

CAD/CAM クラウンにおける歯冠形態再現性  
—歯冠外形と浮き上がりの検討—

橋戸 広大      磯貝 知範      三浦 賞子  
佐藤 雅介      勅使河原大輔      斉藤 小夏  
藤田 崇史      藤澤政紀

明海大学歯学部機能保存回復学講座歯科補綴学分野

Reproducibility of crown form fabricated with CAD/CAM System

—External crown form and  
vertical discrepancy at placement—

HASHIDO Kodai, ISOGAI Tomonori, MIURA Syoko,  
SATO Masayuki, TESHIGAWARA Daisuke, SAITO Konatsu,  
FUJITA Takafumi, FUJISAWA Masanori

Division of Fixed Prosthodontics, Department of Restorative &  
Biomaterials Sciences, Meikai University School of Dentistry

キーワード：STL, 歯冠形態, 浮き上がり, 差分  
STL, crown form, vertical discrepancy, difference

## Abstract

### Purpose

There are many clinical benefits for reproducing the existing tooth crown form in prosthodontic treatment. In this study, we determined reproducibility of crown form based on two points of view:

1) The morphological reproducibility of external tooth crown form using a CAD/CAM crown

fabricated to reproduce the existing tooth crown form and 2) the effects of vertical discrepancy on occlusal vertical dimension after cementation.

### Material and Methods

An intraoral scanner (3DI Pro, Trophy Solution) was used to acquire Standard Triangulated Language (STL) of an upper right first premolar tooth model and its crown, which was fabricated by the reproduction technique. Both sets of data were superimposed and the difference in measurement points with the external tooth crown form was evaluated.

To evaluate the effects of vertical discrepancy on occlusal vertical dimension after cementation, six conditions were evaluated. These were configured with three total convergence angles (12°, 16°, and 20°) and two luting spaces (25 and 50  $\mu$  m). The crown was seated, and the STL data for the tooth model and crown were acquired using the same method that was used for the external form

measurement. Subsequently, the difference between the crown and tooth model data for occlusal contact points were measured, and the effects of vertical discrepancy on occlusal vertical dimension after cementation were verified.

## Result

In the verification of the morphological reproducibility of external tooth crown form, a mean value was  $15.6 \pm 10.9 \mu\text{m}$ . In the verification of the effects of vertical discrepancy on occlusal vertical dimension after cementation, the highest value difference at occlusal contact points was  $199.6 \pm 25.2 \mu\text{m}$  at a convergence angle of  $12^\circ$  with a luting space of  $25 \mu\text{m}$ ; the lowest value was  $80.8 \pm 59.5 \mu\text{m}$  at a convergence angle  $16^\circ$  and luting space of  $50 \mu\text{m}$ .

## Conclusion

These results indicated that despite achieving a good reproducibility of the external crown form, vertical discrepancy after cementation greatly affected the reproducibility of tooth crown form with this system.

## 緒言

歯科臨床において、補綴歯科治療による歯冠形態の変化により咬合違和感を生じる場合がある<sup>1)</sup>。咬合違和感を訴える原因は多岐にわたり<sup>1,2)</sup>、病態が不明であるため治療法が確立されておらず、様々なアプローチがなされてきた<sup>3-5)</sup>。咬合違和感症候群は、「咬合の違和感を訴える病態の包括的症候群で、明らかな咬合の不調和が認められる場合も、明らかな咬合の不調和が認められない場合（いわゆる特発性）も含めたものをさす」と定義づけられている<sup>1)</sup>。口腔内の状態変化により生じることが、原因の一つと考えられていることから、補綴歯科治療前の既存の歯冠形態を最終補綴装置へ移行することにより、咬合違和感を予防できる可能性がある。

その対策の一つとして、2回鑄造法が挙げられている<sup>6,7)</sup>。2回鑄造法による補綴歯科治療は、ベースクラウンの咬合面にレジンを添加し、口腔内で調整後付与された機能的な咬合面形態を鑄接により金属に置換することで、最終補綴装置に移行する際の咬合の変化を最小限に抑えることが可能である<sup>6)</sup>。一方、Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM)システムを用いたクラウン製作法では、従来法にて形態回復したワックスパターンをCADデータへ反映するダブルスキャン法や、支台歯形成前の歯、もしくはプロビジョナルレストレーションのスキャンデータを光学印象により作成し、最終補綴装置を設計するリプロダクションテクニックが紹介されており<sup>8-12)</sup>、2回鑄造法に準じた臨床応用がなされている。しかしながら、これまでCAD/CAMシステムにより製作した補綴装置の内面適合性と辺縁適合性に関する報告が多くなされてきた<sup>13-25)</sup>が、リプロダクションテクニックにより製作したクラウンの形態再現性に関する報告はなされていない。

また、臨床ではクラウン装着時の浮き上がりにより過高なクラウンとなることが知られており、製作上の問題点としてクラウンの適合性が影響している<sup>26)</sup>と考えられる。しかしながら、リプロダクションテクニックにより製作したクラウンの臨床応用時に、顎口腔系に影響すると考えられる咬合高径への影響を検証した報告はなされていない。

このように、既存の歯冠形態を再現したクラウンが、口腔と調和して機能するためには、形態の再現性と装着時の浮き上がりという2つの大きな課題を解決する必要がある。そこで、リプロダクションテクニックにより製作した補綴装置の歯冠外形の形態再現性と、支台歯のテーパーとセメントスペースの違いが咬合の高さへ及ぼす影響を調べ、既存の歯冠形態を再現した補綴装置の装着時における再現性を検証する目的で本研究を行った。

## 材料および方法

### 1. 光学印象精度の検討

#### 1) 口腔内スキャナーの精度

先行研究では、スキャン精度を検証する際、スキャン対象としてステンレス製の金型が多く用いられている<sup>27-29)</sup>が、スキャンによる乱反射の影響を考慮してパウダリングが必要となる。そのため、本研究ではポリエーテルエーテルケトン (PEEK, クオドラントポリペンコジヤパン) を用いて、支台歯を想定した原型 (以下, 原型) を製作した (図 1)。本原型は、NC 旋盤複合加工機 (NL2000, DMG 森精機) により製作した。CAD/CAM クラウンの支台歯形態<sup>35)</sup>に準じ、頬舌側軸面のテーパー $12^\circ$ 、辺縁形態を全周ディープシャンファーとした。基準データ作成のため、図 1 に示す黒点間、白点間の 2 点間距離 (それぞれ直径 A, 直径 B) をデジマチック標準外側マイクロメータ (MDC-25M, ミットヨ) を用いて計測した。その後、口腔内スキャナー (3DI Pro, Trophy Solution, ヨシダ) により 3 回スキャンを行い、原型の Standard Triangulated Language (STL) データを作成し、それぞれ P1, P2, P3 とした。原型の計測部位に相当する P1, P2, P3 の 2 点間距離をリバースエンジニアリングソフトウェア (GOM Inspect, GOM, GmbH) を用いて求め、得られた計測値と基準データの値を比較することでスキャン精度を検証した。

#### 2) 口腔内スキャナーの再現性

上顎右側犬歯から上顎右側第二小臼歯の模型歯 (A5A-500, NISSIN) をスキャン対象とした。口腔内スキャナーを使用し模型歯を 3 回スキャンした。比較のためにデスクトップスキャナー (Ceramill Map400, ceramill, Amanngirrbach, Austria) にて同様にスキャンを行い、作

成した STL データをスキャナーごとにそれぞれ重ね合わせ、同部位の STL データ間の差分を計測した。

### 3) 手ぶれの影響

スキャン対象を上顎右側第一小臼歯の模型歯とした。口腔内スキャナーを固定して作成した STL データと、フリーハンドで作成した際の STL データ間の差分を計測した。STL データの作成には、本術式に熟達した歯科医師 1 名が行なった。スキャン時のスキャナー固定に際しては、模型歯の歯軸に対し 45° の角度でパターン光が入射するように台座にスキャナーを固定し、20 秒で 1 回転する円形のターンテーブル (PMM-6wh, PLATZ) の中心に模型歯を設置してスキャンした (図 2)。2 種類のスキャン方法で 3 回ずつ STL データを作成し、9 通りの組み合わせで重ね合わせ、設定した同一部位における STL データ間の差分を計測した。

## 2. 歯冠形態再現性

### 1) 試料の製作

上顎右側第一小臼歯の既製のジャケットクラウン用の支台歯形成された模型歯(A55A-141, NISSIN)に対し、CAD/CAMクラウン用の支台歯形態<sup>30)</sup>に準じ、頬舌側テーパーを20°、咬合面削除量を機能咬頭で2mm、非機能咬頭で1.5mm、軸面の削除量を1.0~1.5mm、辺縁形態を全周ディープシャンファーとなるように調整した(以下、支台歯模型)。形成量確認用インストルメント(プレップシュア, モリムラ)を用いて、支台歯の咬合面削除量を確認した。

口腔内スキャナーを用いて、上顎右側第一小臼歯の模型歯(A5A-500, NISSIN)と調整した支台歯模型のSTLデータを作成し、デザインソフト(exoCAD, KaVo Dental Systems)を用いて

重ね合わせた。基準となる標点を、歯根の遠心軸面中央に定め、この標点を基準とし、外形が重なるようにSTLデータを重ね合わせた。セメントスペースを $50\mu\text{m}$ に設定した。

得られたデザインデータをもとに、ミリングマシン(COEX150, DOOWON)により、歯科切削加工用レジン材料(松風ブロックHC, 松風)を用いて支台歯模型1個につきクラウンを5個製作した。

## 2) STLデータの作成

製作したクラウンを支台歯模型に装着した状態で、スキャナーによりSTLデータ(クラウンモデル)を作成した。また、支台歯形成をしていない上顎右側第一小臼歯の模型歯をスキャンして得られたSTLデータを模型歯モデルとした(図3左)。

## 3) 模型歯モデルとクラウンモデルのデータ間の差分計測

歯冠外形を基準として、リバーエンジニアリングソフトウェアを用いて模型歯モデルとクラウンモデルを重ね合わせ両者の差分(以下、データ間の差分)を計測した(図3右)。計測点を設定するため、頬舌側咬頭頂を含む断面を基準とし(図4左)、 $1\text{mm}$ 間隔で近遠心方向に3断面を設定し合計7断面を設定した(図4右)。この7断面を図5に示すようにA~Gとした。それぞれの断面上に $100\mu\text{m}$ 間隔で計測点を設定し、各計測部位におけるデータ間の差分を計測することで、外形の形態再現性を評価した。

## 3. クラウン装着による浮き上がり

### 1) 試料の製作

歯冠形態再現性の検証方法に準じて行った。上顎右側第一小臼歯の既製のジャケットクラウン用の支台歯形成された模型歯に対し修正を加え、支台歯の頬舌側テーパーが $12^{\circ}$ 、 $16^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$ であることをシリコーンインデックスを用いて確認した（以下、支台歯模型）。また、セメントスペースを $25\mu\text{m}$ と $50\mu\text{m}$ の2種類とし、計6条件のCAD/CAMクラウンを各5個製作した。削り出したクラウンの研磨には、中研磨に歯科用ゴム製研磨材（松風シリコーンポイントPB、松風）、仕上げ研磨に仕上げ用研磨コンパウンド（デュラポリッシュ、松風）と研磨用ブラシ（松風ピボットブラシHP、松風）を用いて行った。

## 2) STLデータの作成

完成したCAD/CAMクラウンを、歯科適合試験用材料（フィットチェッカー、GC）を用いて支台歯模型に装着し、歯冠形態再現性の検証と同様の方法で、模型歯モデルとクラウンモデルを作成した。上顎右側犬歯から上顎右側第二小臼歯までの3歯をスキャン領域とした。

## 3) 模型歯モデルとクラウンモデルのデータ間の差分計測

歯冠形態再現性の検証方法と同様の方法で行った。重ね合わせの基準面を第二小臼歯の固有咬合面と犬歯の舌側面に設定し、クラウンの浮き上がりを検証するため、第一小臼歯の咬合接触点におけるデータ間の差分を計測した。顎歯模型（D18FE-500H(GUB)-MF, NISSIN）に咬合紙を介在させて対合歯列と嵌合させた際にカーボンが印記された咬合接触部位を計測点とした（図 6 左）。この咬合接触部位に相当する部位をモデル上の計測点とした。すなわち、頬舌側咬頭頂を含む基準面と平行な断面上の咬合接触点を通る 6 点を計測点とした（図 6 右）。6 点の計測点におけるデータ間の差分を計測することで、処置前後の咬合の高さの変化量として評価した。

#### 4. 統計処理

統計解析には、統計解析ソフト (SPSS Statistics ver. 20, IBM) を用いた。歯冠形態再現性の検証では、計測部位ごとの比較には、Kruskal-Wallis検定を行い、Post-hocテストとしてSchefféテストによる多重比較検定を行った。咬合の高さの比較では、支台歯の頬舌側テーパー ( $12^\circ$  ,  $16^\circ$  ,  $20^\circ$  )とセメントスペース ( $25\ \mu\text{m}$ ,  $50\ \mu\text{m}$ )の二要因による二元配置分散分析を行い、Post-hocテストとしてSchefféテストによる多重比較検定を行った。いずれの場合においても有意水準を5%未満とした。

## 結果

### 1. 光学印象精度

#### 1) 口腔内スキャナーの精度

スキャン精度の検証結果を表 1 に示す。P1, P2, P3 のいずれにおいても基準データより-0.7% (P1-直径 A) ~-1.7% (P3-直径 B) とわずかに小さい値を示した。6 測定値の平均は-1.13%であった。

#### 2) スキャナーの再現性

STL データ間の差分の平均値は、基準値  $0\ \mu\text{m}$  に対して口腔内スキャナーでは  $3.6\ \mu\text{m}$ , デスクトップスキャナーでは  $0.4\ \mu\text{m}$  であった。また、ばらつきで見ると口腔内スキャナーでは  $17.8\ \mu\text{m}$ , デスクトップスキャナーでは  $4.0\ \mu\text{m}$  であった。

#### 3) 手ぶれの影響

スキャナーを固定した状態で作成した STL データとフリーハンドで作成した STL データ間の差分の平均値は  $1.6 \pm 11.0\ \mu\text{m}$  であった。一方スキャナーを固定した本実験条件下では、下部鼓形空隙にスキャンできないエリアが生じた。

### 2. 歯冠形態再現性

歯冠形態再現性の検証結果を図 7 に示す。模型歯モデルとクラウンモデルのデータ間の差分は、全体の平均で  $15.6 \pm 10.9\ \mu\text{m}$  であった。近心縁に相当する A, 三角隆線に相当する D, 遠心縁に相当する G において差分は大きい値を示し、それぞれ  $19.7 \pm 9.4\ \mu\text{m}$ ,  $19.7 \pm 11.2\ \mu\text{m}$

m,  $17.4 \pm 13.4 \mu\text{m}$  であった。凸面部の A, D, G 間, 比較的平坦な B, E, F 間では有意差を認めなかったものの, 両群同士のすべての組み合わせにおいて有意差を認めた。

模型歯モデルとクラウンモデルのデータ間の差分をカラーマップで示す (図 8)。いずれのモデルにおいても三角隆線・小窩裂溝・咬合縁でデータ間の差分が大きくなっており, 咬合の高さの再現性を検証する際に計測箇所とした咬合接触点においては, データ間の差分が小さいことが確認できた。

### 3. クラウン装着による浮き上がり

模型歯の咬合面と支台歯に装着したクラウンの咬合面における咬合接触点の差分を図 9 に示す。模型歯モデルとクラウンモデルのデータ間の差分は, 平均で  $120.0 \pm 54.5 \mu\text{m}$  であった。テーパー $12^\circ$ , セメントスペース  $25 \mu\text{m}$  の条件でデータ間の差分は最大となり  $199.6 \pm 25.2 \mu\text{m}$ , テーパー $16^\circ$ , セメントスペース  $50 \mu\text{m}$  の条件で最小となり  $80.8 \pm 59.5 \mu\text{m}$  であった。多重比較検定において, テーパー $16^\circ$  と  $20^\circ$  間ではいずれのセメントスペースにおいても有意差を認めなかったものの, テーパー $12^\circ$  の場合, セメントスペース  $25 \mu\text{m}$  と  $50 \mu\text{m}$  間で有意差を認め, いずれのセメントスペースにおいても, テーパー $12^\circ$  と  $16^\circ$ , テーパー $12^\circ$  と  $20^\circ$  の間で有意差を認めた。

模型歯モデルとクラウンモデルのデータ間の差分をカラーマップで示す (図 10)。テーパー $12^\circ$  の場合, セメントスペースが  $25 \mu\text{m}$ ,  $50 \mu\text{m}$  の両条件において全体的にデータ間の差分が大きく, 咬合接触点以外も高くなっていることが確認できた。このことからクラウンが全

体として浮き上がっていることがわかる。いずれのテーパーの場合も、咬合接触点の分析結果と同じ傾向を示した。

## 考察

### 1. 光学印象精度

口腔内スキャナーにより PEEK 原型を計測したところ、P1, P2, P3 のいずれにおいても基準データより小さい値を示した。減少率は平均 1.13% であり、臨床的には十分な再現性を有しているものと考えられる。本実験では、繰り返し計測する上で再現性の高い原型のフィニッシュライン上に標点を設定したが、傾きの異なる 2 平面からなる物体の稜線付近では、焦点からの距離の変化量が少ないため、一般に安定した検出が困難とされている<sup>31)</sup>。さらに STL データの稜線部分はスキャン精度の影響により丸みを帯びるとの報告<sup>32)</sup>もあり、これらが影響を及ぼしたものと推察される。

スキャナーの再現性の検証では、基準値  $0\ \mu\text{m}$  と比較してデスクトップスキャナー  $0.4\pm 4.0\ \mu\text{m}$ 、口腔内スキャナー  $3.6\pm 17.8\ \mu\text{m}$  であった。デスクトップスキャナーの方が一度に撮影できる範囲が広いため、重ね合わせによるステッチング時の誤差が少なくなり、再現性が良好になったと考えられる。Shimizu ら<sup>33)</sup> は、スキャン対象をステンレス製のマスターモデルとし、デスクトップスキャナーと口腔内スキャナーの再現性を検証しており、本研究の結果と同様にデスクトップスキャナーの方が再現性が良好であったと報告している。

手ブレの影響を検証した際の STL データ間の差分の平均値は  $1.6\pm 11.0\ \mu\text{m}$  であった。

Nedelcu ら<sup>34)</sup> は、形成した模型歯をスキャン対象とし、7 種のスキャナーの再現性を検証しており、本研究で使用了口腔内スキャナーと基準となるハイエンド 3 次元デジタイザ (ATOS Triple Scan III 8MP resolution, GOM) で作成した STL データ間の差分が、 $\pm 25\ \mu\text{m}$  以内であったと報告している。口腔内スキャナーの再現性 ( $3.6\pm 17.8\ \mu\text{m}$ ) ならびに手ブレの影響

( $1.6 \pm 11.0 \mu\text{m}$ ) は、Nedelcu らの  $\pm 25 \mu\text{m}$  という報告<sup>34)</sup>と比較して小さい値を示し、両者に大きな差はないものと思われる。加えて両者とも SD が近い値を示していることから、スキャナーの再現性には手ブレの影響が大きいことが考えられる。しかしながら、スキャナーを固定した場合、隣在歯の影響によりパターン光の届かない下部鼓形空隙は不可視領域となり<sup>31)</sup>、位置情報を得ることができずに同部のデータが欠落した状態となった。これらのことから本研究では口腔内スキャナーを手で把持しスキャンすることとした。

Ender ら<sup>35)</sup>は、口腔内スキャナーを用いて全顎スキャンを行う場合、スキャンの手順による影響があり、メーカー指示に従ってスキャンした場合でも、正確さに欠けることがあったと報告している。しかしながら、本研究のスキャン対象は部分的な歯列でありスキャンの手順による影響は小さいと考えられる。

以上の点から、スキャン精度を検証した際の STL データの寸法変化および手ブレの影響はわずかであり、フリーハンドでスキャンを行うことは妥当であったと考えられる。

## 2. 歯冠形態再現性

固有咬合面におけるデータ間の差分は、平均  $15.6 \pm 10.9 \mu\text{m}$  であった。口腔内スキャナーの再現性 ( $3.6 \pm 17.8 \mu\text{m}$ ) と比較すると差分が大きくなった。先行研究において、4種類の口腔内スキャナーの精度比較がなされており<sup>36)</sup>、部分的な歯列をスキャンした場合、本研究で使った口腔内スキャナーの精度は  $24.8 \pm 4.6 \mu\text{m}$  であり、他の3種類の口腔内スキャナーと比較して最も小さい値であった。本研究では、1歯だけのスキャンであったため、重ね合わせに

よるステッチング時のエラーは小さく抑えられたと考えられることから、今回の結果はミリング時のエラーによる影響が大きいと考えられる。

本研究で用いた口腔内スキャナーの三次元形状計測法は三角測量方式のパターン投影法である。三角測量方式の場合、光軸に対して測定面が傾斜していると測定面からの拡散光の光量に差が生じ、測定しやすい場所としにくい場所が生じることが知られている<sup>37)</sup>。また、パターン投影法では、凹凸を含む三次元形状を示すには折りたたまれたパターンを広げるアンラップ作業が必要となり、その際に生じる位相飛びが問題点としてあげられている<sup>38)</sup>。このため、小窩裂溝、近遠心縁、三角隆線においてデータ間の差分が大きくなったと考えられる。本研究では、咬合面全体を評価するうえで、データ間の差分が大きくなりやすい領域に計測点を設定する必要があったため、先行研究と比較してSD値が大きくなったと考えられる。

### 3. クラウン装着による浮き上がり量

#### 1) 装着方法について

本研究では、テーパー、セメントスペースの条件ごとに、同一の支台歯に5個のクラウンを製作した。顎模型に支台歯をネジ止めした状態で手指圧にてクラウンを装着し、データ間の差分の平均値を浮き上がり量として算出した。

また、本研究では先行研究<sup>13, 39-41)</sup>に準じ、クラウンの脱着時に支台歯模型を損傷しないよう配慮するために、クラウン装着にフィットチェッカーを用いた。フィットチェッカーの被膜厚さが一定にならないとの報告<sup>41)</sup>もあるが、適度な流動性による適正なクラウンの仮着が可能であり、先行研究で用いられている材料である。合着用セメントを用いた場合、同一の支台

歯が使えず試験試料の形状の影響を受ける。このため、フィットチェッカーを用いたことは妥当であったものと考えられる。

## 2) セメントスペースの影響

咬合接触点におけるデータ間の差分は、支台歯のテーパーが  $12^\circ$  の場合、セメントスペース  $25\mu\text{m}$  に比較し、 $50\mu\text{m}$  の方が有意に小さい値を示した。先行研究では、セメントスペースが大きくなるに従い、クラウンの適合性が向上すると報告されており<sup>18,42-44)</sup>、本研究で得られたクラウン装着による浮き上がり量は同様の傾向を示した。CAD/CAMによる歯冠修復の臨床における適合性に関しては、辺縁及び内面では  $80\mu\text{m}$  以内であると報告されている<sup>15)</sup>。セメントスペースの設定に関しては研究内容によって様々である。Kale ら<sup>18)</sup>はセメントスペースを  $30, 40, 50\mu\text{m}$  とし、ジルコニアクラウンの辺縁適合性を検証している。また、Iwai ら<sup>42)</sup>はセメントスペースを  $10, 30, 60\mu\text{m}$  の3条件とし、ジルコニアコーピングの内面と辺縁の適合性を検証している。これらの報告に加えて、メーカーが推奨するセメントスペースが  $50\mu\text{m}$  である点を考慮し、本研究ではセメントスペースを  $25\mu\text{m}$  と  $50\mu\text{m}$  の2条件として比較検討を行った。一方でセメントスペースを多めに設ける必要性も指摘されており、今後の研究が必要になると考えられる。

## 3) 支台歯のテーパーの影響

咬合接触点におけるデータ間の差分は、セメントスペース  $25\mu\text{m}$  と  $50\mu\text{m}$  のいずれにおいても、テーパー $12^\circ$  と  $16^\circ$ 、テーパー $12^\circ$  と  $20^\circ$  の間で有意差を認めた。Beuer ら<sup>45)</sup>は、ジルコニアクラウンの辺縁と内面の適合性を検証しており、支台歯の片側テーパーが  $4^\circ$  と  $8^\circ$  の時と比較して、 $12^\circ$  の場合に適合性が最も優れていたとしている。また、岩井ら<sup>42)</sup>は

支台歯のテーパの差によるジルコニアコーピングの適合性を検証しており、両側のテーパが  $6^\circ$  と小さい場合コーピングと支台歯間の間隙量が最も大きくなったとしている。本研究の結果は、これらの先行研究と同様の傾向を示しており、頬舌側テーパが  $12^\circ$  と小さい場合に最もクラウンが浮き上がり、 $16^\circ$ 、 $20^\circ$  ではクラウンの浮き上りを抑えられることが確認された。

#### 4. CAD/CAM システムについて

##### 1) CAD の影響

口腔内スキャナーを使用し STL データを作成するためには、様々な方向からスキャンした複数のデータを統合する必要がある<sup>46)</sup>。一つの座標に対してイメージセンサは多くの三次元データを受け取り、スキャンして作成した点群データをポリゴン化もしくは曲面モデル化する際に、重畳したノイズデータが除去される<sup>47)</sup>。前述した拡散光の光量差や位相飛びの問題で、対象物の表面性状や形状の差によるノイズデータの増加が考えられ、STL データを構成する際に間引きされる点群のデータも多くなると考えられる。今後、さらに精度の高い CAD の開発が望まれる。

##### 2) ミリングの精度

CAD/CAM システムによる補綴装置の製作には様々な方法が選択される<sup>48)</sup>。本研究でクラウン製作に用いたミリングマシンは、同時 5 軸加工機であり  $\pm 5 \mu\text{m}$  の精度で補綴装置を切削加工することが可能である<sup>49)</sup>。CAD ソフトウェアでデザインされたクラウンデータは、ポストプロセッサにより工具の移動軌跡を含んだ Cutter Location ファイルに変換されたのち

Numerical Control データに変換される<sup>50)</sup>。工具の移動軌跡は直線補間あるいは円弧補間のみ<sup>51)</sup>であり、必然的にクラウンデータとプログラムされた曲線の間には円弧近似誤差が生じる<sup>52)</sup>。理論上、クラウンデータの曲率が大きい三角隆線や近遠心縁ほど円弧近似誤差も大きくなるため、模型歯モデルとクラウンモデル間の差分に反映される可能性は否定できない。

## 5. 顎口腔系に及ぼす影響

先行研究において、従来の間接法で製作された金属冠は平均  $111\ \mu\text{m}$  過高になると報告されている<sup>53)</sup>。テーパー $16^\circ$ 、セメントスペース  $50\ \mu\text{m}$  に設定した場合、模型歯モデルとクラウンモデル間の差分は  $80.8\ \mu\text{m}$  であり、従来の間接法によるクラウンより小さい値であった。しかしながら、臨床的には咬合の高さは、咬合紙で検出できる  $30\ \mu\text{m}$  以下が安全領域とされており<sup>54)</sup>、今回の結果ではこの範囲を超えている。クラウンの装着を加味しない外形の重ね合わせでは形態再現性は良好であったものの、クラウンを装着することで浮き上がりの影響により過高になることが、今後の解決すべき課題と考える。多くの先行研究<sup>19, 55-58)</sup>で、クラウン装着後、クラウンと支台歯間の垂直的間隙量の増加、もしくは辺縁適合性の低下が報告されていることから、クラウン外形の再現性以上にクラウン内面の適合性が大きく影響したものと考えられる。

## 6. クラウン装着による浮き上がりの検証方法について

臨床でクラウンを装着する場合、適合性と咬合の高さの双方の理解が必要である。クラウンの辺縁適合性が不良な場合、辺縁部のセメントの欠如が大きくなり経時的に歯肉が不安定な状

態を呈する<sup>59)</sup>ことが知られている。一方で小白歯部において、咬合の高さが150 $\mu$ m以上であれば咬頭嵌合位は水平的に変化しやすく、逆に低くなると側方ガイドが緩くなり、新たな咬合干渉を誘発しやすいことが報告されている<sup>54)</sup>。

クラウンの適合性の検証方法は、包埋切断後のセメント厚さを計測する方法<sup>17, 22, 23)</sup>、支台歯とクラウン間の間隙をマイクロスコープを用いて計測する方法<sup>18-21)</sup>、 $\mu$ CT画像を用いた方法<sup>13, 39, 43)</sup>などいくつかの手法がとられており、支台歯のテーパー、セメントスペース、使用するCAD/CAMシステム、製作ステップの違いはクラウン適合性に影響することが知られている。しかしながら、支台歯のテーパーとセメントスペースの違いによる咬合の高さへの影響を検証した報告はない。本研究の検証方法は、咬合の高さに着目し、臨床操作を想定した補綴装置の再現性を外形で評価している点で新規性がある。今回の結果から、模型歯モデルとクラウンモデルのデータ間の差分は、支台歯のテーパーとセメントスペース量が小さい時に大きくなる傾向を示したことから、クラウンの適合性が咬合の高さへ影響することが確認された。いずれの条件においてもクラウン装着時の安全領域を超える高さであった<sup>54)</sup>ため、臨床を想定した再現性の高いクラウン製作のためには、影響を及ぼす因子のさらなる究明が必要であると考えらる。

## 結論

リプロダクションテクニックにより製作した CAD/CAM クラウンの歯冠外形による形態再現性と、支台歯のテーパーとセメントスペースの違いによる咬合高径への影響を検証し、以下の結論を得た。

1. 外形の重ね合わせで生じる STL データ間の差分は平均  $15.6 \mu\text{m}$  と小さく、既存の歯冠形態を再現できる可能性が示された。
2. 設定した条件の中で、支台歯のテーパーが  $16^\circ$ 、セメントスペースが  $50 \mu\text{m}$  の場合、クラウン装着による浮き上がり量が最小となる。

以上のことから、支台歯のテーパー、セメントスペースなど浮き上がりに対する問題が解決されることにより、既存の歯冠形態を再現した顎口腔系と調和の取れた補綴装置を装着することが可能になると考えられる。

## 謝辞

論文の執筆にあたり、ご指導を賜りました大川周治教授、横瀬敏志教授、中畠裕教授に深く感謝申し上げます。

本研究に関し開示すべき COI 状態はない。

## 出典

本論文は、歯科審美第 32 巻第 1 号 p10~20 に掲載済みである。

## 文献

- 1) 玉置勝司, 石垣尚一, 小川 匠, 他 : 咬合違和感症候群. 日補綴会誌, 5, 369-386, 2013.
- 2) Clark GT and Simmons M: Occlusal dysesthesia and temporomandibular disorders: is there a link?. Alpha Omegan, 96, 33-39, 2003.
- 3) Hara ES, Matsuka Y, Minakuchi H, et al: Occlusal dysesthesia: a qualitative systematic review of the epidemiology, aetiology and management. J Oral Rehabil, 39: 630-638, 2012.
- 4) Melis M and Zawaki KH: Occlusal dysesthesia: a topical narrative review. J Oral Rehabil, 42, 779-785, 2015.
- 5) Marbach JJ: Phantom bite. Am. J. Orthod, 70, 190-199, 1976.
- 6) 白井肇, 瀬島淳一, 萬谷佑佳, 他 : 舌の違和感を訴える患者に2回鑄造法を適用した一症例. 顎機能誌, 9, 53-60, 2002.
- 7) 藤田崇史, 飯塚知明, 廣川琢哉, 他 : 2回鑄造法を応用したブリッジ装着により咬合違和感が改善した一症例. 明海歯学, 43, 94-100, 2014.
- 8) Marchack BW, Chen LB, Marchack CB, et al : Fabrication of an all-ceramic abutment crown under an existing removable partial denture using CAD/CAM technology. J Prosthet Dent, 98, 478-482, 2007.

- 9) Cheng AC, Kok-Sen H and Loy A: Maxillofacial prosthodontic management of an ablative maxillary surgical defect using a combination of conventional obturator prosthesis and an early loading implant supported high-strength full ceramic fixed dental prosthesis. *Singapore Dental Journal*, 33, 13-18, 2012.
- 10) Andreiuolo RF, Sarosa CE and Dias KRHC: Dual-scan technique for the customization of zirconia computer-aided design/computer-aided manufacturing frameworks. *Eur J Dent*, 7, 115-118, 2013.
- 11) 田中晋平, 馬場一美: 無菌顎患者におけるデジタル・デンティストリーーボーンアンカードブリッジとインプラント・オーバーデンチャー症例からー. *日補綴会誌*, 8, 414-419, 2016.
- 12) 筒井祐介, 筒井武男, 増田長次郎: *Advanced Digital Dentistry* 前編 チェアサイドとラボサイドの作業工程. *The Quintessence*, 37, 34-46, 2018.
- 13) Neves FD, Prado CJ, Prudente MS, et al: Micro-computed tomography evaluation of marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated by using chairside CAD/CAM systems or the heat-pressing technique. *J Prosthet Dent*, 112, 1134-1140, 2014.
- 14) Euán R, Figueras-Álvarez O, Cabratosa-Termes J, et al: Marginal adaptation of zirconium dioxide copings: Influence of the CAD/CAM system and the finish line design. *J Prosthet Dent*, 112, 155-162, 2014.

- 15) Boitelle P, Mawussi B, Tapie L, et al: A systematic review of CAD/CAM fit restoration. *J Oral Rehabil*, 41, 853-874, 2014.
- 16) Abdel-Azim T, Rogers K, Elathamna E, et al: 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, 554-559, 2015.
- 17) Shim JS, Lee JS, Lee JY, et al: Effect of software version and parameter settings on the marginal and internal adaptation of crowns fabricated with the CAD/CAM system. *J Appl Oral Sci*, 23, 515-522, 2015.
- 18) Kale E, Seker E, Yilmaz B, et al: Effect of cement space on the marginal fit of CAD-CAM-fabricated monolithic zirconia crowns. *J Prosthet Dent*, 116, 890-895, 2016.
- 19) Kale E, Yilmaz B, Seker E, et al: Effect of fabrication stages and cementation on the marginal fit of CAD-CAM monolithic zirconia crowns. *J Prosthet Dent*, 118, 736-741, 2017.
- 20) Alqahtani F: Marginal fit of all-ceramic crowns fabricated using two extraoral CAD/CAM systems in comparison with the conventional technique. *Clin Cosmet Investig Dent*, 9, 13-18, 2017.

- 21) Hamza TA and Sherif RM: In vitro evaluation of marginal discrepancy of monolithic zirconia restorations fabricated with different CAD-CAM systems. *J Prosthet Dent*, 117, 762-766, 2017.
- 22) Güngör MB, Doğan A, Bal BT, et al: Evaluation of marginal and internal adaptations of posterior all-ceramic crowns fabricated with chair-side CAD/CAM system: an in vitro study. *Acta Odontol Turc*, 35, 1-8, 2018.
- 23) Goujat A, Abouelleil H, Colon P, et al: Mechanical properties and internal fit of 4 CAD-CAM block materials. *J Prosthet Dent*, 119, 384-389, 2018.
- 24) Papadiochou S and Pissiotis AL: Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. *J Prosthet Dent*, 119, 545-551, 2018.
- 25) Azarbal A, Azarbal M, Engelmeier RL, et al: Marginal Fit Comparison of CAD/CAM Crowns Milled from Two Different Materials. *J Prosthodont*, 27, 421-428, 2018.
- 26) 末瀬一彦, 岩井啓三, 角田淳, 他 : 純チタン・クラウンの補綴学的考察. *補綴誌*, 28, 860-867, 1984.
- 27) Komine F, Iwai T, Kobayashi K, et al : Marginal and Internal Adaptation of Zirconium Dioxide Ceramic Crowns with Different Finish Line Designs. *Dent Mater J*, 26, 659-664, 2007.

- 28) Gonzalo E, Suarez MJ, Serrano B, et al: A comparison of the marginal vertical discrepancies of zirconium and metal ceramic posterior fixed dental prostheses before and after cementation. *J Prosthet Dent*, 102, 378-384, 2009.
- 29) Hamza TA, Ezzat HA, El-Hossary MM, et al: Accuracy of ceramic restorations made with two CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent*, 109, 83-87, 2013.
- 30) 公益社団法人日本補綴歯科学会 医療問題検討委員会：保険診療における CAD/CAM 冠の診療指針. 2014.
- 31) 井口征士, 佐藤宏介：三次元画像計測と距離画像. 昭晃堂, 東京, 65-78, 1990.
- 32) 山本真：CAD/CAM システムによるマージンの適合性問題への挑戦—「エッジ延長法」による支台歯スキヤンの理論と効果—. *QDT*, 42, 28-63, 2017.
- 33) Shimizu S, Shinya A, Kuroda S, et al: The accuracy of the CAD system using intraoral and extraoral scanners for designing fixed dental prostheses. *Dent Mater J*, 36, 402-407, 2017.
- 34) Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, et al: Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health*, 18, 27-37, 2018.
- 35) 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.

- 36) Lmburgia M, Logozzo S, Hauschild U, et al: Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 17, 92-104, 2017.
- 37) 吉澤 徹 : 最新光三次元計測, 朝倉書店, 東京, 3-5, 2006
- 38) 吉澤 徹 : 最新光三次元計測, 朝倉書店, 東京, 45-52, 2006
- 39) Yildirim G, Uzun IH and Keles A: Evaluation of marginal and internal adaptation of hybrid and nanoceramic systems with microcomputed tomography: An in vitro study. *J Prosthet Dent*, 118, 200-207, 2017.
- 40) Shamseddine L, Mortada R, Rifai K, et al: Fit of pressed crowns fabricated from two CAD-CAM wax pattern process plans: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent*, 118, 49-54, 2017.
- 41) 大島志保, 三輪悦子, 滝新典生, 他 : 鑄造冠の適合試験について. *補綴誌*, 26, 747-753, 1982.
- 42) Iwai T, Komine F, Kobayashi K, et al: Influence of convergence angle and cement space on adaptation of zirconium dioxide ceramic copings. *Acta Odontol Scand*, 66, 214-218, 2008.
- 43) Mously HA, Finkelman M, Zandparsa R, et al: Marginal and internal adaptation of ceramic crown restorations fabricated with CAD/CAM technology and the heat-press technique. *J Prosthet Dent*, 112, 249-256, 2014.

- 44) Soliman MSM, Mohsen CA, El-Mahallawi O, et al: Effect of Different Cement Spaces on the Vertical Marginal Gap of Full Anatomical Zirconia Bridges. *Journal of American Science*, 11, 145-152, 2015.
- 45) Beuer F, Aggstaller Hans, Richter J, et al: Influence of preparation angle on marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia crown copings. *Quintessence Int*, 40, 243-250, 2009.
- 46) Ireland AJ, McNamara C, Clover MJ, et al: 3D surface imaging in dentistry – what we are looking at. *Br Dent J*, 205, 387-392, 2008.
- 47) 持丸正明, 河内まき子: 人体を測る 寸法・形状・運動, バイオメカニズム学会, 東京, 62-70, 2006.
- 48) Alghazzawi TF: Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res*, 60, 72-84, 2016.
- 49) YOSHIDA: 商品情報, [https://www.yoshida-dental.co.jp/product\\_news/16166/](https://www.yoshida-dental.co.jp/product_news/16166/)  
(2018年11月19日アクセス)
- 50) 金村鈴夫, 大野源蔵, 土浜啓二郎: 三次元 CAD/CAM システムによる造形領域の拡大. *Minolta Techno Rep*, 1, 17-24, 1992.
- 51) 日本工業規格 機械の数値制御—プログラムフォーマット及びアドレスワードの定義—第2部: 準備機能 G 及び補助機能 M のコード. *JIS B 6315-2*, 2003.

- 52) Tapie L, Lebon N, Mawussi B, et al: Understanding dental CAD/CAM for restorations-the digital workflow from a mechanical engineering viewpoint. *Int J Comput Dent*, 18, 21-44, 2015.
- 53) 松下和夫：歯冠補綴物の咬合面精度に関する研究—全部鑄造冠の製作過程が咬合の高さに及ぼす影響—。補綴誌，26, 250-266,1982.
- 54) 池田隆志，横山正秋，久保吉廣，他：強い咬合接触が顎口腔系に及ぼす影響—症状および歯の移動，咬合接触状態の変化について—。補綴誌，6, 81-86, 1988.
- 55) Quintas AF, Oliveira F and Bottino MA: Vertical marginal discrepancy of ceramic copings with different ceramic materials, finish lines, and luting agents: An in vitro evaluation. *J Prosthet Dent*, 92, 250-257, 2004.
- 56) Stappert CFJ, Dai M, Chitmongkolsuk S, et al: Marginal adaptation of three-unit fixed partial dentures constructed from pressed ceramic systems. *Br Dent J*, 196, 766-770, 2004.
- 57) Okutan M, Heydecke G, Butz F, et al: Fracture load and marginal fit of shrinkage-free  $ZrSiO_4$  all-ceramic crowns after chewing simulation. *J Oral Rehabil*, 33, 827-832, 2006.
- 58) Kaleli N and Sarac D: Influence of porcelain firing and cementation on the marginal adaptation of metal ceramic restorations prepared by different methods. *J Prosthet Dent*, 117, 656-661, 2016.

59) 木村英敏, 塩山 司, 山森徹雄, 他 : 歯冠補綴物と歯肉に関する臨床的研究 第 2 報

歯冠補綴物装着後 3 年間の評価. 補綴誌, 31, 74-81, 1987.

## 図表の説明

図 1 原型の寸法と計測点

図 2 手ぶれの影響の検証 (左: スキャナーを固定してスキャン, 右: フリーハンドでスキャン)

図 3 ポリゴンモデルの重ね合わせ (左上: 模型歯モデル, 左下: クラウンモデル, 右: 模型歯モデルとクラウンモデルの重ね合わせ)

図 4 計測点の設定 (左: 頬舌側咬頭頂を含む断面を設定, 右: 1mm 間隔で近遠心方向にそれぞれ 3 断面, 合計 7 断面を設定)

図 5 断面上に 100  $\mu$  m 間隔で計測点を設定

図 6 模型歯上の計測箇所(左)とクラウンモデル上の計測箇所(右)

図 7 歯冠形態再現性の検証

同じアルファベット間に有意差はない

図 8 5 個の模型歯モデルとクラウンモデルの重ね合わせ

(頬舌側テーパー $20^{\circ}$  , セメントスペース  $50\mu\text{m}$ )

図 9 クラウン装着による浮き上がり量の検証

同じアルファベット間に有意差はない

図 10 模型歯モデルとクラウンモデルの重ね合わせ

(頬舌側テーパー $12^{\circ}$  ,  $16^{\circ}$  ,  $20^{\circ}$  , セメントスペース  $25\mu\text{m}$ ,  $50\mu\text{m}$ )

表 1 原型によるスキャン精度の評価

別刷請求先 :

〒350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1

明海大学 機能保存回復学講座

藤澤 政紀