

インプラント治療におけるデジタルデンティストリーの活用

正木千尋, 柄慎太郎, 近藤祐介, 向坊太郎, 田村暁子, 細川隆司

The application of digital technology in implant dentistry

Chihiro Masaki, DDS, PhD, Shintaro Tsuka, DDS, PhD, Yusuke Kondo, DDS, PhD, Taro Mukaibo, DDS, PhD,
Akiko Tamura, DDS, PhD and Ryuji Hosokawa, DDS, PhD

抄 録

インプラント治療は診査・診断から埋入手術, さらには補綴に至るまですべての過程においてデジタル技術の恩恵を受けている. CT データや口腔内 STL データを基に埋入シミュレーションを行うだけでなく, CAD/CAM システムを用いたガイドドサージェリーや上部構造の作製が行われるようになってきた. しかしながら, ガイドドサージェリーを行ったとしても 100% 正確に埋入できるわけではなく, また CAD/CAM 補綴に関してもどのような症例でどの材料を選択すべきかの基準がないのが現状である. 本稿ではインプラント治療におけるデジタルワークフローを整理し, ガイドドサージェリーや CAD/CAM 補綴の有用性や問題点について検討してみたい.

キーワード

デジタルデンティストリー, インプラント, ガイドドサージェリー, CAD/CAM 補綴

ABSTRACT

Implant treatment benefits from digital technology throughout its processes from treatment planning to surgery and even prosthetic treatment. Besides implant planning and simulation based on CT and STL data, the CAD/CAM system in guided surgery and superstructure fabrication has been increasingly employed. However, completely accurate placement cannot be achieved even with the guided surgery. In addition, no criterion has been set for selecting patients and materials for the CAD/CAM prosthesis. The present article summarizes the digital workflow on implant treatment, describing the usefulness of and problems with the guided surgery and CAD/CAM implant superstructure.

Key words:

Digital dentistry, Implant, Guided surgery, CAD/CAM

I. はじめに

インプラントの術前診断では, 従来の CT ダイコムデータを用いた 3 次元埋入シミュレーションだけでなく, 近年は模型のスカンデータや口腔内スキャナーからの STL データを重ね合わせるにより, 歯肉の厚みや最終エマージェンスプロファイルを考慮した

詳細な埋入シミュレーションが可能となってきた. さらにシミュレーションを基にしたガイドドサージェリーを行うことで計画通りの位置や方向に埋入できるようになったものの, 完璧な精度で埋入できるわけではないため, 各ガイドプレートの特徴を把握しながら, 症例に応じて適切に使用しなければならない.

一方, 上部構造についてもデジタル技術が広く用いられており, チタンやジルコニアを用いたアバットメ

Digital workflow in implant dentistry

1. Patient evaluation and master model fabrication
2. Computed tomography (CT)
3. Planning with implant planning software
4. Surgical guide fabrication
5. Dental implant guided surgery
6. CAD/CAM restoration

図1 インプラント治療におけるデジタルワークフロー



図2 右下5番欠損症例の TRIOS®3 による口腔内デジタル印象画像

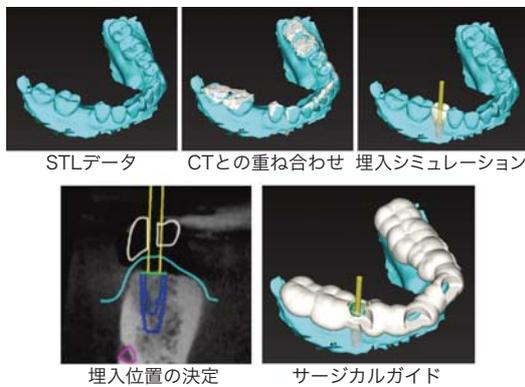


図3 CT ダイコムデータと口腔内 STL データをマッチングさせ、インプラント埋入シミュレーションおよび CAD/CAM ガイドを設計した。



図4 ガイデッドサージェリーおよびスキャンボディを装着時の口腔内デジタル印象画像

ント・上部構造の選択が主流となっているものの、どのような症例でどの材料を選択すべきかの基準がないのが現状である。

本稿ではインプラント治療における治療計画立案からガイデッドサージェリー、上部構造製作までのデジタルワークフローを整理するとともに、デジタル印象を含めた CAD/CAM 補綴の有用性や問題点について考えてみたい。

II. インプラント治療におけるデジタルワークフロー

インプラント治療においては、術前診断の中で使用する CT ダイコムデータがデジタルデータであることに加え、インプラント専用の埋入シミュレーションソフトウェアが開発されたことにより、比較的早い段階からデジタルワークフロー(図1)が導入されてきた。従来の流れとしては、まず術前ワックスアップを基に作製した診断用ステントを装着した状態で CT 撮影を

行う。次に CT ダイコムデータを専用のソフトウェアに取り込み、顎骨の形態、骨質、解剖学的ランドマークを確認しながらインプラントの埋入計画を立案する。その埋入シミュレーションを基に CAD/CAM サージカルガイドを作製し、インプラント埋入を行う。インプラントのオッセオインテグレーション獲得後にシリコン精密印象を行い、CAD/CAM システムを用いて上部構造を作製する。このような従来の流れの中でもデジタル技術が多く利用されているが、近年の口腔内デジタルスキャナーの登場により、診査診断から上部構造作製までをフルデジタルワークフローで完結できるようになってきた。

フルデジタルワークフローによるインプラント治療症例を以下に示す。

患者は 44 歳、女性。右下に歯を入れて欲しいとの主訴で来院した。図2に初診時の TRIOS®3 による口腔内デジタル印象画像を示す。シミュレーションソフトウェア上でデジタル印象からの STL データと CT ダイコムデータを重ね合わせて、軟組織の厚みを考慮

3D模型を作製することも可能

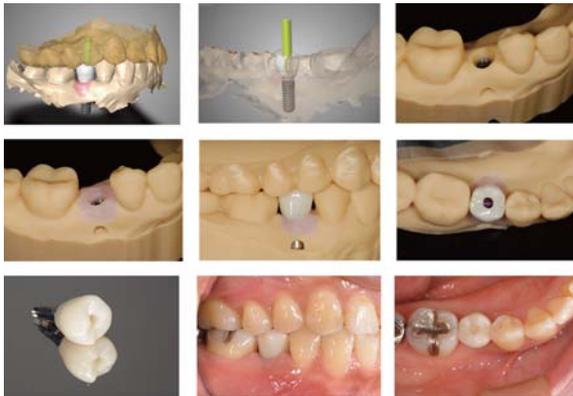


図5 CAD上で上部構造を設計後、チタンベースのモノリシックジルコニアクラウンを作製した。

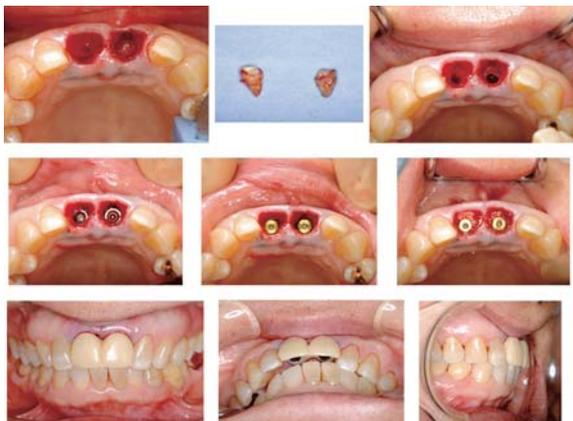


図7 抜歯即時埋入および即時暫間補綴を行った。

した埋入シミュレーションを行った(図3)。その後、その計画を基にCAD/CAMガイドを作製し、インプラントの埋入手術をガイドドサージェリーにて行った(図4)。Straumann® BLT implant, $\phi 4.1$ mm, RC, SLActive 10 mm Roxolid を1回法で埋入した。約2か月後、専用のパーツ(スキャンボディ)をインプラント体に連結し、再度 TRIOS®3 による口腔内デジタル印象を行った(図4)。CAD上で上部構造を設計後、チタンベースのモノリシックジルコニアクラウンを作製した。3Dプリンターを用いて模型を製作し、コンタクトや咬合、エマージェンスプロファイルの確認を行った後、口腔内に装着した(図5)。装着時に隣接面コンタクトはほとんど調整する必要がなく、咬合調整をわずかに行うのみであった。

少数歯欠損でモノリシックジルコニアクラウンを選

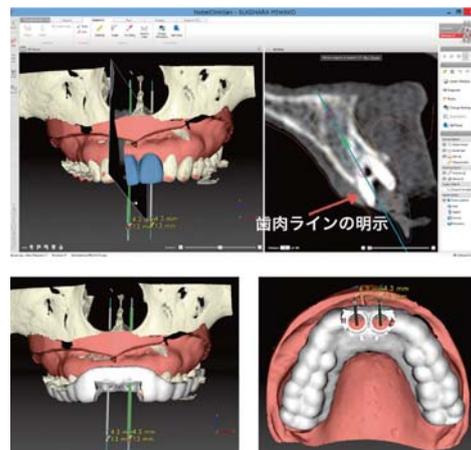


図6 CTダイコムデータと口腔内STLデータをマッチングさせ、スクリューアクセスホールを考慮したインプラント埋入計画およびCAD/CAMガイドの設計を行った。



最終補綴装着

図8 最終上部構造装着時の口腔内写真およびデンタルX線写真

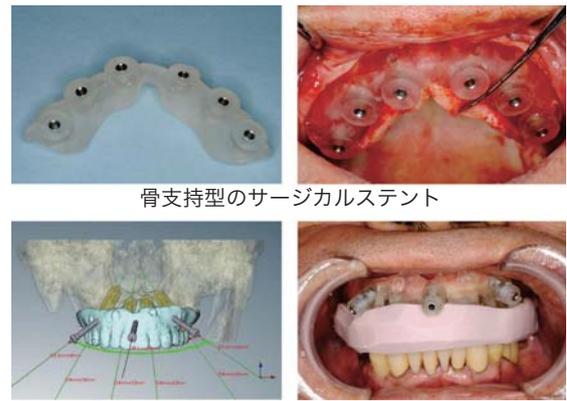
択する場合は模型レスで治療を進めても良いのかもしれないが、レイヤリング法で上部構造を作製する場合、また咬合やエマージェンスプロファイルの調整が必要な場合などは3Dプリンターを用いてデジタル模型を作製し、デジタル模型上で上部構造を仕上げる方法が有効である。

術前にCTダイコムデータだけでなく、模型のスキャンデータや口腔内スキャナーからのSTLデータを組み合わせることにより、硬組織だけでなく軟組織を考慮した綿密な治療計画を立案することができ、理想的な形態と機能を併せ持つ最終上部構造を作製することが容易となってきた。特にスクリュー固定式上部構造を計画している症例では術前にアクセスホールの位置を正確に決めることができるので有効である(図6-8)。また、どうしても唇側にアクセスホールが出



ASCジルコニアアバットメントを用いたオールセラミッククラウン

図9 ASC (Angulated Screw Channel) アバットメントを用いた最終上部構造



骨支持型のサージカルステント

粘膜支持型のサージカルステント

図10 骨支持型および粘膜支持型のサージカルステント

る場合は、デジタル上で修正し、ASC (Angulated Screw Channel) アバットメントを用いてアクセスホールを最適な位置に変更することも可能である (図9)。

III. ガイデッドサージェリーの有効性と埋入精度

1. ガイデッドサージェリーの種類

ガイデッドサージェリーとはCT撮影で得られた情報を基にプランニングソフトウェアによるシミュレーションで埋入計画を行い、計画した位置、方向、深度に正確に埋入するためにコンピュータガイドシステムを用いて埋入手術を行うことである。ガイデッドサージェリーの種類にはサージカルプレート系とモーションキャプチャー系の2種類があるが、サージカルプレート系はCTシミュレーションソフトウェア上で立案した計画に基づいて作成したサージカルガイドを利用するものであり、一方モーションキャプチャー系とは主に赤外線トラッキングシステムを用いて手術をリアルタイムにナビゲートするもの (Navident, Robodent, IGI, VISIT, Treon, PHANToM など) である。一般的には安価で特殊な装置を必要としないサージカルプレート系が多く使用されており、それぞれのインプラントメーカーが独自のガイドシステム (NobelGuide, SurgiGuide, EasyGuide, Bone navi system, iCAT など) を持っている。

2. 各ガイドの特徴

サージカルプレート系のガイドシステムには、少数歯中間欠損症例で主に用いられる Teeth

supported template (歯牙支持タイプ)、少数歯遊離端欠損症例で用いられる Teeth-mucosa supported template (歯牙粘膜支持タイプ)、無歯顎症例や多数歯欠損症例で用いられる Bone supported template (骨支持タイプ)、また同じく無歯顎症例や多数歯欠損症例で用いられる Mucosa supported template (粘膜支持タイプ) の4つに大別される (図10)。Tahmaseb らによるサージカルガイドの精度に関するシステムティックレビュー¹⁾によると、フリーハンドの埋入とフルガイドでの埋入を比較したところ、挿入点での誤差はフリーハンドが 1.38 mm に対し、フルガイドが 0.98 mm、先端部での誤差はフリーハンドが 1.74 mm に対し、フルガイドが 1.33 mm と報告されている。すなわちフルガイドのインプラント埋入であっても若干の誤差が生じるものの、フリーハンドの埋入よりは精度が高いことが示された。また、挿入点における誤差をそれぞれのガイドの種類別に比較したところ、粘膜支持タイプが平均 1.07 mm、粘膜支持ガイドに固定ピンを用いた場合は 0.98 mm、骨支持タイプが 1.43 mm、歯牙支持タイプが 0.84 mm であり、平均 1.12 mm、最大 4.5 mm のずれが生じたと報告されている。また、先端部での誤差に関しては粘膜支持タイプが 1.64 mm、粘膜支持ガイドに固定ピンを用いた場合は 1.20 mm、骨支持タイプが 1.87 mm、歯牙支持が 1.15 mm であり、平均 1.39 mm、最大 7.1 mm のずれであったと報告されている。挿入点、先端部いずれにおいても歯牙支持タイプのサージカルガイドが最も精度が良く、続いて粘膜支持に固定ピンを用いたタイプ、次に粘膜支持タイプ、最も精度が悪いのが骨支持タイプであった。特に 7.1 mm もの大きな誤差が生じた症例は部分欠損 (少

数歯遊離端欠損) 症例に対して骨支持タイプのガイドを使用した臨床報告²⁾であった。骨支持ガイドは多数歯欠損や無歯顎症例に対しては非常に有効であるが、部分欠損症例に対しては極めて慎重に使用するべきであろう。

ガイドドサージェリーの精度に影響を及ぼす要因としては、データ採取時のエラー (CT 画像の解像度、撮影時の患者の動き、CT 用ステントの浮き上がり、金属のアーチファクトなど)、ガイドの変形 (ガイドの適合や厚み、強度)、どのドリルまで使用するか (fully guided or partially guided)、スリーブの長さ、直径、骨面までの距離などが報告されている³⁾。CT 画像における金属のアーチファクトが生じると、歯牙支持タイプのガイドテンプレートが作製できないことから、ダブルスキャン法やスキャンテンプレート法などにより、模型の歯冠形態を CT データに反映させる必要がある。また、スリーブの長さ、内径、インプラントの長さに関しては 13 mm のインプラントを想定した場合、ショルダー部では 1.3 mm、先端部で 2.4 mm の誤差が生じるとの報告⁴⁾があるので、スリーブの選択にも注意が必要である。

3. ガイデッドサージェリーにおける注意点

ガイデッドサージェリーの注意点としては、まずオーバーヒートのリスクが挙げられる。動物実験において、フリーハンドでの埋入と比較し、ガイデッドサージェリーでは周囲骨の温度が約 2 度程度上昇すること、またドリルの使用回数が増えれば増えるほど周囲骨の温度が上昇しやすいことが報告されている⁵⁾。そのため、特に硬い骨質の症例ではできるだけ新しいドリルを使用し、注水による冷却に気をつけること、また間歇的なドリリングを心がけることが重要と言える。また、右利きの場合、右側よりも左側の方が誤差が大きいこと⁶⁾、前歯部よりも臼歯部の方が誤差が大きいこと⁷⁾、learning curve (慣れ) が重要であること³⁾、複数のガイドは単一のガイドよりも誤差が大きくなること⁸⁾、コスト、準備の時間、開口量 (特に臼歯部) が問題であること⁹⁾などが報告されている。

粘膜支持タイプのガイドの特徴として、フラップを大きく開ける必要がなく侵襲が少ないという利点がある一方、フラップレス埋入をすると角化歯肉を失ってしまうこと、粘膜の被圧変位量が大きいため固定ピンが必要なこと、臼歯部ではクリアランス不足のため使用できない可能性があること、長いドリルを使用するためドリル先端部でのブレが大きいことなどが挙げられる。また、骨支持タイプのガイドの特徴としては、

スリーブと骨が近いのでドリル先端でのブレが少なく、ドリリングの途中でも骨を確認することができるため安全であるという利点がある一方、アーチファクトにより CT 画像が乱れている場合は作製したガイドの適合性が悪くなること、ガイドの範囲が小さい場合は埋入精度が悪くなる可能性が高いこと、フラップを大きく開ける必要があること、ガイドの試適ができないことなどが挙げられる。一方、歯牙支持タイプの特徴としてはガイドの安定が良く、埋入精度が高いが、残存歯に金属修復物がある場合、ステントのみで CT 撮影 (ダブルスキャン法) を行うか、石膏模型のデータを用いてアーチファクトの影響を排除する必要があること、欠損部の近遠心的距離が近い場合はガイドスリーブが隣在歯に干渉する可能性があることなどに注意する必要がある。

ガイデッドサージェリーは正確な位置にインプラントを埋入するために非常に有用な方法である。特に多数歯欠損、無歯顎の症例や傾斜埋入の症例におけるガイデッドサージェリーは埋入位置、角度を決定する上で非常に有用であるが、誤差が生じる可能性があることも十分理解して使用しなければならない。

IV. CAD/CAM 補綴

1. 補綴におけるデジタルワークフローの意義

補綴においてもデジタル技術が応用されており、印象採得から上部構造作製までをすべてデジタルワークフローの中で完結できるようになってきた (図 2-5)。印象コーピングを用いたシリコン印象を行った後、作業用模型上で上部構造を製作する方法 (従来型ワークフロー) と、口腔内スキャナーを用いたデジタル印象から CAD/CAM 上部構造を製作する方法 (デジタルワークフロー) を比較した場合、従来型ワークフローが 223 分、デジタルワークフローは 185.4 分と有意に作業時間が短いことが報告されている¹⁰⁾。この中では特に技工室での作業時間に大きな違いがあることが示された。また、上部構造製作に必要な費用を比較したところ、デジタルワークフローでは従来型ワークフローよりも約 18% 費用を抑えることができることが報告され¹¹⁾、時間と費用の両面においてデジタルワークフローが有効であることが示唆された。

2. チタンアバットメントおよびジルコニアアバットメントの特徴

現在、CAD/CAM アバットメントとして、主にチタンとジルコニアが使用されているが、臨床的にどち

らのアバットメントを使用すべきかの基準は明らかにはされていない。

Scaranoらはヒトの口腔内において両アバットメントのプラークの付着量を比較し、チタンと比較してジルコニアの方が有意に少なかったと報告している¹²⁾。また、われわれはレーザードップラー血流計を用いて、ジルコニアアバットメントとメタル製アバットメントの周囲粘膜における組織血流量を比較し、ジルコニアの方が周囲組織血流量が多く、天然歯周囲歯肉の血流量に近いことを報告した¹³⁾。一方、Barwaczらはチタンアバットメントとジルコニアアバットメントの生物学的影響をインプラント周囲浸出液で検討し、炎症性サイトカイン (IL-1, IL-2, IL-6, IL-10, TNF-A など) や骨関連タンパク (OPG, OPN, PTH, Insulin, Leptin など) の発現量に両群間で有意な差はみられなかったと報告している¹⁴⁾。その他、審美面においてはLopsらが3種類のアバットメント (金合金, ジルコニア, チタン) を用いた場合の分光光度分析による歯肉色評価を行い、周囲粘膜の厚みが2 mm 以下の場合にはジルコニアアバットメントが審美的に優れていることを報告している¹⁵⁾。

さらに両アバットメントに関するシステマティックレビュー¹⁶⁾によると、周囲ポケット深さ (PPD)、プロービング時の出血 (BOP)、周囲骨吸収量、歯肉退縮量に関してはチタンとジルコニアの間で有意な相関は認められなかったと報告されている。生物学的合併症 (フィステル、歯肉腫脹、疼痛、排膿) の割合はむしろ若干ジルコニアの方が高いが、ジルコニアの問題というよりもレジメンメントの取り残しが原因である可能性が高いと考察されている。また周囲粘膜の色に関してはジルコニアの方がチタンよりも良いこと (特に粘膜の厚みが2 mm 以下の薄い場合) が報告されているものの、患者の主観的評価や Esthetic index 評価で比較した臨床研究ではほとんど有意な差が認められないことが報告されている¹⁷⁾。

一方、近年ジルコニアアバットメントとインプラント体との接合部におけるインプラント体内面 (チタン) の磨耗が注目されている。In vitro における繰り返し荷重において、ジルコニアアバットメントの方がチタンアバットメントよりも多くのインプラントの磨耗を引き起こすことや¹⁸⁾、ジルコニアアバットメントを長期間使用することによって周囲粘膜における titanium tattooing が生じた症例が報告されている¹⁹⁾。さらにジルコニアアバットメントを5年間使用後に周囲ポケット内の元素分析を行った研究では、titanium particles がリリースされているものの、

PPD や BOP などのインプラント周囲粘膜の臨床パラメータや周囲骨吸収量には影響を及ぼさなかったと報告されている²⁰⁾。これらのことから、現時点ではジルコニアアバットメントを用いた場合、インプラント周囲炎等の生物学的合併症などのリスクは低いものの、フィクスチャー (チタン) の磨耗を生じる可能性が高いため、今後も慎重に経過を追っていく必要があると考える。さらにジルコニアアバットメントのコネクション部における破折も報告されている²¹⁾ ことから、咬合力が強くかかる部位ではインプラント体との接合部のみチタンベースを使用するタイプのジルコニアアバットメントを使用する方が安全である。

3. モノリシッククラウンの応用

インプラント補綴のデジタルワークフローにおいては光学印象からの CAD デザイン、CAM 装置での切削加工がスムーズに行える材料が求められるが、特に高強度セラミックスであるジルコニアと二ケイ酸リチウムがインプラント上部構造に使用されている。上部構造においてジルコニアは主にフレーム材として用いられ、築盛用ポーセレンを前装すること (レイヤリング法) により高い審美性を得ることが可能である。一方、二ケイ酸リチウムは高い透過性を有していることから陶材を築盛せず、ステイン処置のみでもある程度の審美性を確保でき、モノリシッククラウンとして使用されることが多い。Jodaらはモノリシッククラウンがレイヤリング法のクラウンと比較して、技工作業時間を約半分に短縮できること、またコストを約30% 抑えることが可能であることを報告している²²⁾。またレイヤリング法の場合、築盛用陶材の曲げ強度が低く、臨床的に前装用陶材の破折・チッピングが問題となっていることから、インプラント上部構造におけるモノリシッククラウンへの期待が急速に膨らんでいくのが現状である。

特にジルコニアに関しては材料学的発展が目覚しく、高い曲げ強度だけでなく、非常に高い透過性を合わせ持つマルチレイヤーブロックが開発され、審美的なモノリシックジルコニアクラウンが可能となってきた。これまで問題として挙げられていた温度や水分などによる経年的な曲げ強度の低下に関しても改善されてきたという報告²³⁾ や対合歯の磨耗に関しても、咬合調整後に最終研磨までされていれば、従来の陶材焼付金属冠よりも対合歯を磨耗しにくいという報告²⁴⁾ があり、インプラント上部構造として使用しやすくなってきた。

しかしながら、インプラント上部構造として口腔内

に実際にモノリシックジルコニアクラウンが使用された期間はまだ短く、長期にわたる臨床試験が存在しないのが現状である。特に天然歯と異なり、歯根膜の存在しないインプラント上部構造としてのモノリシッククラウンの長期予後に関しては不明な点も多いため、今後コントロールされた臨床研究が期待される。

V. インプラント治療における光学印象

これまでインプラント治療において CAD/CAM 補綴が用いられていたものの、印象コーピングを用いた印象採得や模型製作後に技工用スキャナーを用いて STL データ化することが多く、デジタル化と言っても歯科技工の領域が中心であった。しかしながら近年、高性能口腔内スキャナーが開発されたことにより、インプラント治療においても光学印象が可能となり、診療室から技工所まですべてのフルデジタルワークフローが実現できるようになってきた。光学印象を用いることにより、印象コーピングや印象材、技工用アナログ等が不要になるだけでなく、患者の不快感も軽減できることから、患者のメリットは大きい。また印象材の変形、石膏の硬化膨張などのエラーをなくすることが可能となるだけでなく、精密な咬合採得も可能となり、より精度の高い上部構造の作製につながる事が期待されている。

デジタル印象の精度に関してはさまざまな報告があるが、デジタル印象後に 3D プリンターを用いて作製した模型と従来のクローズドトレーを用いたシリコン印象による模型とを比較した研究によると、水平的な位置関係についてはほとんど差がなく、唯一垂直的な位置関係にのみ有意な違いがあったと報告されている²⁵⁾。従来のシリコン印象では模型の中でアナログの位置が 0.1 mm 程度深めに位置しているのに対して、デジタル印象では逆に 0.1 mm 程度浅めに位置していたという結果であった。特にデジタル印象でアナログが浅めに位置する理由としてはスキャンボディの締結に問題があった可能性が高いことから、スキャンボディのインプラント体への適合や締結トルクなどに注意を払う必要がある。また、デジタル印象の精度に影響を及ぼす因子に関するシステムティックレビュー²⁶⁾によると、①口腔内スキャナーの種類(メーカー、世代、撮影方法など) ②臨床的な要因(患者の撮影時の動き、唾液や舌など軟組織の存在、レンズの曇り、部位、インプラント間の距離、欠損部の大きさ、インプラントの埋入角度や深度など) ③スキャンボディの種類(サイズ、形状、種類、インプラント体への適合、締付ト

ルクなど) ④スキャニング法(パウダーの有無、スキャン時間、スキャン順序など) ⑤術者の慣れ、などが挙げられている。インプラント治療において光学印象を用いる際には、これらの要因の影響を最小限にするように注意を払いながら使用することが重要である。

VI. 結 論

少数歯欠損症例のインプラント治療においては、光学印象やガイドドサージェリーを用いることにより、診査診断からインプラント埋入、上部構造までのフルデジタルワークフローが確立され、より安全で確実なインプラント治療が可能となってきた。一方、多数歯欠損や無歯顎に対するインプラント治療においてはガイドドサージェリーや CAD/CAM 補綴を用いることはできるものの、光学印象の精度に不安があることに加え、バーチャル咬合器の信頼性にも不安があることから現時点ではフルデジタルワークフローは困難と思われる。いずれにしてもデジタルだからすべて良いわけではなく、デジタルの情報を従来の方法と融合させながら、我々がどのように扱うかが重要である。患者情報をデジタル化することにより、データ管理や経時的変化の比較を行うことが容易になるだけでなく、インターネットを通じて歯科医師と歯科技工士の連携を強化することも可能となることから、デジタルを利用することで真の補綴主導型インプラントの実践につなげていかなければならない。

利益相反

本論文に関して開示すべき利益相反関係はない。

文 献

- 1) Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29: 25-42.
- 2) Di Giacomo GA, Cury PR, de Araujo NS, Sendyk WR, Sendyk CL. Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results. *J Periodontol* 2005; 76: 503-507.
- 3) Mora MA, Chenin DL, Arce RM. Software tools and surgical guides in dental-implant-guided surgery. *Dent Clin North Am* 2014; 58: 597-626.
- 4) Koop R, Vercruyssen M, Vermeulen K, Quirynen M. Tolerance within the sleeve inserts of different surgical guides for guided implant surgery. *Clin Oral Implants Res* 2013; 24: 630-634.
- 5) Van de Wiele G, Teughels W, Vercruyssen M, Coucke W, Temmerman A, Quirynen M. The accuracy of

- guided surgery via mucosa-supported stereolithographic surgical templates in the hands of surgeons with little experience. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26: 1489-1494.
- 6) Di Giacomo GA, da Silva JV, da Silva AM, Paschoal GH, Cury PR, Szarf G. Accuracy and complications of computer-designed selective laser sintering surgical guides for flapless dental implant placement and immediate definitive prosthesis installation. *J Periodontol* 2012; 83: 410-419.
 - 7) Vasak C, Watzak G, Gahleitner A, Strbac G, Schemper M, Zechner W. Computed tomography-based evaluation of template (NobelGuide™)-guided implant positions: a prospective radiological study. *Clin Oral Implants Res* 2011; 22: 1157-1163.
 - 8) Cassetta M, Giansanti M, Di Mambro A, Calasso S, Barbato E. Accuracy of two stereolithographic surgical templates: a retrospective study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013; 15: 448-459.
 - 9) Kattadiyil MT, Parciak E, Puri S, Scherer MD. CAD/CAM guided surgery in implant dentistry: a brief review. *Alpha Omegan* 2014; 107: 26-31.
 - 10) Joda T, Brägger U. Time-Efficiency Analysis Comparing Digital and Conventional Workflows for Implant Crowns, A Prospective Clinical Crossover Trial. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2015; 30: 1047-1053.
 - 11) Joda T, Brägger U. Digital vs. conventional implant prosthetic workflows: A cost/time analysis. *Clin Oral Implants Res* 2014; 26: 1430-1435.
 - 12) Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A. Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: an in vivo human study. *J Periodontol* 2004; 75: 292-296.
 - 13) Kajiwara N, Masaki C, Mukaibo T, Kondo Y, Nakamoto T, Hosokawa R. Soft tissue biological response to zirconia and metal implant abutments compared with natural tooth: microcirculation monitoring as a novel bioindicator. *Implant Dent* 2015; 24: 37-41.
 - 14) Barwacz CA, Brogden KA, Stanford CM, Dawson DV, Recker EN, Blanchette D. Comparison of pro-inflammatory cytokines and bone metabolism mediators around titanium and zirconia dental implant abutments following a minimum of 6 months of clinical function. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26: e35-41.
 - 15) Lops D, Stellini E, Sbricoli L, Cea N, Romeo E, Bressan E. Influence of abutment material on peri-implant soft tissues in anterior areas with thin gingival biotype: a multicentric prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2017; 28: 1263-1268.
 - 16) Linkevicius T, Vaitelis J. The effect of zirconia or titanium as abutment material on soft peri-implant tissues: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26: 139-147.
 - 17) Sicilia A, Quirynen M, Fontollet A, Francisco H, Friedman A, Linkevicius T et al. Long-term stability of peri-implant tissues after bone or soft tissue augmentation. Effect of zirconia or titanium abutments on peri-implant soft tissues. Summary and consensus statements. The 4th EAO Consensus Conference 2015. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26: 148-152.
 - 18) Klotz MW, Taylor TD, Goldberg AJ. Wear at the titanium-zirconia implant-abutment interface: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26: 970-975.
 - 19) Taylor TD, Klotz MW, Lawton RA. Titanium tattooing associated with zirconia implant abutments: a clinical report of two cases. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29: 958-960.
 - 20) Tawse-Smith A, Ma S, Duncan WJ, Gray A, Reid MR, Rich AM. Implications of Wear at the Titanium-Zirconia Implant-Abutment Interface on the Health of Peri-implant Tissues. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017; 32: 599-609.
 - 21) Foong JK, Judge RB, Palamara JE, Swain MV. Fracture resistance of titanium and zirconia abutments: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2013; 109: 304-312.
 - 22) Joda T, Brägger U. Time-efficiency analysis of the treatment with monolithic implant crowns in a digital workflow: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27: 1401-1406.
 - 23) Flinn BD, Raigrodski AJ, Mancl LA, Toivola R, Kuykendall T. Influence of aging on flexural strength of translucent zirconia for monolithic restorations. *J Prosthet Dent* 2017; 117: 303-309.
 - 24) Mundhe K, Jain V, Pruthi G, Shah N. Clinical study to evaluate the wear of natural enamel antagonist to zirconia and metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 2015; 114: 358-363.
 - 25) Lee SJ, Betensky RA, Gianneschi GE, Gallucci GO. Accuracy of digital versus conventional implant impression. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26: 715-719.
 - 26) Rutkūnas V, Gečiauskaitė A, Jegelevičius D, Vaitiekūnas M. Accuracy of digital implant impressions with intraoral scanners. A systematic review. *Eur J Oral Implantol* 2017; 10: 101-120.

著者連絡先：正木 千尋

〒803-8580 北九州市小倉北区真鶴 2-6-1

九州歯科大学

Tel: 093-285-3100

Fax: 093-592-3230

E-mail: masaki@kyu-dent.ac.jp