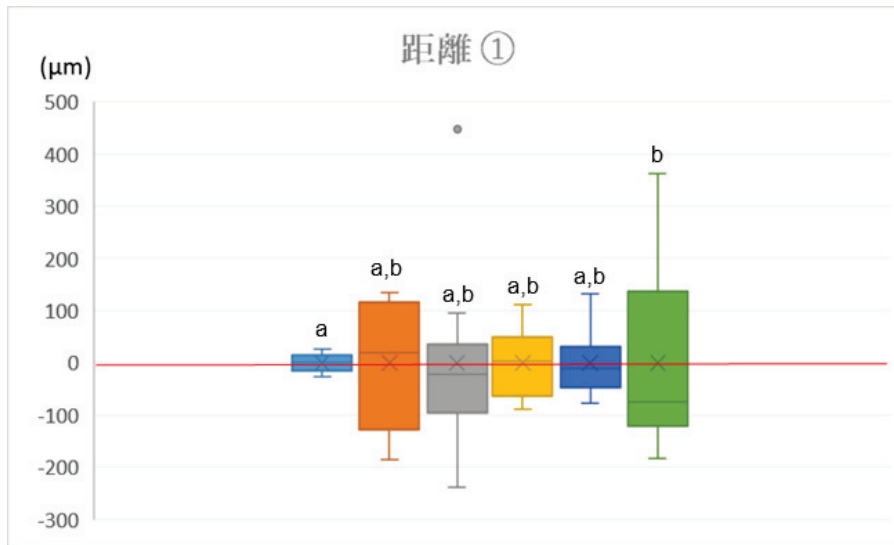
(d)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-MD ■ SK-MD ■ CP-BP ■ SK-BP

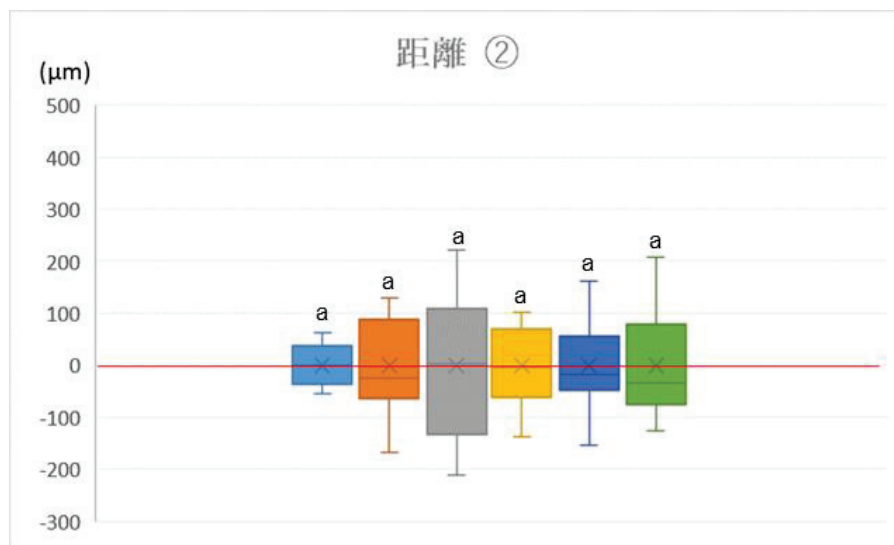
図 17. 各測定距離におけるそれぞれの印象方法の真度

- (a) 距離①における各印象方法の真度 (b) 距離②における各印象方法の真度
 (c) 距離③における各印象方法の真度 (d) 距離④における各印象方法の真度

* 同一文字間は無差なし ($p < 0.05$)



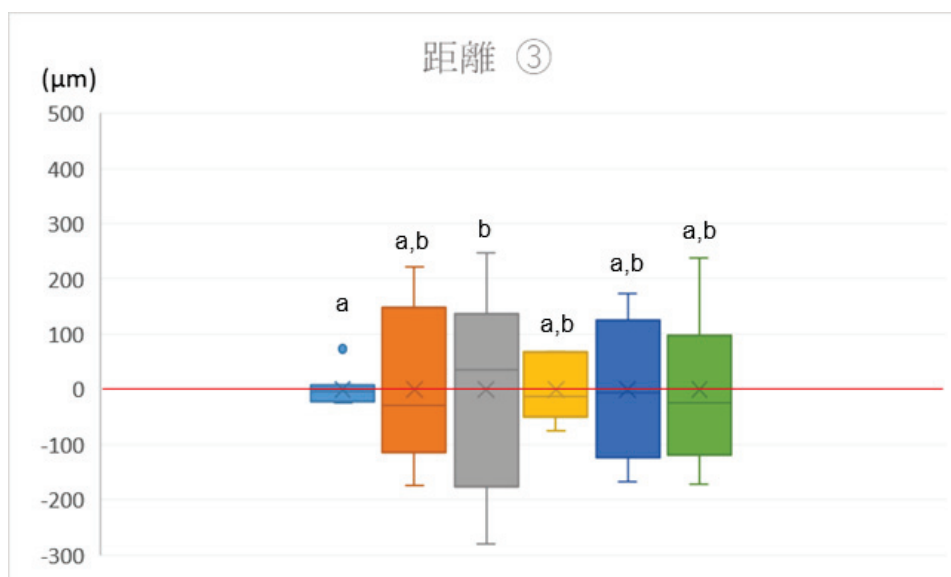
(a)



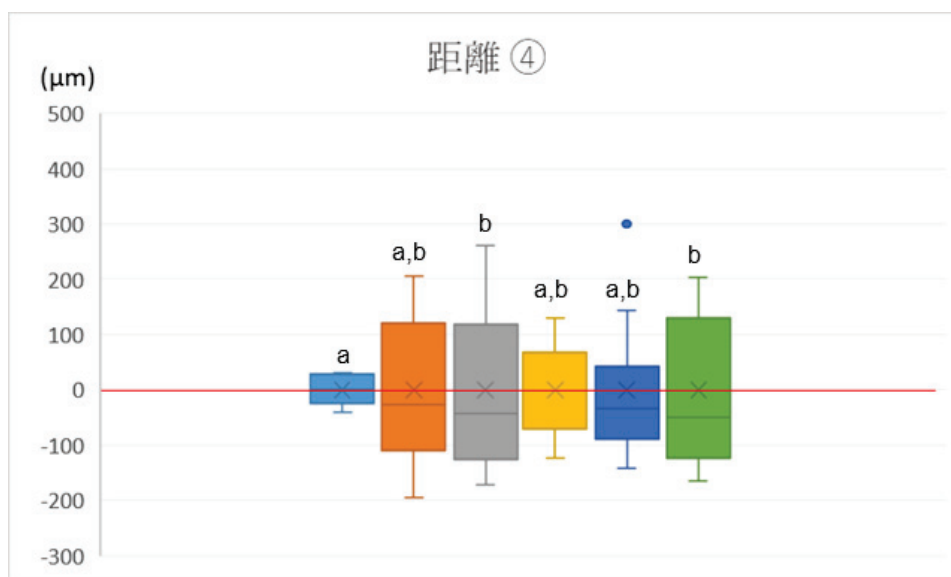
(b)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-MD ■ SK-MD ■ CP-BP ■ SK-BP

* 同一文字間は無差なし ($p < 0.05$)



(c)



(d)

■ 基準データ ■ 未処理 ■ CP-MD ■ SK-MD ■ CP-BP ■ SK-BP

図 18. 各測定距離におけるそれぞれの印象方法の精度

(a) 距離①における各印象方法の精度 (b) 距離②における各印象方法の精度

(c) 距離③における各印象方法の精度 (d) 距離④における各印象方法の精度

* 同一文字間は無意味差なし ($p < 0.05$)

	平均値 中央値 (最小値-最大値) (mm)					
	距離 ①	距離 ②	距離 ③	距離 ④	二元配置分散分析	
					真度	精度
基準データ	30.3 (30.3) (30.3-30.3)	30.4 (30.4) (30.3-30.4)	19.4 (19.4) (19.4-19.4)	34.5 (34.5) (34.5-34.5)	a	a
未処理	30.2 (30.2) (30.0-30.3)	30.4 (30.3) (30.2-30.5)	19.3 (19.3) (19.1-19.5)	34.4 (34.3) (34.2-34.6)	b,c	b,c,d
CP-MD	30.0 (30.0) (29.8-30.5)	30.3 (30.3) (30.1-30.5)	19.5 (19.5) (19.2-19.8)	34.2 (34.2) (34.1-34.5)	d	d
SK-MD	30.2 (30.2) (30.1-30.3)	30.4 (30.4) (30.3-30.5)	19.4 (19.4) (19.3-19.5)	34.4 (34.4) (34.3-34.6)	a,b	a,b
CP-BP	30.0 (30.0) (29.9-30.2)	30.3 (30.3) (30.1-30.4)	19.5 (19.5) (19.3-19.6)	34.2 (34.1) (34.0-34.5)	d	b,c
SK-BP	30.2 (30.1) (30.0-30.5)	30.4 (30.4) (30.3-30.6)	19.6 (19.6) (19.4-19.8)	34.4 (34.3) (34.2-34.6)	c,d	c,d

図 19. 二元配置分散分析による結果

* 同一文字間は有意差なし ($p < 0.05$)

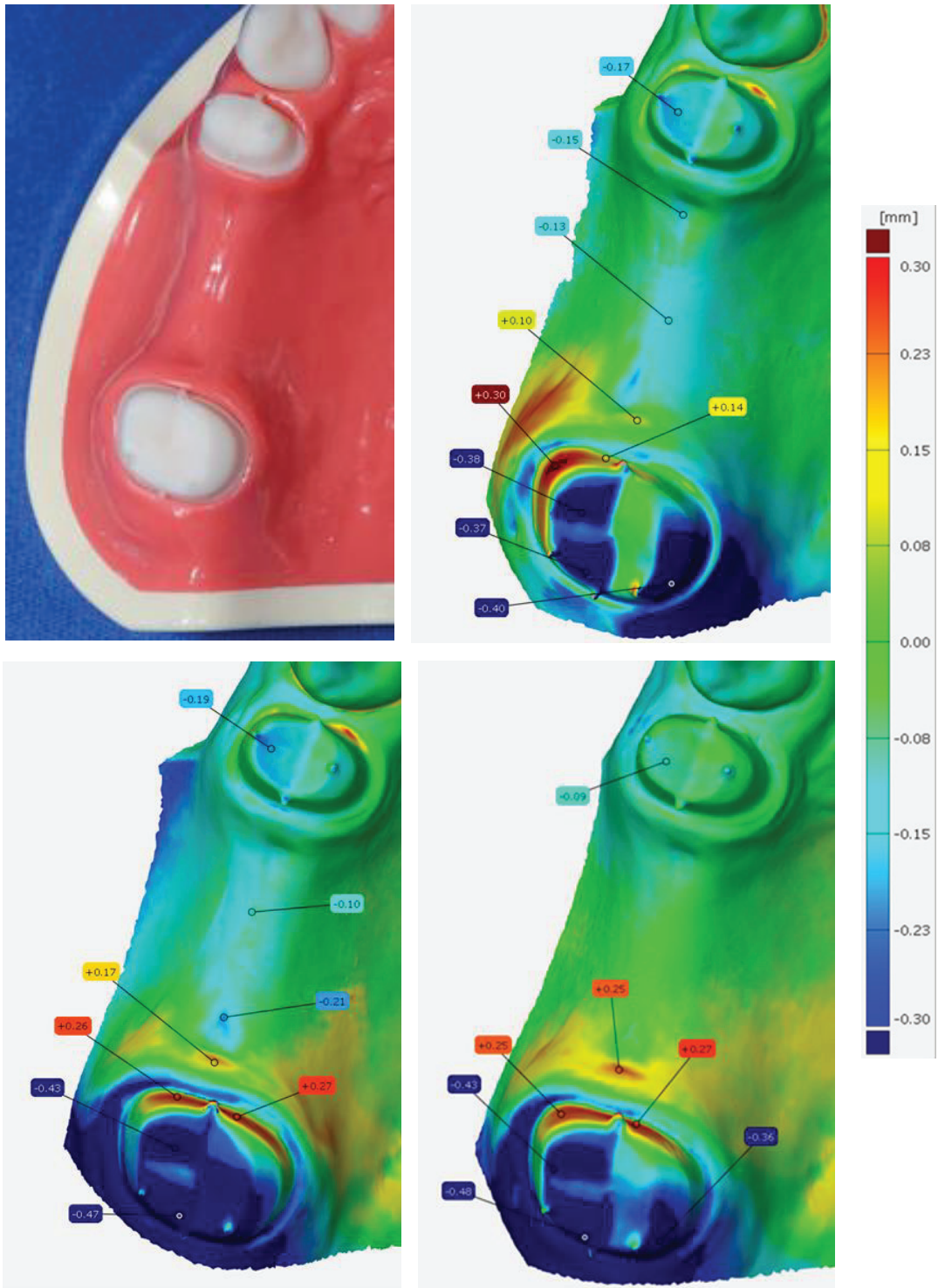


図 20-a. 基準データと未処理のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例の
 カラーマップ

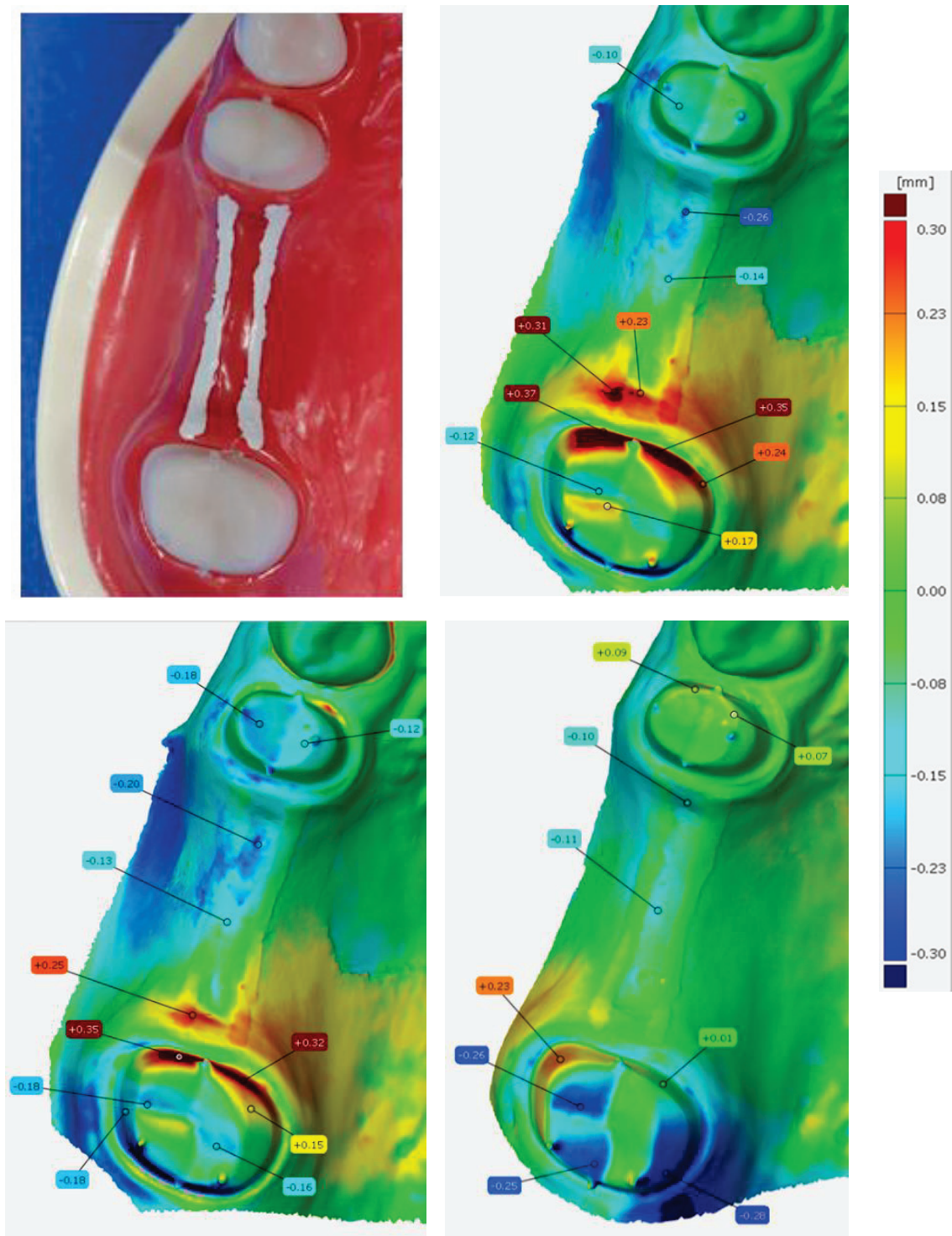


図 20-b. 基準データと CP-MD のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

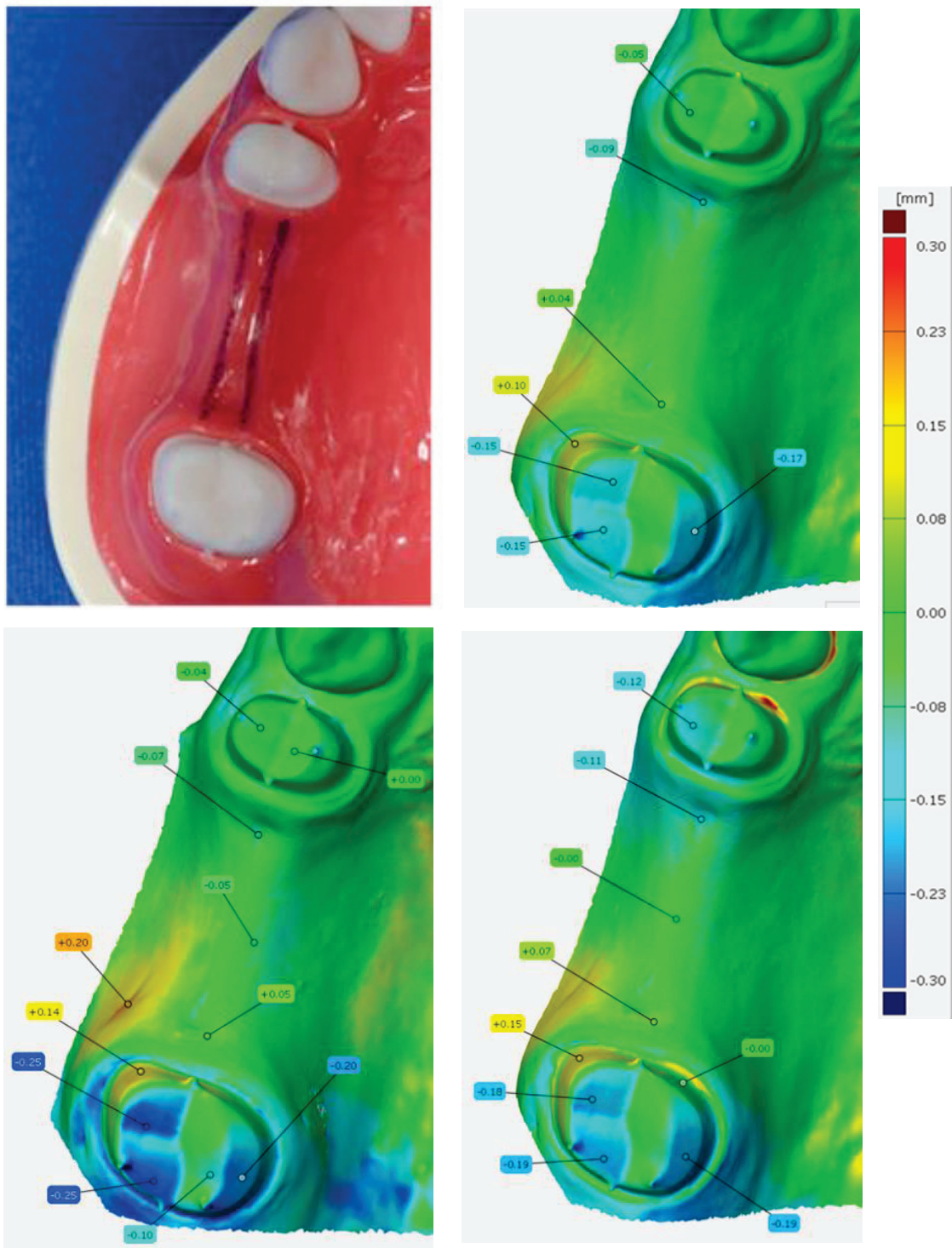


図 20-c. 基準データと SK-MD のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

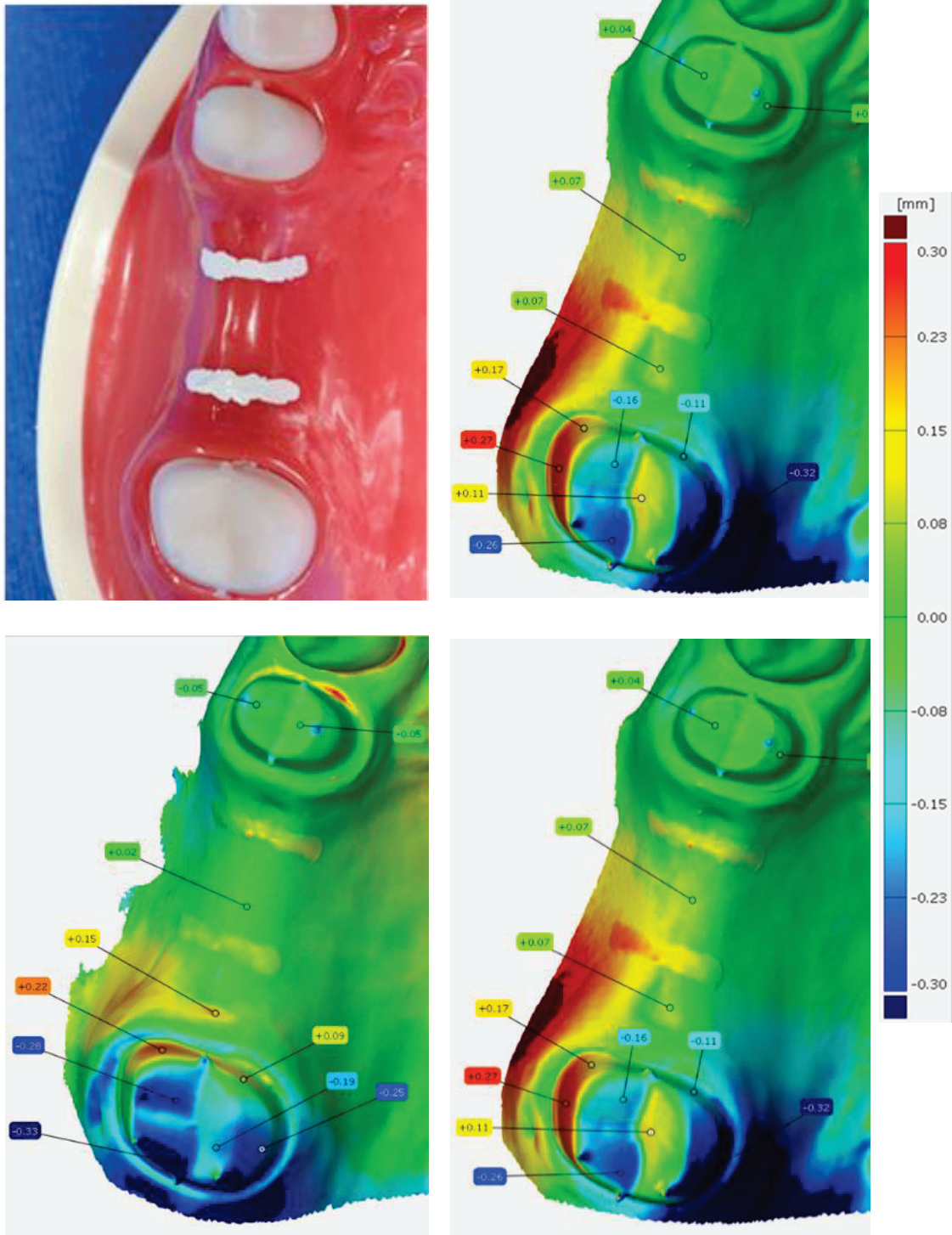


図 20-d. 基準データと CP-BP のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

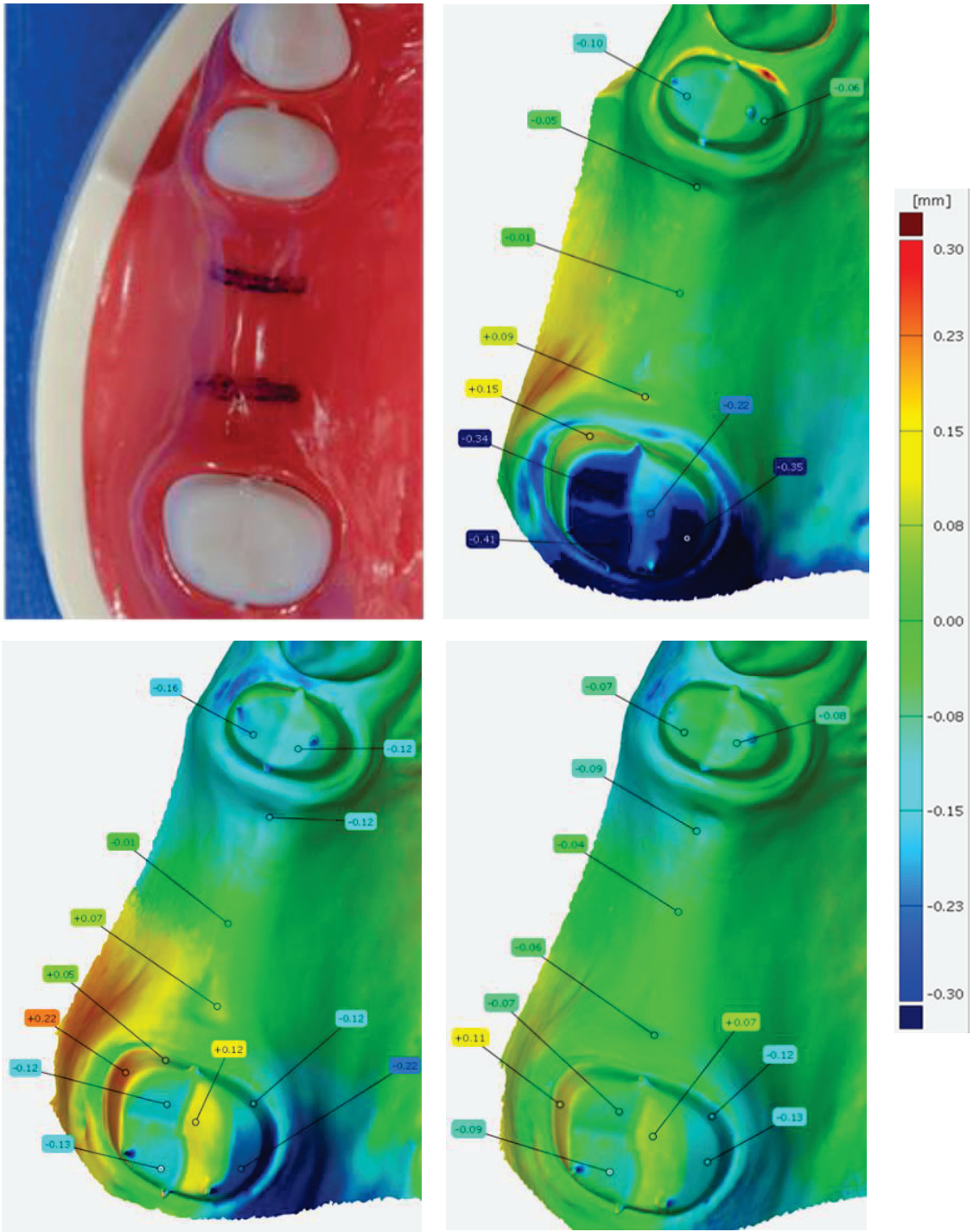


図 20-e. 基準データと SK-BP のスキャンデータを三次元的に比較した 3 例のカラーマップ

第4節. 考察

精密な補綴物の製作には印象採得において高い真度と精度が要求される。近年の目覚ましい改良・開発により、口腔内スキャナーは幅広い症例に適応可能となった。少数歯のインプラント症例やブリッジ症例にも用いられるようになり、3歯のブリッジやインプラント症例において良好な適合を得たと報告されている^{7, 26)}。

しかし、口腔内スキャナーによるブリッジの適応症例は一般的に3歯までとされており、実際の臨床では3歯を超える欠損症例もあり、口腔内スキャナーが応用可能かどうかは不明である。4歯以上のブリッジ症例に関しては、4歯相当の距離を有した支台装置や金属性の模型を用いて検討を行った報告が数例見受けられるが^{27, 28)}、いまだ不明な点が多いのが現状である。

4歯以上のブリッジ症例に適応できない要因の一つとして、印象が広範囲になった際に生じる誤差が考えられる。全顎印象の場合、大臼歯部に近づくにつれ誤差が大きくなるとされているため¹⁵⁾、臼歯部のブリッジの場合にピッチングや不適合を起こす可能性が考えられる。さらに、ブリッジにおいてはポンティック相当部である欠損歯粘膜部の印象採得は必須となるが、このような粘膜部では誤差が生じやすいとされているために¹⁶⁾、粘膜部の誤差がブリッジの適合不良の要因となる可能性も考えられる。今後、口腔内スキャナーを用いて更なるロングスパンのブリッジ症例に対応していくためには、4歯以上のブリッジ症例において支台歯部分や欠損歯部の印象の精確さを向上させる必要があると考えられる。

そこで本研究では、更なる多数歯欠損症例への対応を見越して、上顎右側臼歯部4歯ブリッジの全顎印象において欠損歯部にガイドラインを設けて口腔内スキャナーにより撮影するという新しい印象法が支台歯と欠損歯部の真度と精度に与える影響を明らかにすることを目的とし検討を行った。

各測定距離の平均値と基準値を比較した結果、全ての距離において SK-MD の平均値が基準値に最も近い値を示した。その一方で、CP-MD や CP-BP においては距離③と距離④において未処理よりも大きな増減率を示し、支台歯間距離の再現性に悪影響を与えている可能性が示唆された。距離③の増加率が高くなり、距離④の減少率が高くなると、製作したブリッジの適合に影響を及ぼす可能性がある。この要因に関しても第 I 章の考察で述べたように、修正液の光沢が影響した可能性が考えられるが、あくまで推測に過ぎないため、今後の検討課題である。SK-MD において平均値が最も基準値に近い値を示したが、いくら基準値と平均値が一致してもばらつきが大きいと精度が高い方法とは言えないため、本実験では真度と精度の検討も行った。

ブリッジの欠損歯部にガイドラインを設け、それを指標としてスキャンすることで誤差が減少し、真度や精度を向上することができると考えたが、その結果 SK-MD において未処理や他の方法に比べ統計学的に有意な真度と精度の向上が確認できた。基準データと同等の精確さではないが、スキンマーカールにて近遠心的に 2 本の線を描記して口腔内スキャナーでスキャンすることで通常の写真方法よりも真度や精度が向上し、4 歯ブリッジの症例に応用できる可能性が示唆された。口腔内スキャナーは凹凸や色の変化が少ない粘膜部分で誤差を生じやすいと報告されているが¹⁶⁾、本実験では粘膜部に色の変化を与えたことで誤差が減少し、支台歯間距離の真度や精度に影響を与えた可能が考えられる。

しかし、今回実験に用いたスキンマーカールは口腔内には使用できない。また、使用できたとしても水性インクのため、口腔内では唾液の影響で滲む可能性も考えられることから、口腔内で使用でき唾液等の影響を受けない歯科用器具で再検討していきたいと考えている。

3D データ評価ソフトウェアにより三次元的な評価を行った結果、各平均値と基準値を比較した前述の結果の通り CP-MD と CP-BP は支台歯間距離に影響を与えており、

第二大臼歯支台歯近心面や頬側面に未処理と同等、もしくはそれ以上の正の偏差が生じており、遠心面には負の偏差が確認された。つまりこの結果は、製作したブリッジの第二大臼歯部の近心面に間隙が生じ、遠心面に接触が生じ、不適合なブリッジが完成するという事になる。SK-BP においては、未処理と比較して好ましい結果を示すカラーマップも確認できたが、安定して良好な結果を得ることはできなかった。それに反し、SK-MD では未処理よりも第二大臼歯支台歯や欠損歯部の変位量がほとんどのデータで減少する傾向が見られ、安定して良好なスキャンデータを得ることができた。Park らは、口腔内スキャナーにより全顎印象を行った際に、スキャンの開始地点の歯において真度が高くなったと報告しているが²⁹⁾、SK-MD においてのみその傾向が確認でき、その他の方法においてはスキャン開始地点の誤差は比較的大きくなっていた。この点に関しては、本実験で用いたベストフィットアルゴリズム機能のメカニズムによる影響も考えられるため、今後もさらなる検討が必要である。

SK-MD において真度や精度が向上したことにより、本手法は臨床応用の可能性が期待できる。さらに4歯ブリッジの場合、咬合関係や顎運動などを考慮すると全顎印象による印象採得が必須となるため、第I章の手法と組み合わせればブリッジ支台歯部分の精確さと合わせて全顎歯列の精確さも改善できる可能性があるが、これにはいくつか課題が考えられる。

まず、本研究では1つの口腔内スキャナーしか使用していないという点である。最近では様々な口腔内スキャナーが臨床応用されてきているが、口腔内スキャナーは種類によって計測原理が異なるため、それにより結果が異なる可能性も否定できない。実際にMeer らは各口腔内スキャナーのスキャン原理によって精度に差が生じると主張している³⁰⁾。本実験で用いた口腔内スキャナーは三角測量法を採用しているが、共焦点法を用いた口腔内スキャナーが高い精確さを持つという報告もあるため^{17, 31)}、この点に関しても今後検証せねばならず、これは第I章の実験に関しても同じことが言える。

また、実際の臨床では抜歯窩や口蓋部の骨隆起が存在していたり、骨吸収により欠損歯部に2本の線を描記する幅がないなど様々な状況が考えられるため、そのまま臨床応用できるとは限らない。そのような症例にどのように対応するか、1本のガイドラインでも同様の実験結果が得られるかなど引き続きあらゆる状況を考慮して検討を続けていく必要があると考えられる。

第5節. 結論

本実験の結果, 口腔内スキャナーによる上顎右側臼歯部4歯ブリッジの全顎印象において欠損歯部にガイドラインを設ける新しい印象法において以下の結論を得た.

1. 欠損歯部に近遠心的にスキンマーカを用いて2本の線を引き, 口腔内スキャナーにて印象採得を行うことで, 支台歯間のスキャン真度と精度を向上させる傾向が見られた.
2. 欠損歯部にガイドラインを設けることで支台歯や欠損歯部の三次元的な変位量に影響を与える傾向が見られた.

総括

口腔内スキャナーは徐々に臨床応用されつつあるが、広範囲の印象においては精確さが低下すると報告されているため適応症例が限られている。義歯やロングスパンブリッジなど、今後さらに適応症例を拡大していくためには広範囲な印象においても可能な限り誤差を減らし、全顎印象や支台歯間の精確さを向上させる必要があると考えられる。しかし、口腔内スキャナーによる印象の精確さの向上を試みた報告はあまり見受けられない。

そこで本研究では、口腔内スキャナーによる上顎全顎印象において口蓋部や欠損歯部にガイドラインを設け、それを指標としてスキャンし始点と終点を繋げることで全顎印象やロングスパンブリッジの支台歯間の精確さを向上させることを目的として検討を行った。

まず、第Ⅰ章にて両側の中切歯と側切歯の歯間部から咽頭方向に向かって前後にスキンマーカで 2 本のガイドラインを描記して口腔内スキャナーにより光学印象を行うという新しい印象法 (SK-FB) によって、未処理の状態ですキャンを行うよりも比較的真度と精度が向上することが明らかとなった。

さらに、第Ⅱ章では上顎臼歯部 4 歯ブリッジにおいて欠損歯部にスキンマーカで近遠心的に 2 本のガイドラインを描記して口腔内スキャナーにより光学印象を行うことで、未処理の状態に比べ真度や精度が比較的上昇する可能性が示唆された。

第Ⅰ章と第Ⅱ章の結果より、2つの手法を組み合わせることで口腔内スキャナーにより光学印象を行うことで、より一層精確さを向上できる可能性も含め、今後更なる検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 宮崎 隆：総説：Digital Dentistry の現状と将来展望. 日本歯科 CAD/CAM 学会誌 1:2-8, 2011
- 2) Nayyar N, Yilmaz B, McGlumphy E : Using digitally coded healing abutments and an intraoral scanner to fabricate implant-supported, cement-retained restorations. J Prosthet Dent. 109(4) : 210-215, 2013.
- 3) Conrad H, Seong W, Pesun I : Current ceramic materials and systems with clinical recommendations : asystematic review. J Prosthet Dent. 98(5) : 389-404, 2007.
- 4) Mehl A, Ender A, Mormann W, Attin T : Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. Int J Comput Dent. 12(1) : 11-28, 2009.
- 5) Brawek P, Wolfart S, Endres L, Kirsten A, Reich S : The clinical accuracy of single crowns exclusively fabricated by digital workflow - the comparison of two systems. Clin Oral Investig. 17(9) : 2119-2125. 2013.
- 6) Güth J, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D : Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. Clin Oral Investig. 17(4) : 1201-1208. 2013.
- 7) Miyazaki T, Hotta Y : CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. Aust Dent J. 56 : 97-106. 2011.
- 8) Andriessen F, Rijkens D, Van Der Meer W, Wismeijer D : Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles : a pilot study. J Prosthet Dent. 111(3) : 186-94. 2014.
- 9) 宅間 裕介, 安田 博光, 佐藤 亨, 久永 竜一 : 光学印象採得によるオールセラミックブリッジの適合精度についての検討. 歯科審美. 26(1) : 1-7.2013.

- 10) Abdel-Azim T, Rogers K, Elathamna E, Zandinejad A, Metz M, Morton D : Comparison of the marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated with CAD/CAM technology by using conventional impressions and two intraoral digital scanners. *J Prosthet Dent.* 114(4) : 554-559. 2015.
- 11) Ajioka H, Kihara H, Odaira C, Kobayashi T, Kondo H : Examination of the Position Accuracy of Implant Abutments Reproduced by Intra-Oral Optical Impression. *PLoS One.* 11(10). 2016.
- 12) Ender A, Mehl A : Accuracy of complete-arch dental impressions : a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent.* 109(2) : 121-128. 2013.
- 13) Miyoshi M, Tanaka S, Yokoyama S, Sanda M, Baba K : Effects of different types of intraoral scanners and scanning ranges on the precision of digital implant impressions in edentulous maxilla: An in vitro study. *Clin Oral Implants Res.* 31(1) : 74-83. 2019.
- 14) Patzelt S, Vonau S, Stampf S, Att W : Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J Am Dent Assoc.* 144(8) : 914-920. 2013.
- 15) Son K, Lee K : Effect of Tooth Types on the Accuracy of Dental 3D Scanners: An In Vitro Study. *Materials (Basel).* 13(7):1744. 2020.
- 16) Hayama H, Fueki K, Wadachi J, Wakabayashi N : Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *J Prosthodont Res.* 62(3) : 347-352. 2018.
- 17) Nedelcu R, Olsson P, Nystrom I, Rydén J, Thor A : Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions : A novel in vivo analysis method. *J Dent.* 69 : 110-118. 2018.
- 18) 味岡 均, 鬼原 英道, 大平 千之 : デジタルスキャニングデバイスを用いたインプラントアバットメントの位置再現性の検討. *岩医大歯誌.* 40 : 1-13. 2015.

- 19) DIN Deutsches Institut für Normung Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – part 1 : General principles and definitions (ISO 5725-1 : 1994). Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1997.
- 20) Patzelt S, Lamprinos C, Stampf S, Att W : The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. *J Am Dent Assoc.* 145(6) : 542-551. 2014.
- 21) Patzelt S, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub J R, Att W : Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig.* 18(6) : 1687-1694. 2014
- 22) Ender A, Mehl A : Full arch scans: conventional versus digital impressions -- an in-vitro study. *Int J Comput Dent.* 14(1) : 11-21. 2011.
- 23) Tomita Y, Uechi J, Konno M, Sasamoto S, Iijima M, Mizoguchi I : Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dent Mater J.* 37(4) : 628-633. 2018.
- 24) Kattadiyil M, Mursic Z, AlRumaih H, Goodacre C : Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. *J Prosthet Dent.* 112(3) : 444-448. 2014
- 25) Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J : Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int.* 47(4) : 343-349. 2016.
- 26) 深澤 翔太 : 口腔内スキャナーを用いたインプラントアバットメントの位置再現性の検討. *岩医大歯誌.* 42 : 22-23. 2017.
- 27) Almeida e Silva J, Erdelt K, Edelhoff D, Araújo É, Stimmelmayer M, Vieira L, Güth J. Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. *Clin Oral Investig.* 18(2) : 515-523. 2014.

- 28) Uhm S, Kim J, Jiang H, Woo C, Chang M, Kim K, Bae J, Oh S. Evaluation of the accuracy and precision of four intraoral scanners with 70% reduced inlay and four-unit bridge models of international standard : Dent Mater J. 36(1) : 27-34. 2017.
- 29) Park G, Son K, Lee K : Feasibility of using an intraoral scanner for a complete-arch digital scan. J Prosthet Dent. 121(5) : 803-810.2019.
- 30) Van Der Meer W, Andriessen F, Wismeijer D, Ren Y : Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. PLoS One. 7 (8). 2012.
- 31) Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R : Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. J Prosthet Dent. 118 : 36-42. 2017.

謝辞

本稿を終えるにあたり，終始御懇篤なる直接の御指導，ならびに本論文の御校閲を賜りました，広島大学大学院医系科学研究科口腔生物工学分野 二川浩樹教授に深甚なる感謝の意を表します。

また，他の研究室であるにも関わらず心よく私を受け入れてくださり，本研究の遂行および本論文の御助言，御校閲を賜りました広島大学大学院医系科学研究科生体構造・機能修復学 下江宰司准教授に心より感謝の意を表します。

さらに，本論文の作成にあたり，御助言，御校閲を賜りました広島大学大学院医系科学研究科医療システム工学分野 村山長教授，生体構造・機能修復学 加来真人教授，公衆口腔保健学 太田耕司教授，口腔保健疫学 内藤真理子教授，口腔生物工学分野 田地豪准教授，医療システム工学分野 峯裕一講師に深謝致します。

そして，多大なる御支援，御協力をいただきました広島大学病院中央技工室の職員各位に深く感謝致します。

最後に，常に私を支え続けてくれた，家族，親友に心より感謝致します。