

## 鶴見大学大学院歯学研究科博士学位論文

## 内容の要旨および審査の結果の要旨

氏名(本籍) 伊藤光彦(東京都)  
博士の専攻分野 博士(歯学)  
学位記番号 甲第489号  
学位授与年月日 平成31年3月14日  
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当  
研究科専攻 鶴見大学大学院歯学研究科  
(博士課程) 歯学専攻  
学位論文題目 Verification of reproducibility of surface profile and small step height in dental scanners  
(各種スキャナーにおける平面と微小段差の再現性の検討)  
日本顎口腔機能学会雑誌 Accept  
論文審査委員 主査 教授 早川 徹  
副査 教授 山本雄嗣 副査 教授 小川 匠

## 内容の要旨

## 【目的】

これまでロストワックス法で製作されていた歯冠修復は、近年、医用工学技術の発展により機械加工による製作が広く臨床に定着している。更に、シリコンなどを用いた印象採得は、光学技術による取得したデジタルデータを3次元形態に再構築し仮想空間内に再現することを可能とした口腔内スキャナーの臨床応用が始まっている。それに伴い、CAD/CAMシステムについての多方面な研究がなされており、中でも、作製したクラウンの適合精度を評価している研究が散見される。しかし、これらの報告では、CAD/CAMシステムの各作業工程における誤差の発生を特定することは難しく、言い換えれば、スキャン、設計、切削などの製作過程や使用材料や補綴装置の種類などにより様々な誤差が発生することが考えられる。そこで今回、CAD/CAMシステムにおけるスキャンのみに注目し、取得したデータの解析を行い、発生誤差を明確にすることがCAD/CAMシステムで製作する補綴装置の精度向上に繋がると考えた。

本研究においては、精度の保証された既知の幾何学モデルを使用し、各種スキャナーのスキャンおよび三次元構築における、形態再現性への影響を検討することとした。また、支台歯は咬合面や軸面などの平滑面と、歯肉溝に隣接したフィニッシュラインと呼ばれる微小段差からなる。そのため、幾何学モデルは、その2つの要素を持ち合わせるものとした。

本研究は、各種歯科用スキャナーにおける、平面および微小段差の形態再現精度について検討することである。

## 【方法】

対象は、段差計測用基準モデル(セラ段差マスタ 300C: Mitsutoyo)とした。四角形の平面を有したゲージ(G)が階段状を呈しており、G1からG5にかけて低くなる構造である。各Gの段差は、G1-G2間が300 $\mu$ m、G2-G3間100 $\mu$ m、G3-G4間50 $\mu$ m、G4-G5間20 $\mu$ mである。

使用したスキャナーは、模型スキャナー(LS)2機種、口腔内スキャナー(IOS)2機種とした。LSは、D900(D9: 3Shape)、Ceramill map400(M4: Amann Girrbach)、IOSは、Trios3(TR3: 3Shape)、Trophy CS3600(CS36: Carestream)を用いた。

スキャン回数は、各機種10回とし、それぞれ専用のソフトウェアにて処理され、STL形式とした。実験室内の光量および温度(23~25 $^{\circ}$ C)は一定とし、術者は、熟練した術者1名が担当した。LSは、対象がスキャナテーブルの中央に位置するよう設置し、各メーカーの指示に従いスキャン操作を行った。IOSは、対象の半分をG1からG5までスキャンし、その後G5からG1まで残りをスキャンした。また、IOSの場合、特徴点が不明確であると、三次元構築が不能もしくは精度が

低下すると報告されており、専用のランドマークジグを作製し使用した。

解析は、三次元解析ソフト（Rapidform2006：INUS Technology）を用いた。検討項目は、平滑面における平面度と段差検出能である。

平面度の評価には、G1を用いた。G1上に関心領域（ROI）を設定し、スキャンデータの、最小-最大値間距離を求め、平面度を評価した。

段差検出能の評価には、段差マスタのすべてのG（1-5）を用いた。各5つのG上に、前項と同様にROIを設定した。次に、G1の近似平面を拡大し、すべてのGを覆うような基準平面を作成した。基準平面と各GのROI内のポリゴン頂点までの距離（段差）を求め、評価した。

統計解析は、統計解析ソフトウェア（SPSS statistic22：IBM）を使用し、一元配置分散分析（Tukey HSD）を行い、有意水準5%（ $p < 0.05$ ）をもって、有意差ありとした。

#### 【結 果】

1. スキャンの可否について、CS3600以外の機種は、ランドマークジグなしでスキャン可能であった。

2. LSにおいて、平面度はそれぞれ、D9： $9.68 \pm 3.07 \mu\text{m}$ 、M4： $10.18 \pm 3.47 \mu\text{m}$ であった。一方、IOSにおける、平面の再現性は、TR3： $15.10 \pm 7.46 \mu\text{m}$ 、CS36： $25.94 \pm 12.24 \mu\text{m}$ であった。CS36とその他の3機種の間、統計的有意差が認められ、CS36の平面度は有意に低い値を示した。

3. 計測した各段差の値を（平均 $\pm$ S.D.）とした。

D9において各段差は、G1-G2間： $300.38 \pm 0.24 \mu\text{m}$ 、G1-G3間： $399.62 \pm 0.43 \mu\text{m}$ 、G1-G4間： $447.71 \pm 0.62 \mu\text{m}$ 、G1-G5間： $464.95 \pm 0.79 \mu\text{m}$ であった。

M4で各段差は、G1-G2間： $301.06 \pm 1.05 \mu\text{m}$ 、G1-G3間： $400.61 \pm 2.13 \mu\text{m}$ 、G1-G4間： $450.75 \pm 3.36 \mu\text{m}$ 、G1-G5間： $470.59 \pm 4.53 \mu\text{m}$ であった。

TR3で各段差は、G1-G2間： $296.97 \pm 6.10 \mu\text{m}$ 、G1-G3間： $399.05 \pm 18.59 \mu\text{m}$ 、G1-G4間： $455.42 \pm 35.02 \mu\text{m}$ 、G1-G5間： $483.33 \pm 49.55 \mu\text{m}$ であった。

CS36で各段差は、G1-G2間： $294.49 \pm 6.46 \mu\text{m}$ 、G1-G3間： $371.90 \pm 16.07 \mu\text{m}$ 、G1-G4間： $383.5 \pm 30.84 \mu\text{m}$ 、G1-G5間： $345.75 \pm 49.45 \mu\text{m}$ であった。

LSの2機種においては、すべてのG間に有意差が認められ、段差に換算すると300～20 $\mu\text{m}$ までの段差を検出可能であることが示唆された。一方、IOSでは、TR3は50 $\mu\text{m}$ 以下、CS36では、100 $\mu\text{m}$ 以下の段差は、検出困難であることが示唆された。

また、コントロール値と計測値の差（絶対値）を比較すると、D9、M4、TR3、CS36：0.12-1.1%、0.41-0.73%、2.03-7.77%、2.34-26.43%の誤差範囲を示した。LSはIOSと比べ、段差の再現性が高いことが示唆された。

#### 【考 察】

1. CS36は、ランドマークジグなしでスキャンすることが困難/不能であった。それは、一回の撮像範囲が狭く、連続して画像をつなぎ合わせていく際の特徴点の不足が考えられる。

2. LSは、スキャンの際スキャナー自体に独自の座標系が存在し、スキャンテーブルが正確に移動することで精度を担保している。IOSでは、スキャン開始時点が原点になりデータ取得する。そのため、手の微小な動きや画像のつなぎ合わせの過程における誤差も含まれると考えられる。

3. TR3は50 $\mu\text{m}$ 以下、CS36では、100 $\mu\text{m}$ 以下の段差は、検出困難であることが示唆された。IOSの場合、平面度が20～30 $\mu\text{m}$ であることから、段差を表現する際には、隣接する2面における誤差の和、すなわち、最大40～60 $\mu\text{m}$ の影響が考えられる。それら影響により、段差が小さい場合、隣接した異なる面の頂点を連結して、一つの面を形成してしまう可能性が考えられる。

#### 【まとめ】

今回、各種歯科用スキャナーにおける、形態再現精度について検討した。その結果、スキャンおよび三次元構築の処理過程において生じる誤差は、IOSと比較し、LSで小さかった。また、既知の幾何学モデルを使用することにより、各機種間における、段差検出能を比較検討することができた。さらに、その結果から、CAD/CAMシステムを用いる際の、臨床的条件を提示できた。

## 審査の結果の要旨

近年、CAD/CAM システムによる歯冠修復物の製作が歯科臨床において発展している。さらに、印象採得技術に関しても、光学技術を利用した口腔内スキャナーの臨床応用が始まっている。製作された歯冠修復物の適合精度は、スキャン、設計、切削などの製作過程や使用材料、補綴装置の種類などにより影響を受けることが考えられる。本研究では、特にスキャン操作によって発生する誤差に注目し、精度の保証された既知の幾何学モデルを使用し、各種スキャナーによる三次元構築における形態再現性への影響を検討することとした。

予備実験の結果から、模型スキャナー 2 機種、口腔内スキャナー 2 機種を用いた。模型スキャナーとしては、D900 (D9)、Ceramill map400 (M4)、口腔内スキャナーとしては、Trios3 (TR3)、Trophy CS3600 (CS36) を用いた。幾何学モデルとしては、段差計測用基準モデルを用いた。このモデルは、5つの四角形平面を有したゲージ (G) が階段状を呈している。それぞれの段差は、G1-G2 平面間：300  $\mu\text{m}$ 、G2-G3 平面間：100  $\mu\text{m}$ 、G3-G4 平面間：50  $\mu\text{m}$ 、G4-G5 平面間：20  $\mu\text{m}$  となっている。スキャン回数は、各機種 10 回とし、それぞれ専用のソフトウェアにて処理し STL 形式とした。実験室内の光量および温度 (23 ~ 25 $^{\circ}\text{C}$ ) は一定とし、熟練した術者 1 名が担当した。口腔内スキャナーの場合、専用のランドマークジグを作製して操作を行った。段差計測用基準モデルの平滑面における平面度と段差検出能を検討項目とした。

その結果、平面度においては、口腔内スキャナーである CS36 とその他の 3 機種間に統計的有意差が認められ、CS36 の平面度は有意に低い値を示した。また、段差検出能の測定では、模型スキャナーの 2 機種においては、300 ~ 20  $\mu\text{m}$  までの段差を検出可能であった。一方、口腔内スキャナー TR3 は 50  $\mu\text{m}$  以下、CS36 では 100  $\mu\text{m}$  以下の段差は検出困難であり、模型スキャナーは口腔内スキャナーよりも段差の再現性が高いことが示唆された。

以上、本研究は、模型スキャナーおよび口腔内スキャナーを用いた際に生じる誤差を明確にすることができ、CAD/CAM システムを用いる際の臨床的条件を提示できた。これらの結果は、CAD/CAM システムを用いた補綴臨床の発展に大いに寄与するものと考えられる。

よって、本論文は博士 (歯学) の学位請求論文として十分な価値を有するものと判定した。