

口腔内スキャナーの正確性と実用性

鬼原英道, 高藤恭子, 近藤尚知

Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review

Hidemichi Kihara, DDS, PhD, Kyoko Takafuji, DDS and Hisatomo Kondo, DDS, PhD

本論文は, Journal of Prosthodontic Research 64 巻 2 号の同名の出版物の翻訳を邦文論文として出版するものである。

抄 録

このレビューの目的は, 現在の口腔内スキャナーの精度と実用性およびその検証方法を評価することである。照度と色温度が口腔内スキャナーの真度と精度に影響を与えることが報告されていた。口腔内スキャナーの再現性は, 部分的な範囲では固定性補綴装置を製作できる可能性を示していたが, クロスアーチの固定式補綴装置に関しては, 現在のところ困難であると考えられた。しかし, マウスガードや義歯の製作に関しては, 口腔内スキャナーは, デスクトップスキャナーと同等であると考えられた。

口腔内スキャナーは進化するデバイスであるため, 今後さらなる精度向上が期待される。今後も口腔内スキャナーの精度の検証を行っていく必要があるであろう。

キーワード

口腔内スキャナー, デスクトップ スキャナー, デジタル印象, デジタル歯科

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this review is to evaluate accuracy and practicality of various intraoral scanners and verification method of intraoral scanners.

Study selection: This narrative review employed “Oral Scanner, Intraoral Scanners, Desktop Scanner, and Digital Impression” as main keywords.

Result: It was reported that illuminance and color temperature affected trueness and precision of intraoral scanners. The repeatability of intraoral scanners indicated the possibility of producing fixed prostheses within the range of being partially edentulous. It is considered difficult to use intraoral scanners in fabricating cross-arch fixed prostheses. However, with intraoral scanners, it may be considered possible to fabricate mouth guards and dentures equivalent to those of desktop scanners. Current intraoral scanner scans are considered more comfortable than traditional impressions that use irreversible hydrocolloid and elastomeric impression materials.

Conclusion: Since the intraoral scanner is an evolving device, further improvement in accuracy is expected in the future. In addition, verification of the accuracy of intraoral scanners must be conducted accordingly.

Key words:

Intraoral scanner, Desktop scanner, Digital impression, Digital dentistry

I. 緒 言

近年の歯科分野における最も重要な変化は、間違いなくデジタル歯科の発展と考えられる¹⁻⁵⁾。補綴装置の製作に関しては、コンピュータで設計されたフレームワークを切削加工することにより (CAD-CAM: Computer-aided design-Computer-aided manufacturing) 鋳造できないアルミナやジルコニアなどの審美的な材料を使用することができるようになった⁶⁻¹¹⁾。最近では、3D プリンターを使用した補綴装置の製作も報告されている¹²⁻¹⁷⁾。印象採得では、シリコン系材料を使用した従来の印象法の代わりに、口腔内スキャナーを使用することも可能となった^{11,18-26)}。口腔内スキャナーによる光学印象採得の利点としては、嘔吐反射の強い患者に有効であることや、部分的に印象面が不鮮明な場合、当該部位のみ再光学印象し上書きすることが可能である。また、臨床操作および技工操作にかかった時間に関して従来法との比較では、光学印象で行ったほうがトータルの時間が短縮されたことが報告されている²⁷⁻³⁰⁾。データの送信に関して、インターネットを使って患者のデータを歯科技工士に送信できるようになり、症例によっては石膏模型を送る必要がなくなった。歯列矯正の分野では、光学印象は、アルジネート印象材の代替としてのパラダイムシフトであると考えられている³¹⁾。ほとんどの矯正治療は長期間の治療を必要とし、初期の診断模型はその期間中に保管する必要がある。光学印象で得たデジタル模型は、従来の石膏模型のように物理的なスペースを占有せず、保管スペースの確保という点でも光学印象で取得したデジタル模型が有効であることは間違いない。

また、デジタル模型は、PC 上で迅速にアクセスできるため模型を探す手間がなく、専門家とのディスカッションのためにデジタルデータを転送することができるなど、いくつかの利点がある³¹⁻³⁴⁾。補綴装置の製造過程に関して、従来の方法と比較して多くの利点が報告されてきている。印象材の歪み^{35,36)}、石膏の膨張、模型を咬合器に装着の際のずれ、鋳造の収縮など、従来の方法で発生するすべての製造エラーを排除することができる。教育的な観点では、イリノイ大学は、卒前カリキュラムにおいてデジタル歯科を臨床前教育と臨床実習の両方に組み込んでいる³⁷⁾。さらに、天然歯の形成を評価するために、学生は形成後の支台歯を光学印象して確認することができる³⁸⁻⁴¹⁾。自身の支台歯形成を客観的に評価することで、より効率的な学習

が可能となる。

現時点では、口腔内スキャナーを使用した光学印象でどの程度の大きさの補綴装置の製造が可能かのコンセンサスは得られていない。また、口腔内スキャナーはさまざまなメーカーから販売されているが、その優位性はよくわかっていない。さらに、口腔内スキャナーがデスクトップスキャナーと比較してどの程度の精度を示すかについてもよく認識されていなく、評価方法については重ね合わせなどの評価方法が適切かどうかは検証されていない。このレビューの目的は、さまざまな口腔内スキャナーの精度と実用性、および口腔内スキャナーの検証方法を評価することである。

II. 文献の選択

このレビューは、2010 年から 2019 年の間に PubMed データベースに掲載された文献に基づいて製作された。検索時に使用された主なキーワードは、「口腔内スキャナー、デスクトップスキャナー、およびデジタル印象」であった。

III. 口腔内スキャナーの精度に影響する因子

口腔内スキャナーは、物体の表面の凹凸をスキャンして三次元データとして取り込む装置である。一般的には、対象物にレーザー照射してそのデータを三角形の面の集合であるポリゴンデータに変換することにより三次元データを採得する。つまり、レーザーを吸収する、またはレーザーを適切に反射しない物体は、データを取得することが困難な物体と考えられ正確な三次元データを作成することはできない。2017 年の論文では、照度と色温度が口腔内スキャナーの真度と精度に影響を与えることが報告された⁴²⁾。この報告では、3900 K (ケルビン) および 500 lx (ルクス) の条件が、光学印象を取得するための最も適切な照明条件であると結論付けていた。また、口腔内スキャナーで使用するためのスキャンパウダーに関して、パウダーを塗布することによりクラウンのマージンの適合に影響を与えると報告されている⁴³⁾。口腔内スキャナーに関する文献の多くは模型を使用しているが、実験環境は実際の口腔内の環境よりも良好であると考えられる。その環境下では、唾液、血液、開口量、患者の動作、湿潤環境などの外的要因は省かれる。これらの要因を検証するために、さらなる研究が必要であろう。

表 1 口腔内スキャナーの距離精度を比較した文献一覧

著者 (出版年度)	対象	検証方法	口腔内スキャナー	デスクトップ スキャナー	結果 (μm)				その他 **
					片顎以内の 距離の真度	全顎程度 の距離の 真度	片顎以内 の距離の 精度	全顎程度 の距離の 精度	
Mangano FG (2016)	上顎石膏模型の距離 測定 (3～6 のインプラント アナログを使用)	重ね合わせ法 (Geomagics 2012 [®])	Trios		72.1	71	51	67	
			CS 3500		47.8	63	40.8	55.2	
			Zfx Intrascan		117	103	126.2	112.4	
			Planscan		233	253	219.8	204.2	
Imburgia M (2017)	上顎石膏模型の距離 測定 (3～6 のインプラント アナログを使用)	重ね合わせ法 (Geomagics 2012 [®])	CS 3600		45.8	60.6	24.8	65.5	
			Trios 3		50.2	67.2	24.5	31.5	
			Cerec Omnicam		58.8	66.4	26.3	57.2	
			True Definition		61.4	106.4	19.5	75.3	
Fukazawa S (2017)	上顎模型の距離測定 (2本のインプラント アナログ使用)	距離測定法 (CNCCMM*)	Lava C.O.S.		15.4～38.1		1.0～13.0		
			True Definition (2nd)		7.2～27.3		0.4～11.3		
			True Definition (3rd)		14.2～21.3		0.3～4.6		
			TRIOS		1.0～8.1		0.6～12.6		
			KaVo ARCTICA		0.2～4.1		0.2～2.0		
Bosniac P (2018)	形成された天然歯を測 定 (マージナルギャップ)	マージン不適 合の測定	CEREC AC					86.09±61.46	
			Omnicam TRIOS					88.95±54.46	
Bohner LOL (2017)	形成された天然歯を測 定	重ね合わせ法 (GOM Inspect)	TRIOS					37.4	
			Cerec Bluecam					33.5	
					D250 Cerec InEosX5				45.8 42.2
Renne W (2017)	全顎模型の測定	重ね合わせ法 (Geomagic)	Planscan			96.2		124.6	
			3Shape D800			43.6		69.2	
			CEREC Omnicam			101.5		133.4	
			Cerec Bluecam			140.5		194.2	
			iTero			56.2		89.4	
			CS 3500			76		113.8	
			3Shape TRIOS 3			69.4		105.6	
Güth JF (2016)	チタンの模型を測定 (形成歯)	重ね合わせ法 (Best fit alignment: Geomagic)	CS 3500					14	
			Zfx Intrascan					33	
			CEREC AC Bluecam					29	
			CEREC AC Omnicam					31	
			True Definition					11	
Medina- Sotomayor P (2018)	上顎模型の測定 (エポキシレジン)	重ね合わせ法 (Best fit alignment: Geomagic)	TRIOS	20.6	55.3	63.7	194.5		
			iTero	31.7	94.5	85.9	246.8		
			Cerec AC Omnicam	36.4	98.3	93	261.8		
			True Definition	23.2	32.1	61.1	98.8		
van der Meer WJ (2012)	下顎の模型の測定 (石膏模型)	距離測定法 (Rapidform)	CEREC					80.6	
			iTero					65.8	
			Lava COS					19.1	
Ajioka H (2016)	下顎模型の測定 (2本のインプラント アナログ使用)	距離測定法 (CNCCMM*)	Lava COS		64.5		15.6		

* CNCCMM: 接触式形状測定機 (CNC 三次元座標測定機), ** その他: 測定部位が顎堤以外のもの

IV. スキャン範囲に関する口腔内スキャナー による STL データの再現性

口腔内スキャナーに関する多くの過去の文献では、スキャナーの再現性を確認するために精度と真度を検証している^{19,44-51)}。真度は真の値に近いことを示し、精度は再現性のレベルを示す。測定部位については文

献によってさまざまで、部分欠損のように比較的短い距離を測定するものもあれば、無歯顎のように長い距離を測定するものもある。過去の文献の中には、部分欠損モデルと無歯顎モデルの両方を検証した研究が報告されている (表 1)。2018 年の報告では、四つの口腔内スキャナー (Trios, iTero, Cerec, True Definition) を使用して、無歯顎モデルと部分欠損モ

デルとを測定している⁴⁴⁾。この研究では、部分欠損モデルで最良の真度を示したのは Trios (20.6 μm) で、次に True Definition (23.2 μm)、iTero (31.7 μm)、Cerec (36.4 μm) の順であった。無歯顎モデルで良好な結果を示したのは True Definition (32.1 μm) で、それ以外は Trios (55.3 μm)、iTero (94.5 μm)、Cerec (98.3 μm) の順であった。また、他の報告では、四つの口腔内スキャナー (CS 3600, Trios 3, Cerec Omnicam, True Definition) を使用して、デンタルインプラントを使用した無歯顎モデルおよび部分欠損モデルにおける精度と真度の検証が行われている⁴⁵⁾。この研究では、デスクトップスキャナーで取得した STL データをコントロールとして使用し、実験グループをコントロールに重ね合わせて精度と真度の検証が行われている。部分欠損モデルの真度の測定結果は、CS 3600 (44 \pm 44 μm)、Trios 3 (48 \pm 52 μm)、Cerec Omnicam (57 \pm 66 μm)、および True Definition (\pm 52 μm の 57) の順で最良であり、無歯顎モデルの測定では、CS 3600 (50 \pm 81 μm)、Trios 3 (57 \pm 89 μm)、Cerec Omnicam (63 \pm 87 μm)、および True Definition (84 \pm 89 μm) の順であった。2016 年の Mangano らの報告でも、四つの口腔内スキャナーを使用して部分欠損モデルと無歯顎モデルの両方を検証している⁴⁹⁾。この研究では、口腔内スキャナーは、部分欠損モデルと無歯顎モデルの両方で同様の結果を示していた。

一つの研究を除いて、結果はスキャン範囲が長くなるほど誤差が大きくなることが示唆されていた。部分欠損モデルを測定した報告で、一部分の口腔内スキャナーは 50 μm 未満の真度を報告していた。スクリー固定式インプラント支持補綴装置パッシブフィットまたは天然歯の補綴装置のセメントスペースが 50 μm 以上に設定されている場合、口腔内スキャナーは 2 本支台の部分的な補綴装置を製作できる可能性があるであろう。ただし、クロスアーチに及ぶ固定性補綴装置を製作する場合、口腔内スキャナーの真度は約 50 \sim 250 μm であるため、かなりの量の補正が必要となる場合があるであろう。

V. 口腔内スキャナーの再現性の検証方法

口腔内スキャナーの再現性にはさまざまな検証方法が報告されてきている。口腔内スキャナーで得られた STL データの正確性を検証するために、多くの研究ではコントロールの STL データと実験グループの STL データの重ね合わせを行っている^{44,45,47-49,52)}。こ

の手法以外の検証方法を用いた研究では、コントロールとして模型上の距離を正確な距離測定器で測定し、実験群の STL データ上の同部位の距離を計測してその比較を行っている^{46,50)}。多くの重ね合わせを行っている研究では、STL データを重ね合わせることができるソフトウェアを使用し (表 1)、その測定部位の誤差の合計を示している。これらの研究は、模型全体の正確性を必要とするマウスガードや全部床義歯などの補綴装置の製作の検証に役立つと考えられる。

2017 年に報告された研究では、模型上のデンタルインプラントのボールアバットメントの中心の距離を測定することにより、口腔内スキャナーの再現性を検証している⁴⁶⁾。この研究では、下顎の模型にデンタルインプラントを埋め込んだ後に上部にボールアバットメントを締結し、接触測定装置 (Computer Numerical Control Coordinate Measuring Machine: CNCCMM) で測定されたボールアバットメントの中心間距離をコントロールとしている。この CNCCMM で測定されたボールアバットメント間距離の距離誤差は、理論値で約 1 μm であった。実際の検証では、四つの口腔内スキャナー (Lava CO.S., True Definition (第 2 世代), True Definition (第 3 世代), および Trios) とコントロールを比較している。このような距離誤差を直接検証する研究は、口腔内スキャナーで得られたコンピューター上の模型の支台歯間距離やインプラント間距離の誤差にそのまま反映されると考えられる。口腔内スキャナーを用いた固定補綴装置の製造精度を検証する場合、重ね合わせ法と測定距離法の両方を評価する必要があるであろう。

VI. 口腔内スキャナーとデスクトップスキャナーの比較

口腔内スキャナーとデスクトップスキャナーを比較した研究がいくつか報告されている。そもそも、STL データを重ね合わせて検証した研究の場合、多くの研究ではデスクトップスキャナーがコントロールとして使用されている。その結果、デスクトップスキャナーと口腔内スキャナーを比較する研究の数は当然多くはない。2017 年に報告された研究では、口腔内スキャナーとデスクトップスキャナーで模型上に形成された支台歯の STL データの再現性を検証した⁵²⁾。この研究では、コントロールとして工業用エックス線 CT (Zeiss Metrotom; Zeiss) が用いられた。検証方法は、支台歯を軸面部分、咬合面部分の三つの領域に分けた後、各測定点の誤差を計算し、それぞれの誤差を加算することによって行われた。その結果、口腔内スキャ

表 2 患者満足度を口腔内スキャナーと従来の印象法とで比較した文献一覧

著者	出版年	患者数	口腔内スキャナー	患者満足度が高い印象法
Sfondrini MF	2018	14	Trios	口腔内スキャナー
Mangano A	2018	30	CS3600	口腔内スキャナー
Burzynski JA	2017	180	Trios, iTero	口腔内スキャナー
Vasudavan S	2010	30	Lava Cos	口腔内スキャナー
Grünheid T	2014	15	Lava Cos	アルジネート印象

ナーはデスクトップスキャナーよりも正確であることが示された。また、その他の研究では、四つの口腔内スキャナーとデスクトップスキャナーの位置の再現性が検証された⁴⁶⁾。この研究によると、口腔内スキャナーとデスクトップスキャナーの両方を含むすべてのスキャナーの中で、デスクトップスキャナーが最もエラーが少ない結果であった。これらの論文を考慮すると、モデルの重ね合わせから得られる全体的な形状の再現性は、口腔内スキャナーとデスクトップスキャナーでほぼ同等であった可能性がある。ただし、距離精度の再現性に関しては、口腔内スキャナーに比べてデスクトップスキャナーの方が、より精度が高い可能性があると考えられる。また、このセクションで参照された上記の口腔内スキャナーの中で、Trios が最良の結果を出し、デスクトップスキャナーのパフォーマンスに最も近いと考えられた。口腔内スキャナーを使用してマウスガードや総義歯などの可撤性補綴装置の製作は可能と考えられるが、クロスアーチの固定補綴装置を製作するのは現在のところ困難であろう。

VII. 従来の印象法と比較した光学印象の患者満足度

2018年にTriosを使用した患者満足度に関する研究が報告され、光学印象とアルジネートを用いた従来の印象法で、快適さ、時間、器具のサイズ、嘔吐反射などが調査された⁵³⁾。この研究では、口腔内スキャナーを使用した光学印象は、従来の印象採得と比較して、すべての質問項目で良好な結果を示していた。また、歯科矯正治療の患者30人を対象に、従来のアルジネート印象と光学印象を視覚的アナログスケール(VAS)法で比較した研究が報告されている⁵⁴⁾。その結果、印象採得時の快適性、嘔吐反射、呼吸の点で光学印象の方が従来法よりも優れていた。ただし、印象時間に関しては、従来法の方が若干早いという結果が得られた。他の研究では、180人の歯科矯正患者に対してiTeroとTriosを使用した光学印象と従来のアルジネートの印象法を比較している。この研究では、光

学印象はより長い印象時間を必要としたが、口腔内スキャナーの種類に関係なく、全体的な患者の満足度は高かった⁵⁵⁾。Lava C.O.S.を使用して30人の患者に光学的印象かつアルジネート印象を実施した研究では、光学印象が良好な結果であった⁵⁶⁾。さらに、Lava C.O.Sとアルジネート印象材を使用した研究では、15人の歯列矯正患者が対象とした²⁹⁾。この研究では、従来のアルジネート印象を好む患者が多かった(表2)。

前世代の口腔内スキャナーを使用した研究では、患者は、処置法、スキャン速度などの点で、光学印象よりもアルジネート印象などの従来法の印象を好む傾向があった。しかし、ハードウェア技術の向上により、スキャン速度が改善され、ハードウェアデバイスのサイズが縮小された。そのため、近年の研究では、多くの患者が口腔内スキャナーの方が快適であると回答している。これらの研究では、シリコン系印象材を使用した印象法よりもアルジネート印象材の方が、取り扱いが容易であったために使用されたと考えられる。したがって、アルジネート印象材よりもさらに取り扱いが難しく印象時間が長いシリコン系印象と光学印象とを比較すると、光学印象は患者の受け入れに関してシリコン系印象材より優れた結果をもたらすことは明確であろう。

VIII. 結 論

照度と色温度が口腔内スキャナーの真度と精度に影響を与えることが報告されていた。口腔内スキャナーの再現性は、部分的な範囲に関しては固定性補綴装置の製造を可能すると考えられる。また、口腔内スキャナーを使用した広範囲なクロスアーチの固定性補綴装置の製作は、現時点では困難であると考えられる。しかしながら、マウスガードや全部床義歯のような可撤性補綴装置に関しては、口腔内スキャナーを使用して製作できる可能性があるであろう。口腔内スキャナーの精度の検証法に関して、STLデータの重ね合わせを使用した研究は、作業模型全体の大まかな適合性が

求められる補綴装置の検証に役立つと考えられる。したがって、口腔内スキャナーを使用した固定性補綴装置の正確性の検証では、重ね合わせ法と測定距離法の両方で評価する必要があると考えられる。また、患者の快適性に関しては、現在の口腔内スキャナーによるスキャンは、アルジネート印象材またはシリコーン系印象材を使用する従来の印象法よりも快適であると考えられる。

文 献

- 1) Lo Russo L, Caradonna G, Biancardino M, De Lillo A, Troiano G, Guida L. Digital versus conventional workflow for the fabrication of multiunit fixed prostheses: a systematic review and meta-analysis of vertical marginal fit in controlled in vitro studies. *J Prosthet Dent* 2019; 122: 435-40.
- 2) Cervino G, Fiorillo L, Arzukanyan AV, Spagnuolo G, Ciccù M. Dental restorative digital workflow: digital smile design from aesthetic to function. *Dent J (Basel)* 2019; 7: 30.
- 3) Brown GB, Currier GF, Kadioglu O, Kierl JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018; 154: 733-9.
- 4) Mangano F, Shibli JA, Fortin T. Digital dentistry: new materials and techniques. *Int J Dent* 2016; 2016: 5261247.
- 5) Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204: 505-11.
- 6) Naveau A, Rignon-Bret C, Wulfman C. Zirconia abutments in the anterior region: a systematic review of mechanical and esthetic outcomes. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 775-81.e1.
- 7) Hüttig F, Keitel JP, Prutscher A, Spintzyk S, Klink A. Fixed dental prostheses and single-tooth crowns based on ceria-stabilized tetragonal zirconia/alumina nanocomposite frameworks: outcome after 2 years in a clinical trial. *Int J Prosthodont* 2017; 30: 461-4.
- 8) Cenci SN, Gontarsky IA, Moro MG, Pinheiro LOB, Samra APB. Anterosuperior rehabilitation with metal-free fixed prosthesis based on zirconia. *Eur J Dent* 2017; 11: 253-7.
- 9) Keul C, Stawarczyk B, Erdelt KJ, Beuer F, Edelhoff D, Güth JF. Fit of 4-unit FDPs made of zirconia and cocr-alloy after chairside and labside digitalization--a laboratory study. *Dent Mater* 2014; 30: 400-7.
- 10) Bertolini Mde M, Kempen J, Lourenço EJ, Telles Dde M. The use of CAD/CAM technology to fabricate a custom ceramic implant abutment: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2014; 111: 362-6.
- 11) An S, Kim S, Choi H, Lee JH, Moon HS. Evaluating the marginal fit of zirconia copings with digital impressions with an intraoral digital scanner. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 1171-5.
- 12) Jang Y, Sim JY, Park JK, Kim WC, Kim HY, Kim JH. Accuracy of 3-unit fixed dental prostheses fabricated on 3D-printed casts. *J Prosthet Dent* 2020; 123: 135-42.
- 13) Cole D, Bencharit S, Carrico CK, Arias A, Tüfekçi E. Evaluation of fit for 3D-printed retainers compared with thermoform retainers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2019; 155: 592-9.
- 14) Favero R, Volpato A, Francesco M, Fiore AD, Guazzo R, Favero L. Accuracy of 3D digital modeling of dental arches. *Dental Press J Orthod* 2019; 24: 38e1-7e7.
- 15) Kalberer N, Mehl A, Schimmel M, Müller F, Srinivasan M. CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: an in vitro evaluation of trueness. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 637-43.
- 16) Xiao N, Sun YC, Zhao YJ, Wang Y. A method to evaluate the trueness of reconstructed dental models made with photo-curing 3D printing technologies. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 2019; 51: 120-30.
- 17) Kalman L. 3D printing of a novel dental implant abutment. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2018; 12: 299-303.
- 18) Cappare P, Sannino G, Minoli M, Montemezzi P, Ferrini F. Conventional versus digital impressions for full arch screw-retained maxillary rehabilitations: a randomized clinical trial. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16: 829.
- 19) Bosniac P, Rehmann P, Wöstmann B. Comparison of an indirect impression scanning system and two direct intraoral scanning systems in vivo. *Clin Oral Investig* 2019; 23: 2421-7.
- 20) 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* 2018; 37: 628-33.
- 21) Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M, Sato Y, Ohkubo C, Matsumura H. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J Oral Sci* 2018; 60: 1-7.
- 22) Dauti R, Cvikl B, Franz A, Schwarze UY, Lilaj B, Rybaczek T et al. Comparison of marginal fit of cemented zirconia copings manufactured after digital impression with lava™ C.O.S and conventional impression technique. *BMC Oral Health* 2016; 16: 129.
- 23) Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig* 2016; 20: 1495-504.
- 24) Pradies G, Zarauz C, Valverde A, Ferreira A, Martínez-Rus F. Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions based on wavefront sampling technology. *J Dent* 2015; 43: 201-8.
- 25) Anadioti E, Aquilino SA, Gratton DG, Holloway JA, Denry IL, Thomas GW et al. Internal fit of pressed and computer-aided design/computer-aided manufac-

- turing ceramic crowns made from digital and conventional impressions. *J Prosthet Dent* 2015; 113: 304-9.
- 26) Svanborg P, Skjerven H, Carlsson P, Eliasson A, Karlsson S, Ortorp A. Marginal and internal fit of cobalt-chromium fixed dental prostheses generated from digital and conventional impressions. *Int J Dent* 2014; 2014: doi: 10.1155/2014/534382.
- 27) Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27: e185-e9.
- 28) Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27: e185-e9.
- 29) Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 146: 673-82.
- 30) Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health* 2014; 14: 10.
- 31) Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Intraoral digital scanners. *J Clin Orthod* 2014; 48: 337-47.
- 32) Martin CB, Chalmers EV, McIntyre GT, Cochrane H, Mossey PA. Orthodontic scanners: what's available? *J Orthod* 2015; 42: 136-43.
- 33) de Waard O, Rangel FA, Fudalej PS, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Breuning KH. Reproducibility and accuracy of linear measurements on dental models derived from cone-beam computed tomography compared with digital dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 146: 328-36.
- 34) Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 2011; 14: 1-16.
- 35) Schaefer O, Schmidt M, Goebel R, Kuepper H. Qualitative and quantitative three-dimensional accuracy of a single tooth captured by elastomeric impression materials: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2012; 108: 165-72.
- 36) Ragain JC, Grosko ML, Raj M, Ryan TN, Johnston WM. Detail reproduction, contact angles, and die hardness of elastomeric impression and gypsum die material combinations. *Int J Prosthodont* 2000; 13: 214-20.
- 37) Afshari FS, Sukotjo C, Alfaro MF, McCombs J, Campbell SD, Knoernschild KL et al. Integrating dentistry into a predoctoral implant program: program description, rationale, and utilization trends. *J Dent Educ* 2017; 81: 986-94.
- 38) Strain KJ, Tiu J, Mackie J, Bonsor SJ, Ibbetson RJ. Adequately prepared? a study using an innovative computer application to measure clinical crown convergence angles achieved by students at a UK dental school. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2019; 27: 32-8.
- 39) Nagy ZA, Simon B, Tóth Z, Vág J. Evaluating the efficiency of the dental teacher system of digital as a digital preclinical teaching tool. *Eur J Dent Educ* 2018; 22: e619-e23.
- 40) Mays KA, Crisp HA, Vos P. Utilizing CAD/CAM to measure total occlusal convergence of preclinical dental students' crown preparations. *J Dent Educ* 2016; 80: 100-7.
- 41) Cardoso JA, Barbosa C, Fernandes S, Silva CL, Pinho A. Reducing subjectivity in the evaluation of pre-clinical dental preparations for fixed prosthodontics using the Kavo PrepAssistant. *Eur J Dent Educ* 2006; 10: 149-56.
- 42) Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, Suzuki T, Minakuchi S. Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intra oral scanner. *J Prosthodont Res* 2018; 62: 324-9.
- 43) Prudente MS, Davi LR, Nabbout KO, Prado CJ, Pereira LM, Zancopé K et al. Influence of scanner, powder application, and adjustments on CAD-CAM crown misfit. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 377-83.
- 44) Medina-Sotomayor P, Pascual-Moscardo A, Camps AI. Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 811-20.
- 45) Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health* 2017; 17: 92.
- 46) Fukazawa S, Odaira C, Kondo H. Investigation of accuracy and reproducibility of abutment position by intraoral scanners. *J Prosthodont Res* 2017; 61: 450-9.
- 47) Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: an in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent* 2017; 118: 36-42.
- 48) Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig* 2017; 21: 1445-55.
- 49) Mangano FG, Veronesi G, Hauschild U, Mijiritsky E, Mangano C. Trueness and precision of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *PLoS One* 2016; 11: e0163107.
- 50) 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* 2016; 11: e0164048.
- 51) van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One* 2012; 7: e43312.
- 52) Bohner LOL, De Luca Canto G, Marció BS, Laganá DC, Sesma N, Tortamano Neto P. Computer-aided analysis

- of digital dental impressions obtained from intraoral and extraoral scanners. *J Prosthet Dent* 2017; 118: 617-23.
- 53) Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized casts for orthodontic purpose using powder-free intraoral scanners: accuracy, execution time, and patient feedback. *Biomed Res Int* 2018; 2018: 4103232.
- 54) Mangano A, Beretta M, Luongo G, Mangano C, Mangano F. Conventional vs digital impressions: acceptability, treatment comfort and stress among young orthodontic patients. *Open Dent J* 2018; 12: 118-24.
- 55) Burzynski JA, Firestone AR, Beck FM, Fields HW Jr, Deguchi T. Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: time and patient satisfaction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018; 153: 534-41.
- 56) Vasudavan S, Sullivan SR, Sonis AL. Comparison of intraoral 3D scanning and conventional impressions for fabrication of orthodontic retainers. *J Clin Orthod* 2010; 44: 495-7.

著者連絡先：鬼原 英道

〒020-8505 岩手県盛岡市内丸19-1

Tel: 019-651-5111 (内線 4323)

Fax: 019-652-3820

E-mail: hidemichi.khr@gmail.com