

研 究

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

味岡 均, 鬼原 英道, 大平 千之

岩手医科大学歯学部補綴・インプラント学講座

(主任: 近藤 尚知 教授)

(受付: 2014年11月26日)

(受理: 2015年1月5日)

本研究の目的は、デジタルスキャニングデバイスである口腔内スキャナーと歯科技工用スキャナーを用いてインプラントアバットメント間の距離の真度と精度を比較し、その有用性を評価検討することである。

インプラント実習用顎歯模型に外側性六角構造を有する2本のインプラント体を埋入した。それぞれのインプラント体にボールアバットメントを装着し、ボールの中心間の距離の測定を行った。接触式三次元座標測定機による測定値と、口腔内スキャナーであるLava COSとTRIOS、歯科技工用スキャナーであるARCTICAの測定値を比較し、それぞれの距離の真度と精度を評価した。

真度に関して、Lava COSはTRIOS、ARCTICAと比較して有意な差 ($p < 0.05$) を認めた。また精度に関しては、Lava COSとARCTICAの間に有意な差 ($p < 0.05$) を認めた。真度と精度の偏差はARCTICAが最も小さく、Lava COSが最も大きかった。さらに、口腔内スキャナーによる測定誤差は、術者によっても有意な差 ($p < 0.05$) が認められることがあった。

本研究の結果より、歯科技工用スキャナーは一度に広範囲の撮影が可能のため、安定した真度と精度を有すると考えられる。一方、口腔内スキャナーは小さな三次元画像をつなぎ合わせることでデータの結合を行なうので誤差が蓄積しやすいと考えられる。そのため口腔内スキャナーは長い区間の撮影において誤差が増大する傾向がみられたが、口腔内スキャナーの中には歯科技工用スキャナーと同等の真度と精度を有するものも存在した。口腔内スキャナーは印象材の歪みや石膏膨張の影響を受けないという特徴より真の値に近い寸法再現性が期待されたが、上記結果から、口腔内スキャナーは従来の印象法と比較して、真度の点でわずかに劣る可能性が示唆された。

Reproducibility of the implant abutment position using digital scanning devices

Hitoshi AJIOKA, Hidemichi KIHARA, Chikayuki ODAIRA

Department of Prosthodontics and Oral Implantology, School of Dentistry, Iwate Medical University

(Chief: Prof. Hisatomo KONDO)

1-3-27, Chuo-dori, Morioka, Iwate, 020-8505, Japan

岩手県盛岡市中央通 1-3-27 (〒020-8505)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 40 : 1-13, 2015

緒 言

近年, デジタル技術が歯科医療にも導入され, いわゆる Digital Dentistry と呼ばれる歯科治療が定着しつつある¹⁾. 特に Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (以下, CAD/CAM) システムは, 設計や加工といった製作工程をコンピュータ制御する一連のシステムであり, 今まで鑄造の困難だったチタンなどの金属材料だけでなく, ジルコニアなどのセラミック材料の精密加工を可能とするものである^{2, 3)}. 顎口腔領域への CAD/CAM テクノロジーの応用は, 上記歯科用材料の加工を中心に発展してきたが, 近年は, インプラントの画像診断から埋入手術に至る過程をシミュレーションし, 実際の手術にその設計を再現するシステムを構築するまでになり, 様々な応用方法が開発され続けている.

インプラントの手術シミュレーションにおいては, エックス線 CT の画像データと歯科技工用スキャナーから得られた石膏模型の画像データを重ね合わせることで, 口腔内の状態と顎骨の状態を再現し, そのデータ上で手術シミュレーションを行うものである. つまり, 口腔内の状態を再現するには, 印象採得して製作した石膏模型が必要不可欠である. 一方で, 昨今急激に開発の進んでいる光学印象法は, 口腔内スキャナーから規則的なパターン光を照射し, 内蔵カメラでその反射光をとらえて支台歯ならびに周囲組織の三次元形状を再現し, 測定することのできる新たな方法である⁴⁾. 口腔内スキャナーによる光学印象法は, 補綴装置の適合性の向上⁵⁾, 製作方法および手技の簡略化²⁾を可能とするものと期待されており, すでに印象採得, 補綴装置製作, 装着までの行程を 1 回の診療で完了する (One day treatment system) ことが可能な機器も市販されている⁶⁻⁸⁾. 上記のように光学印象法は歯科医師・歯科技工士に対する技術支援と患者に対する治療時間の大幅な短縮など, 双方の負担軽減に大きく貢献できる新技術の一つとしておいに期待されている.

なかでも口腔インプラント治療は Digital Dentistry と密接な関係にあり, 診断から治療に至るまで様々な場面でデジタル技術が応用されている. 一例をあげれば, 歯科用コーンビーム CT (CBCT) の撮影によって得た顎骨のデータをソフトウェア上で三次元再構成し, インプラント埋入方向と深度のシミュレーションを行い, 診断の一助としている. また, 補綴装置の製作に関しても CAD/CAM 技術の発展により, 従来の技工操作よりも多彩かつ精密な補綴装置の製作⁹⁻¹¹⁾が可能となっている. 一方で, インプラント治療の印象採得のステップでは未だシリコーン印象材や石膏といった材料を使用しており, 模型製作がアナログで行われているのが現状である. 従来のインプラントの印象採得から補綴装置装着に至る過程で問題となるのは, 印象材, 石膏, ワックス, 埋没材の変形収縮・膨張といった多くの誤差の発生である^{12, 13)}. また術者の印象手技によっても誤差が生まれる可能性がある¹⁴⁾. この従来の印象採得を口腔内スキャナーによってデジタル化することで, 材料の寸法変化等の影響を排除した印象採得が出来ると考えられている. さらに, 術者の習熟度による影響も最小限に抑えることができる可能性もある.

印象採得や補綴装置を製作する過程で留意すべき項目として「精確さ: accuracy (真度: trueness と精度: precision)」がある. 真度とは, 多数の試験結果から得た値と, 真の値の一致の程度であり, 精度とは, 指定された条件下で得られた独立した試験結果間の一致の程度と定義されている. 精確さは真度と精度を合わせもつ概念で, どの試験結果の値をとっても真の値とほぼ等しい場合に精確さが高いといえる (ISO 5725-1, JIS Z 8402-2)¹⁵⁾. 近年, 光学印象法から得たデータを元に製作したクラウンやブリッジの適合に関する報告は増加しているが¹⁶⁻¹⁸⁾, インプラント補綴装置の適合に関しての報告は未だ少ないのが現状である. したがって, 光学印象で再現されたインプラント体間の位置の誤差については不明な点が多く, 口腔内

スキャナーのインプラント治療への適用についての検証が待たれている。本研究の目的は、デジタルスキャンングデバイスである口腔内スキャナーと歯科技工用スキャナーの真度と精度を比較し、その有用性を評価検討することである。

材料および方法

1. 基準模型の製作

本研究において、皮質骨と海綿骨を模倣した二層の骨様構造を有するインプラント実習用顎歯模型 (D16-EP.27, NISSIN, 日本) を使用した。本模型は、下顎左側第二小臼歯、下顎左側第一大臼歯、下顎右側第二小臼歯、下顎右側第一大臼歯、下顎右側第二大臼歯を欠損とし、骨

様部は擬似粘膜で覆われている。インプラント埋入部位が下顎左側第二小臼歯と下顎左側第一大臼歯相当部である模型を基準模型 A、下顎右側第二小臼歯と下顎右側第二大臼歯相当部である模型を基準模型 B とした。インプラント窩を形成し、外側性六角構造を有したインプラント (Brånemark System MkIII groovy ϕ 4.0 \times 10.0 mm, Novel Biocare, スウェーデン) を埋入した。インプラント体間の距離を測定する際に用いる基準平面を設定するために、JIS 規格で定められた 3 つのクロム鋼球 (クロム鋼球 ϕ 10.0 mm 28 等級, 佐藤鉄工, 日本) を基準球として使用し、常温重合レジン (ユニファスト III, GC, 日本) で舌側に固定した。このインプラント体の埋入位置の異なる基準模型 A と基準模

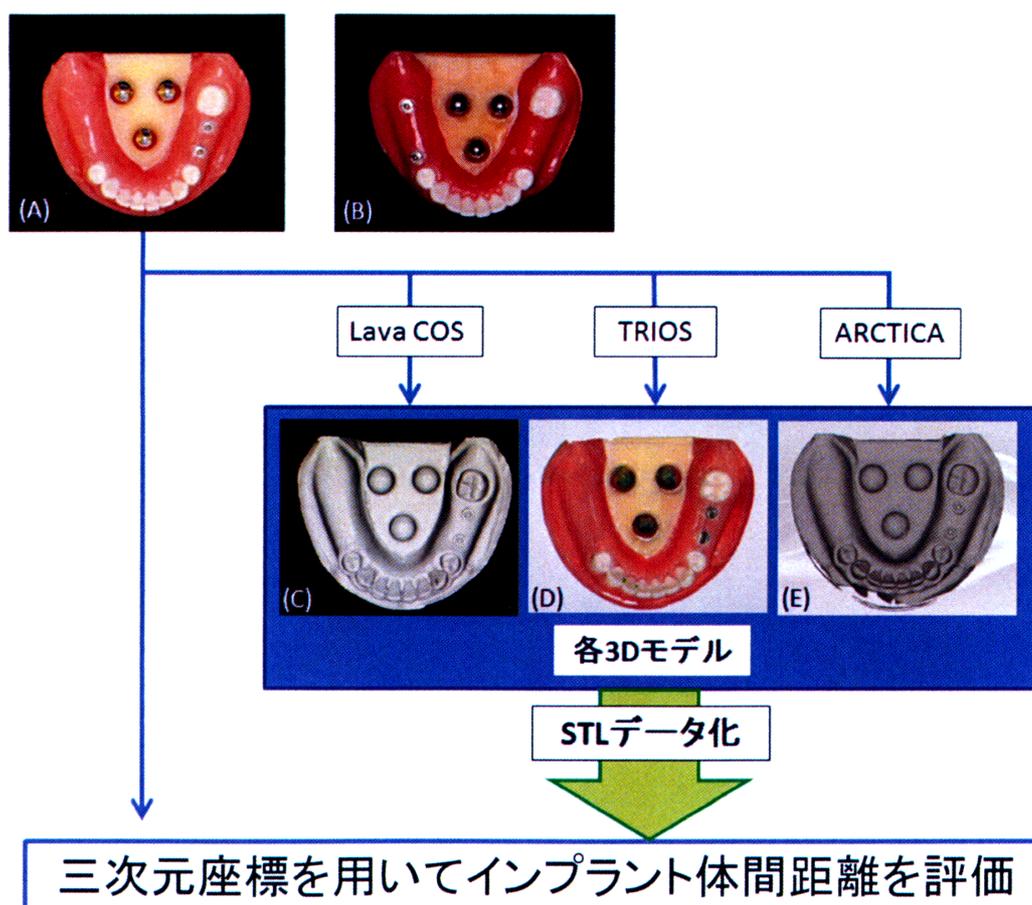


図 1. 実験概要

- (A) 基準模型 A (B) 基準模型 B (C) Lava COS で撮影した 3D モデル
(D) TRIOS で撮影した 3D モデル (E) ARCTICA で撮影した 3D モデル

3D モデルの (C), (D), (E) を STL データ化し、解析ソフトである Focus Inspection を用いて三次元座標からインプラント体間距離を評価

型 B を用いて測定を行った (図 1(A), (B)).

基準模型に埋入したインプラント体に、 ϕ 5 mm \times 5 mm のチタン製のボールアバットメント (ボールアバットメント Brånemark System regular platform 5 mm : Nobel Biocare, スウェーデン) をトルクレンチ (prosthetic torque wrench : Nobel Biocare, スウェーデン) とドライバー (machines driver : Nobel Biocare, スウェーデン) を用いてインプラント体上部に 15 N で締結し、そのボールアバットメント上部に位置するボールの中心部を測定した。

2. CNC 三次元座標測定機

接触式形状測定機として CNC 三次元座標測定機 (UPMC 550-CARAT : Curl Zeiss, ドイツ) と ϕ 0.8 mm のボールスタイラス (Curl Zeiss, ドイツ) を使用した。CNC 三次元座標測定機は寸法を高精度に測定することが可能で、日本工業規格 (JIS B 7440-2) により適切な規格に準拠されており、長さ測定において $0.8 + L/600 \mu\text{m}$ (L は測定距離 : mm) 程度の最大許容誤差

が認められている。測定前のキャリブレーションにより誤差を $1 \mu\text{m}$ 以下に調整した。基準模型 A および基準模型 B に接続されたボールアバットメントの上部に位置するボールの中心部の三次元的な位置座標を各 10 回測定した (図 2)。

3. 口腔内スキャナー

口腔内スキャナーとして Active wavefront sampling 法を用いた Lava COS (3M, アメリカ) と共焦点法を用いた TRIOS (3Shape, アメリカ) を使用した (図 3(A), (B))。口腔内スキャナーの使用の際は、外光の影響を排除した室内の実験台に顎歯模型を固定した。任意に 4 人の歯科医師が同じ模型のスキャンを行い、術者の違いによる技術的誤差に関する検討を行った。スキャン前には基準模型の表面の反射率を一定にするために二酸化チタン粉末 (Lava Powder : 3M, アメリカ) を薄く一層噴霧した。各社の推奨するスキャンプロトコルに従って各 10 回の撮影を行い、撮影データに不備がないことを確認した上で独自の 3D 形式のファイルから STL データに変換して出力した (図 1(C), (D))。

4. 歯科技工用スキャナー

歯科技工用スキャナーは KaVo ARCTICA AUTO Scan (KaVo dental Excellence, ドイツ) (以下、ARCTICA) を使用した (図 3(C))。口腔内スキャナーと同様、基準模型の表面の反射率を一定にするために二酸化チタン粉末を噴霧した。推奨する使用方法に従って 10 回の撮影を行い、10 個の STL データに変換して出力した (図 1(E))。

以上の本研究で使用した 3 種類のスキャナーの概要を表 1 に示した。

5. インプラント間距離の測定方法

出力された STL データを三次元測定用ソフトウェア (Focus Inspection : Nikon, 日本) に入力した。まず基準模型の舌側に固定した 3 つの基準球は座標設定に必要な基準面と基準線と基準点を設けるために使用した (図 4)。距離の測定に用いるボールアバットメント上部のボール中心部は解析ソフト中の STL データ上

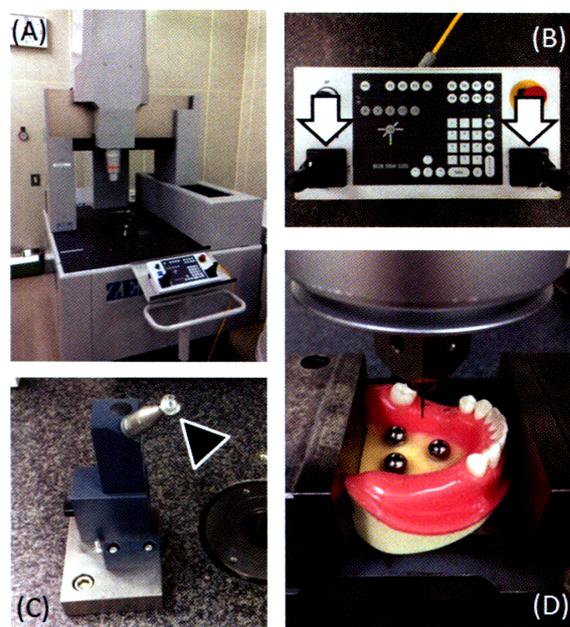


図 2. CNC 三次元座標測定機による基準模型の測定。

- (A) CNC 三次元座標測定機本体
- (B) CNC 三次元座標測定機のコントローラー (矢印)
- (C) 校正済みの高精度球 (矢頭)
- (D) 基準模型に装着したボールアバットメントのボール中心部の三次元的な位置の測定

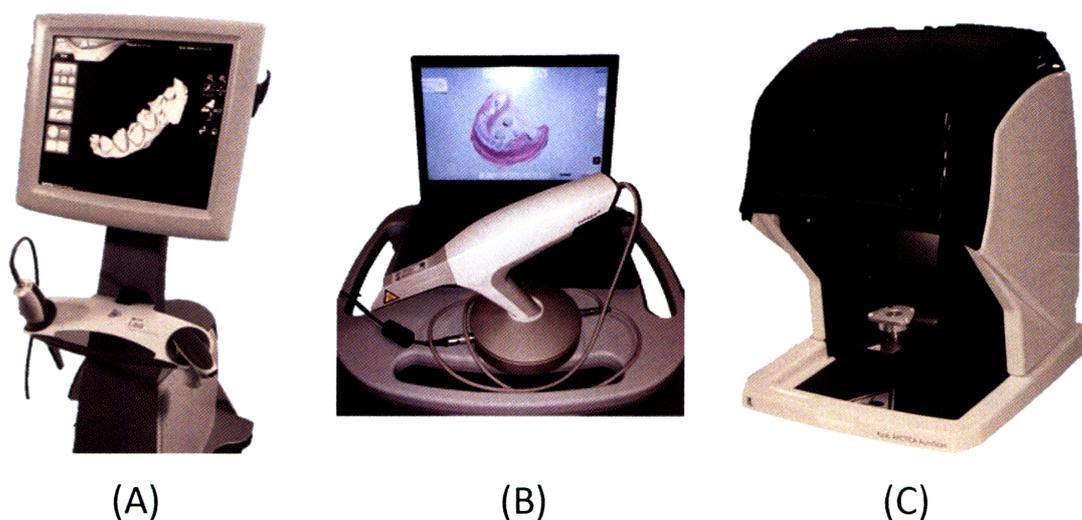


図 3. 使用した各種スキャナー

- (A) Lava COS
- (B) TRIOS
- (C) ARCTICA

表 1. 各種スキャナーの性能

スキャナー	会社	計測方法	光源	画像タイプ	コーティング	出力形式
Lava COS	3M	Active wavefront sampling法	青色可視パルス光	ビデオ	酸化チタンパウダー	専用
TRIOS	3shape	共焦点法	非公開	画像重ねあわせ	非公開	非公開
ARCTICA	KaVo	三角測量法	白色可視光	画像重ねあわせ	不必要	STL

の球を抽出するツールにより導き出され、そのボール中心部の位置座標を用いて距離を測定した (図 5)。

ボールアバットメント A のボール中心部の座標： (x_A, y_A, z_A)

ボールアバットメント B のボール中心部の座標： (x_B, y_B, z_B) とした場合、以下の数式により中心部間の距離を求めた。

$$D = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2}$$

6. 統計処理

各スキャナー群間の比較には、一元配置分散分析および、Bonferroni 法を用いて行なった。統計学的解析には統計解析ソフトウェア (SPSS Statistic 19.0, IBM Japan, 日本) を使用して、有意水準は 5% とした。

結 果

基準模型 A のボール中心部間を CNC 三次元座標測定機で測定した際の距離は 9633.3~9636.6 μm の範囲であった (図 6(A))。距離の平均は $9634.9 \pm 1.2 \mu\text{m}$ (95% 信頼区間: 9634.0 μm ~ 9635.7 μm) であった。基準模型 B のボール中心部間を CNC 三次元座標測定機で測定した際の距離は 18426.3~18426.8 μm の範囲であった (図 6(B))。距離の平均は $18426.5 \pm 0.3 \mu\text{m}$ (95% 信頼区間: 18426.3 μm ~ 18426.7 μm) であった。それぞれの基準模型のボール中心部の距離の平均を真の値として、各種スキャナーの測定値と比較した際の距離の誤差を真度とした。また、各々のスキャナーで繰り返し同じも

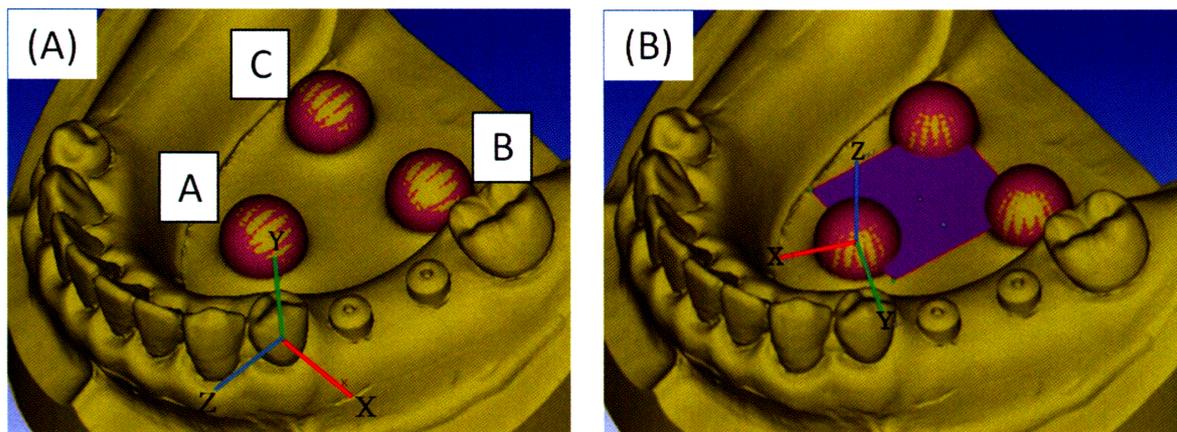


図 4. STL データの基準平面と基準点の設定.

(A) 3つの基準球 (A, B, C) を利用して基準点を新たに設定

(B) 3つの基準球の中心を通る平面を基準平面として XY 平面を作成し, 基準球 A の中心点を基準点 (0, 0, 0) と設定

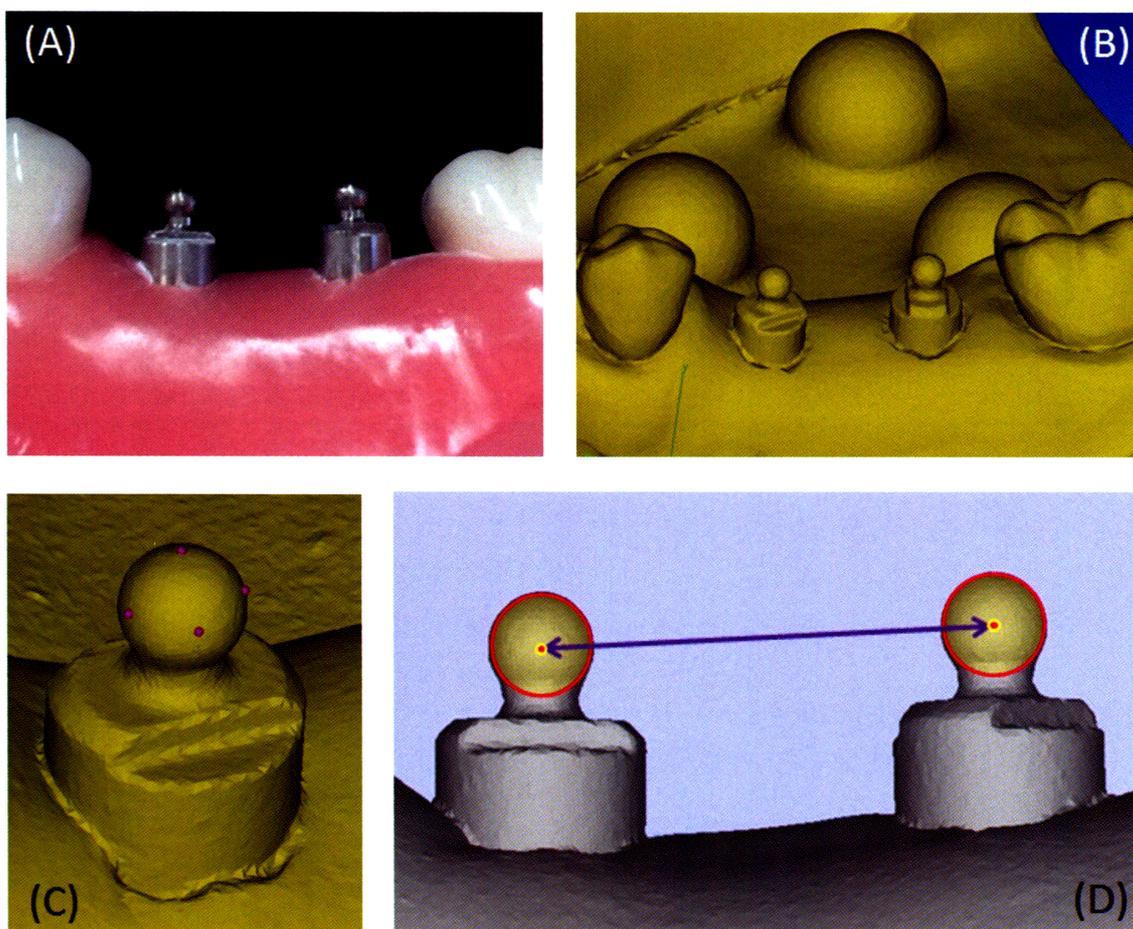


図 5. ボールアバットメント上部のボール中心部間の距離の測定

(A) 基準模型 A の下顎左側第二小白歯, 下顎左側第一大臼歯相当部の拡大図

(B) STL データ上のボールアバットメント

(C) ボールアバットメントの拡大図

(D) アバットメント頂部のボールの中心点座標からボール中心部間の距離を算出

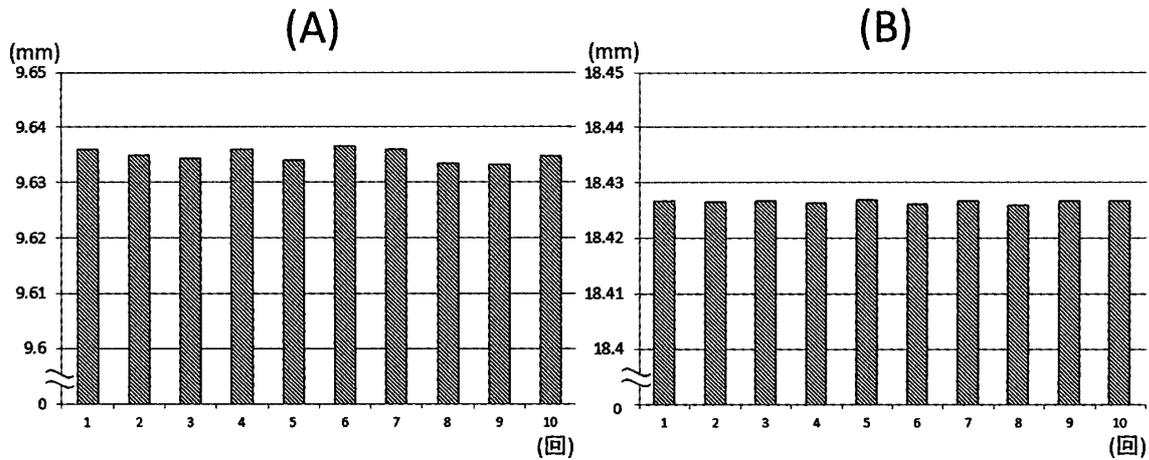


図 6. CNC 三次元座標測定機による基準模型の測定

- (A) 下顎左側第二小臼歯，下顎左側第一大臼歯相当部に埋入されたインプラント間の距離
 (B) 下顎右側第二小臼歯，下顎右側第二大臼歯相当部に埋入されたインプラント間の距離

表 2. 基準模型 A におけるボール中心部間の距離の真度と精度

	真度		精度	
	平均値±標準偏差(μm)		平均値±標準偏差(μm)	
Lava COS	54.8±12.4	(46.0-63.7)	2.5±9.3	(5.8-19.1)
TRIOS	17.3±7.6	(11.8-22.7)	5.9±4.4	(2.8-9.1)
ARCTICA	24.0±2.0	(22.6-25.4)	1.3±1.4	(0.3-2.3)

()内は95%信頼区間を示す

表 3. 基準模型 B におけるボール中心部間の距離の真度と精度

	真度		精度	
	平均値±標準偏差(μm)		平均値±標準偏差(μm)	
Lava COS	82.2±16.3	(70.5-93.9)	13.2±8.5	(7.2-19.3)
TRIOS	19.8±9.0	(13.3-26.2)	7.4±4.6	(4.1-10.7)
ARCTICA	12.3±4.6	(9.0-15.5)	3.3±3.0	(1.1-5.4)

()内は95%信頼区間を示す。

の測定を行って得られた測定値の平均からの誤差を精度とした。

本研究の指導者が指名した4人の歯科医師が，Lava COSを用いて模型をスキャンした結果，測定誤差は各人によって異なり，1人は有意に測定誤差が小さい値($p < 0.05$)を示したが，他の3人との間の測定誤差に有意な差はなかった(図7)．口腔内スキャナーが普及し不特定多数が使用した場合を想定し，かつ操作する者によるデータのばらつきを抑えるため，測定誤差に有意な差のなかった3人のうち1人が，後のスキャンを行うこととした。

3種類のスキャナーで測定した基準模型 A のボール中心部間距離を表2に示し，基準模型 B のボール中心部間距離を表3に示した。

Bonferroni 法より，基準模型 A における真

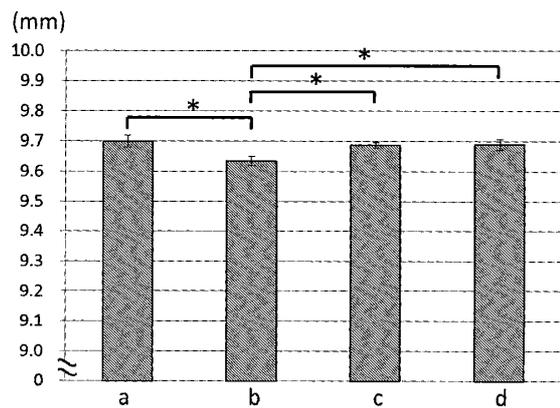


図 7. 複数の術者によって基準模型 A をスキャンした際の測定結果

口腔内スキャナーとして Lava COS を使用し，術者の違いによる技術的誤差を測定。

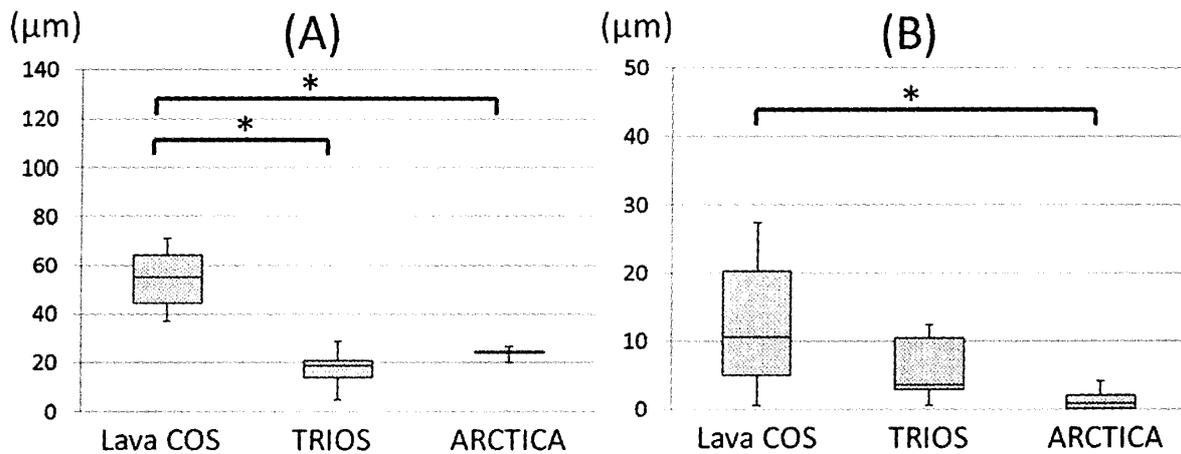


図8. 下顎左側第二小臼歯, 下顎左側第一大臼歯相当部のボール中心部間の距離における真度と精度
 (A) 各種スキャナーにおける距離の真度
 (B) 各種スキャナーにおける距離の精度

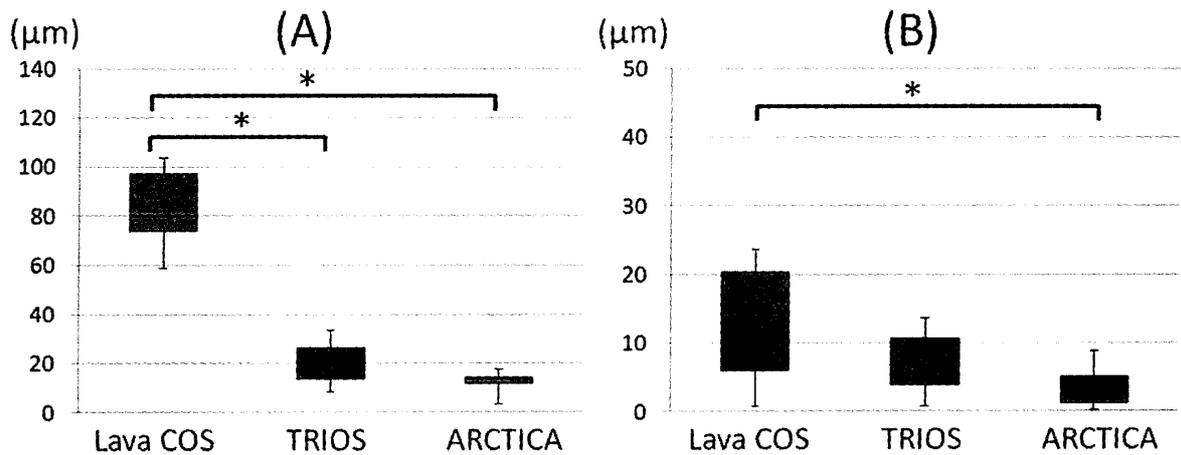


図9. 下顎右側第二小臼歯, 下顎右側第二大臼歯相当部のボール中心部間の距離における真度と精度
 (A) 各種スキャナーにおける距離の真度
 (B) 各種スキャナーにおける距離の精度

度に関して, Lava COSはTRIOS, ARCTICAとの間に有意な差を認めた ($p < 0.05$). 精度に関しては, Lava COSはARCTICAとの間に有意な差を認めた ($p < 0.05$) (図8).

基準模型Bにおける真度に関して, Lava COSはTRIOS, ARCTICAとの間に有意な差を認めた ($p < 0.05$). 精度に関しては, Lava COSはARCTICAとの間に有意な差を認めた ($p < 0.05$) (図9)

考 察

現在, 様々な口腔内スキャナーが歯科領域で臨床に用いられている¹⁾. 口腔内スキャナーの歴史は古く, 1985年にチューリッヒ大学歯学部にて口腔内を直接撮影し, CAD/CAMシステムを用いて院内で修復物の製作, 装着まで完了させた. しかし当時のシステムは精度が低く, 口腔内を直接撮影する際には様々な制限があ

り、広く普及するには至らなかった。そのため、CAD/CAM システムの主流は、長きに渡って作業模型を歯科技工用スキャナーによってデジタル化する方法であった。最近になってインフォメーションテクノロジーのめざましい進歩に伴い、口腔内スキャナーの精度が向上し、臨床応用が可能な域に達したと言える¹⁸⁾。

Meer ら¹⁹⁾ は、各口腔内スキャナー特有のスキャンニング原理によって精度差が生じると主張している。スキャンニング原理は大きく分けて2種類あり、一つは動的三角測定法や共焦点法を用いた画像形式、もう一つは Active wavefront sampling (AWS) 法と呼ばれる動画形式を用いた撮影法である^{12, 13)}。どちらの形式にとっても、不十分な撮影距離、患者の体動、唾液分泌や湿度といった口腔内の環境が口腔内スキャナーの精度に影響をおよぼす可能性があるため、臨床応用していく際には、その原理を理解したうえで、正確な操作方法を身につける必要があると考えられる²⁰⁾。

一方、従来の歯科インプラントの印象採得法は、ヒーリングアバットメントや印象用コーピングの着脱により、インプラント周囲組織の安定が阻害され、インプラント周囲骨の吸収を促すと言われている^{21, 22)}。そのためデジタルコードが付与されたヒーリングアバットメントと口腔内スキャナーを用いることで着脱回数を減少させる方法が現在注目されている^{2, 23, 24)}。また患者側にとっても、強い嘔吐反射を持つ患者や、動揺歯の多い歯列、開口障害といった従来のシリコーンでの印象採得が困難な場合において光学印象は非常に有効であると思われる。一般的にインプラント治療において、上部構造の連結を行なうことで上方からの食片圧入の予防、さらに回転防止としての作用により回転応力に対処している。しかし、上部構造の連結には印象採得において高い真度と精度、それに付随した精密な補綴装置の製作が要求される。今回の実験のように光学印象の真度と精度に関しては、今までもいくつかの論文で述べられている^{18, 19, 25-28)}。多くの論文では、基準となる模型

とスキャンして得られたデジタル模型を best-fit-algorithm に基づいて重ね合わせ、変形がどの部位に現れているか評価したものである。この手法は模型全体の変形を視覚的に表現することが可能であり、またカラーマップによる変位量もある程度測定できる。しかし、得られる値はソフトのメカニズム的な要素に大きく依存しており、本研究の様にボール中心部間の2点間の距離といった特定の部位における誤差の測定には適さない。そのため本研究では、best-fit-algorithm を使用せずにボール中心部の座標を抽出し、距離の測定を行った。

測定項目として、真度は試験結果のばらつきに関しては考慮されておらず、また精度は真の値に対しては関連性がなく、繰り返し誤差ということになる。そのため補綴装置の製作には真度と精度の両方の概念を合わせもつ精確さが求められる。精確さの低い補綴装置は不適合の原因になり、それが装着された場合、スクリームの緩みや破折、インプラント体の破折、咬合不良といった力学的な影響による問題が生じる^{29, 30)}。また、天然歯は歯根膜を有するため垂直方向に 25~100 μm 、水平方向には 56~108 μm ほど変位可能であり、多少の誤差は骨や歯周靭帯が調整し適応する。しかし骨と直接結合(オステオインテグレーション)しているインプラントは垂直方向に 3~5 μm 、水平方向には 10~50 μm の範囲のわずかな変位量であるため、天然歯と比較して補綴装置の適合の誤差に対する許容量が少ない。そのため、一度不適合補綴装置が装着されれば、インプラント周囲組織に対して好ましくない生物学的影響が惹起されることが示唆される³¹⁾。一方、CAD/CAM により製作されるインプラント補綴装置の辺縁および内面の適合状態に関して臨床的に許容される範囲であるという報告³²⁾もあるが、光学印象で再現されるインプラント体間の位置関係の誤差については明らかとなっておらず、常に高い精確さが望まれるべきである。また、「印象の精確さ」を製作された補綴装置の適合によって分析した研究¹⁷⁾もあるが、補綴装置の製作工程

の全てにおいての影響を受ける可能性があるため、'印象の精確さ'単独の影響として述べることは困難である。

本研究のボール中心部間距離の測定結果は、3種のスキャニングデバイス間において、Lava COSの真度が最も低く、TRIOSとARCTICAは真度が高かった。また精度に関してはARCTICAが3種のスキャニングデバイス間で最も高いという結果であった。歯科技工用スキャナーは、対象物と一定の距離で固定し、広範囲で高性能なカメラによって多方面から複数回の撮影を行う。その後ソフトウェア上で自動的に複数のデータを合成してSTLデータを作成しているため撮影手技に左右されない。それにより真度と精度の偏差は非常に小さく、高い精確さを持ち合わせていると言える。一方の口腔内スキャナーは、歯科技工用スキャナーと比較してカメラのサイズが小さいため一度にスキャンできる範囲が狭く、随時スキャンしたデータをつなぎ合わせて数珠状に合成し、STLデータを作成している。そのため、凹凸の少ない部位に関してはつなぎ合わせる際に必要となるランドマークが設けにくく、合成する際に誤差が蓄積される。同じ口腔内スキャナーでもLava COSはAWS法、TRIOSは共焦点法といった撮影原理の違いが精確さに影響を及ぼしている可能性が示唆されるが、今後さらなる研究が必要であると思われる。

口腔内スキャナーによる測定は術者や撮影手技によって真度や精度に影響を受けることが報告されている³³⁾。本研究においても、術者によってスキャンの結果が有意に異なる結果を示した。撮影する際のスキャナーの動かし方や対象物との距離、手ブレなどの術者の手技的影響が原因だと思われるが、実際に排除することは困難であると考えられる。“誰が操作しても同様の結果が出るのがデジタルスキャンの長所”と思われる風潮があるが、再度検証していく必要があると考える。

実際の臨床の場では、単独歯の欠損補綴から、全顎にわたる多数歯欠損補綴まで、様々な大き

さの歯列弓の印象採得が行われている。中でも、左右の歯列にまたがるロングスパンの印象採得は容易でない。本研究では、単純ではあるが、ボール中心部間の距離が約9.6 mmの基準模型A、ボール中心部間の距離が約18.4 mmの基準模型Bを用いて、歯列弓の長さによる真度の違いを検討した。歯列弓の距離が2倍程度に大きくなった場合、Lava COSとTRIOSの誤差は増加し、多数歯の口腔内のスキャンにおいては誤差が増大する傾向があることが明らかとなり、その使用については、今後誤差許容範囲にあるのかどうか検討していく必要がある。

実際の臨床では、歯科技工用スキャナーを用いる際は従来の印象法であるシリコン印象と石膏を使用した模型との併用となり、模型を製作する際に生じる誤差はin-vitro研究で真度は $20.4 \pm 2.2 \mu\text{m}$ 、精度は $12.5 \pm 2.5 \mu\text{m}$ との報告がある²⁵⁾。本研究においては歯科技工用スキャナー自体の真度と精度の高さが明らかとなったが、実際の臨床では印象材の変形と石膏の膨張による誤差を包含してしまう短所が解消されたわけではない。一方、口腔内スキャナーは歯科技工用スキャナーよりも誤差が大きいという結果であったが、材料に起因する誤差を無視できる点で従来の印象法よりも優れていることから、今後さらなるインフォメーションテクノロジーの発達で精確さが向上するものと期待できる。さらに口腔内スキャナーでも歯科技工用スキャナーと同等の真度と精度を有するものがあり、十分臨床に使用できることが示唆された。今後の研究課題として、実際の口腔内の環境が口腔内スキャナーにどのような影響を与えるか、in-vivo研究において評価する必要がある。

結 論

歯科技工用スキャナーは距離にかかわらず安定した真度と精度を有した。印象材や石膏を必要としない口腔内スキャナーは、歯科技工用スキャナーと同等の真度と精度を有するものがあるが、多数歯での印象採得では誤差が増大する傾向が示唆された。それとともに、口腔内ス

キャナーは真の値に近い寸法再現性を有するものもあり、光学印象法の有用性が示唆された。

謝辞ならびに利益相反について

稿を終えるにあたり、三次元計測について、丁寧なるご指導と多大なるご協力を賜りました地方独立行政法人岩手県工業技術センター素材技術部機械班 和合健先生に、謹んで感謝の意を表します。また絶えず暖かいご支援とご協力を頂きました補綴・インプラント学講座の諸先生方に心より御礼申し上げます。

なお、本研究において、利益相反はない。

引用文献

- 1) Beuer, F., Schweiger, J., and Edelhoff, D.: Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br. Dent. J.*, 204:505-511, 2008.
- 2) Nayyar, N., Yilmaz, B., and McGlumphy, E.: Using digitally coded healing abutments and an intraoral scanner to fabricate implant-supported, cement-retained restorations. *J. Prosthet. Dent.*, 109:210-215, 2013.
- 3) Conrad, H. J., Seong, W. J., and Pesun, I. J.: Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J. Prosthet. Dent.*, 98:389-404, 2007.
- 4) Mehl, A., Ender, A., Mormann, W., and Attin, T.: Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *Int. J. Comput. Dent.*, 12:11-28, 2009.
- 5) Takuma, Y., Yasuda, H., Sato, T., and Hisanaga, R.: Examination of the Fitting Precision of All-ceramic Bridges Manufactured by INtraoral Digital Impression. *J. Esthet. Dent.*, 26:1-7, 2013.
- 6) Posselt, A., and Kerschbaum, T.: Longevity of 2328 chairside Cerec inlays and onlays. *Int. J. Comput. Dent.*, 6:231-248, 2003.
- 7) Sjögren, G., Molin, M., and van Dijken, J. W.: A 10-year prospective evaluation of CAD/CAM-manufactured (Cerec) ceramic inlays cemented with a chemically cured or dual-cured resin composite. *Int. J. Prosthodont.*, 17:241-246, 2004.
- 8) Zimmer, S., Gohlich, O., Ruttermann, S., Lang, H., Raab, W. H., and Barthel, C. R.: Long-term survival of Cerec restorations: a 10-year study. *Oper. Dent.*, 33:484-487, 2008.
- 9) Lee, S. J., and Gallucci, G. O.: Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. *Clin. Oral. Implants. Res.*, 24:111-115, 2013.
- 10) Kurbad, A., and Kurbad, S.: CAD/CAM-based implant abutments. *Int. J. Comput. Dent.*, 16:125-141, 2013.
- 11) Priest, G.: Virtual-designed and computer-milled implant abutments. *J. Oral. Maxillofac. Surg.*, 63:22-32, 2005.
- 12) 田中晋平, 舘慶太, 宮内知彦, 上村江美, 馬場一美: デジタル・デンティストリーが補綴臨床を変える. *Dental. Med. Res.*, 33:215-220, 2013
- 13) 宮崎隆: Digital Prosthodontics の変遷と展望. *補綴誌*, 4:123-131, 2012
- 14) Andriessen, F. S., Rijkens, D. R., van der Meer, W. J., and Wismeijer, D. W.: Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: a pilot study. *J. Prosthet. Dent.*, 111:186-194, 2014.
- 15) Ender, A., and Mehl, A.: Full arch scans: conventional versus digital impressions—an in-vitro study. *Int. J. Comput. Dent.*, 14:11-21, 2011.
- 16) Svanborg, P., Skjerven, H., Carlsson, P., Eliasson, A., Karlsson, S., and Ortorp, A.: Marginal and internal fit of cobalt-chromium fixed dental prostheses generated from digital and conventional impressions. *Int. J. Dent.*, doi: 10.1155.2014.534382, 2014.
- 17) Syrek, A., Reich, G., Ranftl, D., Klein, C., Cerny, B., and Brodesser, J.: Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J. Dent.*, 38:553-559, 2010.
- 18) Scotti, R., Cardelli, P., Baldissara, P., and Monaco, C.: Clinical fitting of CAD/CAM zirconia single crowns generated from digital intraoral impressions based on active wavefront sampling. *J. Dent.*, doi:10.1016.2011.10.005, 2011.
- 19) van der Meer, W. J., Andriessen, F. S., Wismeijer, D., and Ren, Y.: Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One*, doi:10.1371.0043312, 2012.
- 20) Rudolph, H., Luthardt, R. G., and Walter, M. H.: Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology. *Comput. Biol. Med.*, 37:579-587, 2007.
- 21) Abrahamsson, I., Berglundh, T., and Lindhe, J.: The mucosal barrier following abutment dis/reconnection. An experimental study in dogs. *J. Clin. Periodontol.*, 24:568-572, 1997.
- 22) Welander, M., Abrahamsson, I., and Berglundh, T.: The mucosal barrier at implant abutments of different materials. *Clin. Oral. Implants. Res.*, 19: 635-641, 2008.
- 23) Grossmann, Y., Pasciuta, M., and Finger, I. M.: A novel technique using a coded healing abutment for the fabrication of a CAD/CAM titanium abutment for an implant-supported restoration. *J. Prosthet.*

- Dent., 95:258-261, 2006.
- 24) Telleman, G., Raghoobar, G. M., Vissink, A., and Meijer, H. J.: The use of a coded healing abutment as an impression coping to design and mill an individualized anatomic abutment: a clinical report. *J. Prosthet. Dent.*, 105:282-285, 2011.
- 25) Ender, A., and Mehl, A.: Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J. Prosthet. Dent.*, 109:121-128, 2013.
- 26) Patzelt, S. B., Emmanouilidi, A., Stampf, S., Strub, J. R., and Att, W.: Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin. Oral. Investig.*, 18:1687-1694, 2014.
- 27) Patzelt, S. B., Vonau, S., Stampf, S., and Att, W.: Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J. Am. Dent. Assoc.*, 144:914-920, 2013.
- 28) Nedelcu, R. G., and Persson, A. S.: Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J. Prosthet. Dent.* doi: 10.1016.2014.05.027., 2014.
- 29) Eckert, S. E., Meraw, S. J., Cal, E., and Ow, R. K.: Analysis of incidence and associated factors with fractured implants: a retrospective study. *Int. J. Oral. Maxillofac. Implants.*, 15:662-667, 2000.
- 30) Wee, A. G., Aquilino, S. A., and Schneider, R. L.: Strategies to achieve fit in implant prosthodontics: a review of the literature. *Int. J. Prosthodont.*, 12:167-178, 1999.
- 31) Kim, Y., Oh, T. J., Misch, C. E., and Wang, H. L.: Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale. *Clin. Oral. Implants. Res.*, 16:26-35, 2005.
- 32) de Franca, D. G., Morais, M. H., das Neves, F. D., and Barbosa, G. A.: Influence of CAD/CAM on the fit accuracy of implant-supported zirconia and cobalt-chromium fixed dental prostheses. *J. Prosthet. Dent.*, 2014.
- 33) Ender, A., and Mehl, A.: Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int. J. Comput. Dent.*, 16:11-21, 2013.

研 究

Reproducibility of the implant abutment position using digital scanning devices

Hitoshi AJIOKA, Hidemichi KIHARA, Chikayuki ODAIRA

Department of Prosthodontics and Oral Implantology, School of Dentistry, Iwate Medical University

(Chief : Prof. Hisatomo KONDO)

[Received : November 26, 2014 : Accepted : January 5, 2015]

Abstract : The purpose of this study is to evaluate clinical performance of 3D dental scanners (intra-oral scanners and a laboratory scanner) from the point of view of trueness and precision.

Two types of reference models of the mandible were fabricated, in which ball abutments were connected to implants. A computer numerical control coordinate measuring machine (CNCCMM), intra-oral scanners (Lava COS, TRIOS) and a laboratory scanner (ARCTICA) were used in measuring the reference models. Two ball abutments were scanned, and the distance between the center of balls were calculated as the values of the trueness and precision.

Regarding trueness, the value obtained from Lava COS was significantly different from the values obtained from TRIOS or ARCTICA ($p < 0.05$). Regarding the precision, the data of Lava COS was significantly different than the data of ARCTICA ($p < 0.05$). Deviation of trueness and precision in ARCTICA was the smallest, while Lava COS was the greatest. Moreover, results of the intra-oral scanning were operator dependent ($p < 0.05$).

Those results suggested that the laboratory scanner had a stable trueness and precision regardless of the distance because it was capable of a wide-range scanning. Conversely, intra-oral scanners produce the image by connecting and superimposing the small 3-D data, resulting in small errors. It was concluded that some could be intra-oral scanners might have comparable performance to conventional impression technique and useful in clinical practice.

Key Words : digital dentistry, optical impression, CAD/CAM, implant, accuracy