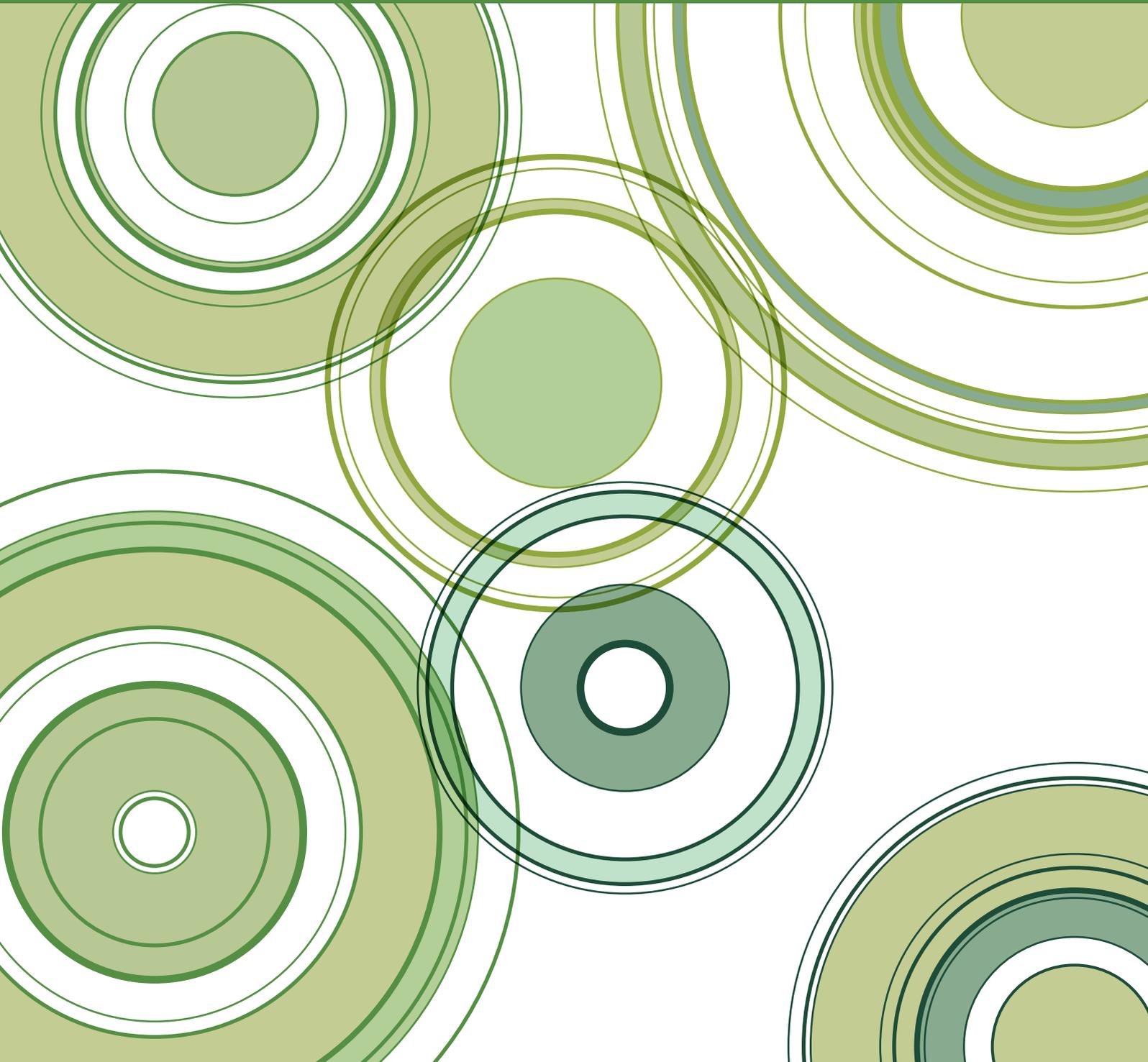


# 九州齒科學會雜誌

The Journal of The Kyushu Dental Society

**Vol.72 | No.3·4 | March 2019**

第72卷 第3·4号 平成31年3月 ONLINE ISSN : 1880-8719 PRINT ISSN : 0368-6833



九州齒科学会  
Kyushu Dental Society

九州齒会誌  
J Kyushu Dent Soc

## 複写をご希望の方へ

九州歯科学会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F  
FAX : 03-3475-5619 E-mail : info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。直接、九州歯科学会へお問い合わせください（奥付参照）。

## Reprographic Reproduction outside Japan

Making a copy of this publication

Please obtain permission from the following Reproduction Rights Organizations (RROs) to which the copyright holder has consigned the management of the copyright regarding reprographic reproduction.

Obtaining permission to quote, reproduce; translate, etc.

Please contact the copyright holder directly.

→Users in countries and regions where there is a local RRO under bilateral contract with Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Users in countries and regions of which RROs are listed on the following website are requested to contact the respective RROs directly to obtain permission.

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

Website <http://www.jaacc.jp/>

E-mail : info@jaacc.jp Fax : +81-33475-5619

# 九州歯科学会雑誌

## 第72巻 第3・4号

(平成31年3月)

### 目 次

#### 総説

インプラント治療におけるデジタルワークフロー .....	正木 千尋・友野 博記・柄 慎太郎 近藤 祐介・向坊 太郎・田村 暁子 細川 隆司	29
デジタルデンティストリーにおける インプラント上部構造の材料選択 .....	伴 清治	36
インプラント治療におけるデジタル化の現在地と課題 .....	丸尾勝一郎	42

The Journal  
of  
the Kyushu Dental Society

Vol. 72 No. 3 · 4

Reviews

Digital Workflow for Implant Dentistry

Chihiro Masaki, Hiroki Tomono, Shintaro Tsuka,  
Yusuke Kondo, Taro Mukaibo, Akiko Tamura, Ryuji Hosokawa ..... 29

Material selection of implant superstructure in digital dentistry

Seiji Ban ..... 36

The Present and Challenge of Digital Implant Dentistry

Katsuichiro Maruo ..... 42

## インプラント治療におけるデジタルワークフロー

正木千尋・友野博記・柄慎太郎  
近藤祐介・向坊太郎・田村暁子  
細川隆司

九州歯科大学 口腔再建リハビリテーション学分野

平成30年10月9日受付

平成30年12月12日受理

### Digital Workflow for Implant Dentistry

Chihiro Masaki, Hiroki Tomono, Shintaro Tsuka,  
Yusuke Kondo, Taro Mukaibo, Akiko Tamura, Ryuji Hosokawa

Division of Oral Reconstruction and Rehabilitation, Kyushu Dental University

### Abstract

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

### 抄 録

インプラント治療においては、術前診断から治療計画の立案、埋入手術やその後の上部構造作製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。

インプラント術前診断では、従来のCT撮影で得られたダイコムデータを専用のソフトウェアに取り込み、3次元埋入シミュレーションを行うだけでなく、近年は模型のスキャンデータや口腔内スキャナからのSTLデータを重ね合わせることで、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ている。さらに埋入シミュレーションを元に製作したサージカルガイドによるガイドドサージェリーを行う

---

責任者への連絡先: 正木千尋

〒803-8580 福岡県北九州市小倉北区真鶴2-6-1

九州歯科大学口腔再建リハビリテーション学分野

Chihiro Masaki

Division of Oral Reconstruction and Rehabilitation, Kyushu Dental University

2-6-1, Manazuru, Kokurakita-ku, Kitakyushu, Fukuoka 803-8580, Japan

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

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。

また、上部構造においてもcomputer aided design / computer aided manufacturing (CAD/CAM)の登場により、チタンやジルコニアを中心としたカスタムアバットメントや二ケイ酸リチウムやジルコニアを用いたモノリシッククラウンが使用されているものの、どの症例にどの材料を用いるべきかの明確な基準はないため、それぞれの特性を理解して選択していく必要がある。

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ドドサージェリー、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、ガイドドサージェリーの有用性や問題点、CAD/CAM補綴の問題点や有用性について述べていきたい

**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

### I. 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62歳、男性。右上に歯を入れて欲しいとの主訴で来院した。図1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した埋入シミュレーションを行った(図2)。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3)。Straumann® BLT implant, φ4.1 mm, RC, SLActive 10mm Roxolidを1回法で埋入した。約2ヶ月後、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



図1 右上5番欠損症例のTRIOS®3による口腔内デジタル印象画像

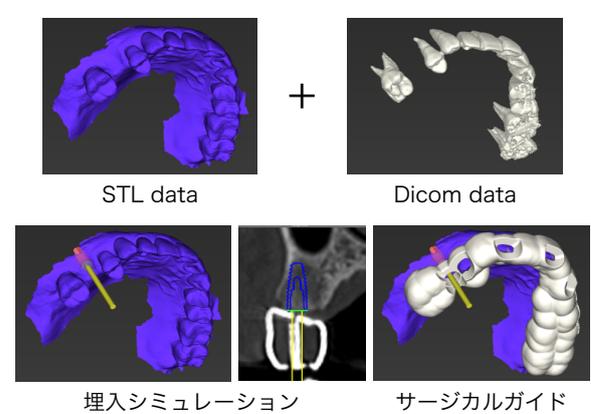


図2 CTダイコムデータと口腔内STLデータをマッチングさせ、インプラント埋入シミュレーションおよびCAD/CAMガイドを設計した

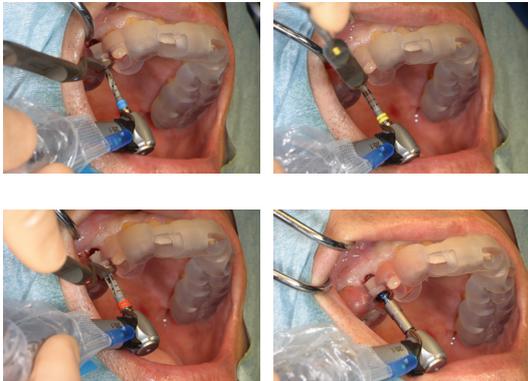


図3 歯牙支持ガイドを用いたガイドドサージェリー



デジタル印象 (TRIOS)

3D模型も製作可能

チタンベースのモノリシッククラウン

図4 スキャンボディを用いた口腔内デジタル印象後に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

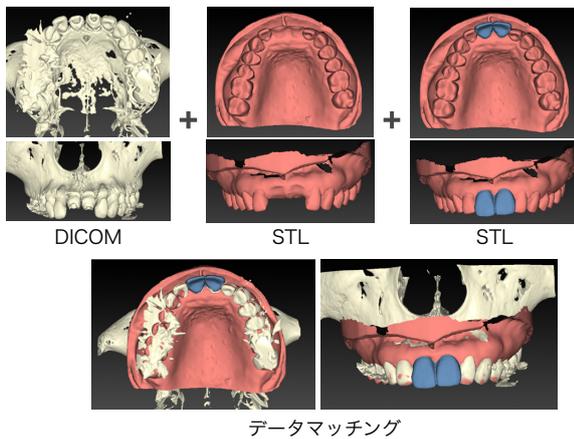


図5 Smart fusion (Nobelbiocare社)を用いたDICOMデータとSTLデータのマッチング

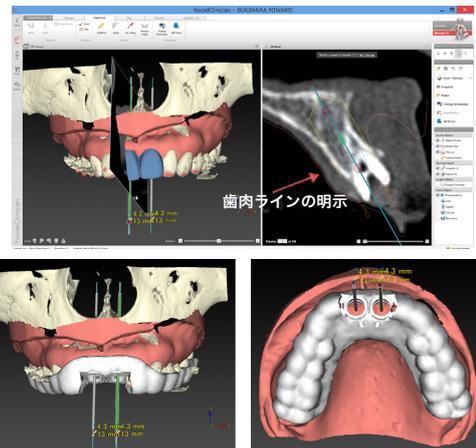


図6 硬組織だけでなく、軟組織も考慮したインプラント埋入計画が可能

を行った。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4)。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(図5, 6)。特にスクリ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ルの位置を正確に決めることができるので有効である。

## II. 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と特徴

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テン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、サージカルテンプレート系は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

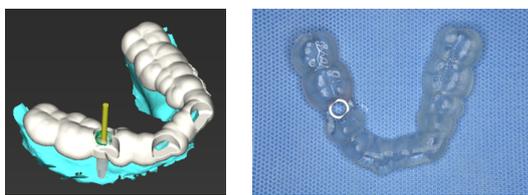
ラッキングシステムを用いて手術をリアルタイムにナビゲートするものである。サージカルテンプレート系のガイドシステムには、少数歯中間欠損症例で主に用いられるTeeth supported template(歯牙支持タイプ)、少数歯遊離端欠損症例で用いられるTeeth-mucosa supported template(歯牙粘膜支持タイプ)、無歯顎症例や多数歯欠損症例で用いられるBone supported template(骨支持タイプ)、また同じく無歯顎症例や多数歯欠損症例で用いられるMucosa supported template(粘膜支持タイプ)の4つに大別される(図7, 8)。Tahmasebらによるサージカルガイドの精度に関するシステマティックレビュー<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>。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(図9, 10, 11)。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<sup>4)</sup>があるので、スリーブの選択にも注意が必要である。

## 2. 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<sup>5)</sup>。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



歯牙支持型のサージカルガイド



2.2 mm

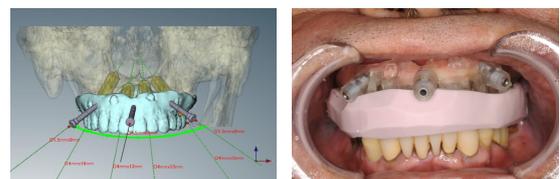
2.8 mm

3.5 mm

図7 歯牙支持型サージカルステント

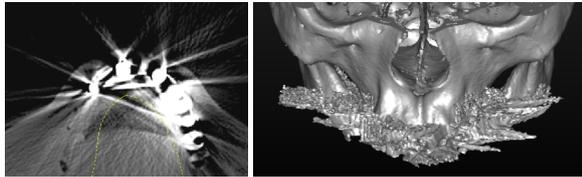


骨支持型のサージカルガイド



粘膜支持型のサージカルガイド

図8 骨支持型および粘膜支持型サージカルステント



このままでは歯牙支持のガイドテンプレートが作製できない



ダブルスキャン法やスキャンテンプレート法等により  
模型の歯冠形態をCTデータに反映させる必要あり

図9 CT画像における金属アーチファクトの問題



図11 スキャンテンプレート法を用いたアーチファクトの排除

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<sup>6)</sup>、前歯部よりも臼歯部の方が誤差が大きいこと<sup>7)</sup>、learning curve(慣れ)が重要であること<sup>3)</sup>、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<sup>8)</sup>、コスト、準備の時間、開口量(特に臼歯部)が問題であること<sup>9)</sup>などが報告されている。

ガイド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ド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。

### III. 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

### ダブルスキャン法

ラジオグラフィックガイドの製作  
(ガッタパーチャ入り)



CT撮影(ダブルスキャン)



2つのCT dataを用いてアーチファクトの影響を排除

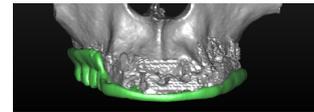


図10 ダブルスキャン法を用いたアーチファクトの排除

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。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<sup>10)</sup>。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<sup>11)</sup>、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<sup>12)</sup>。また、我々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<sup>13)</sup>。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<sup>14)</sup>。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<sup>15)</sup>。

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<sup>16)</sup>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ンセ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<sup>17)</sup>。

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が報告されたり<sup>18)</sup>, また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<sup>19)</sup>。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<sup>20)</sup>。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<sup>21)</sup>ことから, 咬合力が強くな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。

## VI. まとめ

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, パ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。

## 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;76:503-7.
- 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;24:630-4.
- 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;26:1489-94.
- 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;83:410-9.
- 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;22:1157-63.
- 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;15:448-59.
  - 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;30:1047-53.
  - 11) Joda T, Brägger U. Digital vs. conventional implant prosthetic workflows: A cost/time analysis, *Clin Oral Implants Res* 2014;26:1430-5.
  - 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;75:292-6.
  - 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;28:1263-8.
  - 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;26:139-47.
  - 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;26:148-52.
  - 18) Klotz MW, Taylor TD, Goldberg AJ. Wear at the titanium-zirconia implant-abutment interface: a pilot study, *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:970-5.
  - 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;29:958-60.
  - 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;109:304-12.

# デジタルデンティストリーにおける インプラント上部構造の材料選択

伴 清 治

愛知学院大学 歯学部 歯科理工学講座

平成30年10月9日受付

平成30年12月12日受理

Material selection of implant superstructure in digital dentistry

Seiji Ban

Department of Dental Materials Science, School of Dentistry, Aichi Gakuin University

## Abstract

The CAD / CAM system is diversifying and the number of useful materials increase year and year. Then, it is difficult to select one from them. Moreover, there are materials that have already disappeared from the market, and the change in this field is extremely fast. Therefore, it is always desired to keep up with the latest information, understand the characteristics of each material and to apply it to restorations corresponding to each. This review describes the current state of materials used in the fabrication of the superstructure of the implant in the digital dentistry such as CAD/CAM system. For example, zirconia has improved translucency and increased multilayer type, and 10 types of zirconia are currently on the market. And, not as a zirconia core for veneering porcelain, full zirconia crown (so-called monolithic crown) is mainly used for dental application. Meanwhile, PEKK of super engineering plastics is approved in pharmaceutical affairs in February 2018, and it is drawing attention. In addition, hybrid resin is attractive as health insurance applicable CAD/CAM crown material in Japan, but it is recognized as implant superstructure with shock absorption in Europe and America.

**Key words** : digital dentistry, implant superstructure, CAD/CAM material

## 抄 録

CAD/CAMシステムは年々多様化し、使用可能な材料が増える傾向にあり、その選択に苦慮する場合がある。しか

---

責任者への連絡先：伴 清治

〒464-8650 名古屋市千種区楠元町1-100

愛知学院大学歯学部歯科理工学講座

Seiji Ban

Department of Dental Materials Science, School of Dentistry, Aichi Gakuin University

1-100, Kusumoto-cyo, Chikusa-ku, Nagoya 464-8650, Japan

E-mail : sban@g.agu.ac.jp

も、すでに市場から消えた材料もあり、この分野の変化はきわめて速い。したがって、最新情報をつねに把握し、材料選択に当たっては各材料の特徴を理解し、それぞれに応じた修復物への適用が望まれる。今回は、デジタルデンティストリーにおけるインプラント上部構造の製作、すなわち歯科用CAD/CAMシステムで使用される材料の現状について説明する。例えば、ジルコニアは透光性が改善され、積層型も増え、現在10種類が市販されている。また、陶材を前装するためのジルコニアコアとしてではなく、フルジルコニア冠(いわゆるモノリシック冠)が用途の中心となっている。一方、レジン系材料ではスーパーエンジニアリングプラスチックのPEKKが2018年2月に薬事承認され、注目される。また、ハイブリッドレジンでは日本では保険適用CAD/CAM冠材料として注目されているが、欧米では衝撃吸収のあるインプラント上部構造体として認識されている。

**キーワード:** デジタルデンティストリー, インプラント上部構造, CAD / CAM材料

## 1. はじめに

デジタルデンティストリーにおけるインプラント上部構造の製作のためには、CAD/CAMシステムに用いる材料の選択が必須である。しかし、材料と加工法との組み合わせにより歯科用CAD/CAMシステムはきわめて多種多様であり、材料の選択には各方法・材料の基本的知識を把握しておく必要がある。例えば、光造形法は光重合型レジンだけが利用可能である。一方、切削法は組成的な制約はなく、各社の切削法CAD/CAMシステムでは多様な材料が選択可能となっている<sup>1,2)</sup>。さらに、CAD/CAMシステムは年々多様化し、使用可能な材料が増える傾向にあり<sup>3)</sup>、その選択に苦慮する場合がある。しかも、すでに市場から消えた材料もあり、この分野の変化はきわめて激しい<sup>4,5)</sup>。したがって、最新情報をつねに把握し、材料選択に当たっては各材料の特徴を理解し、それぞれに応じた修復物への適用が望まれる。今回は、デジタルデンティストリーにおけるインプラント上部構造の製作、すなわち歯科用CAD/CAMシステムで使用される材料の現状について説明する。とくに、変化の大きいセラミックス系およびレジン系材料を中心に説明する。

## 2. ジルコニア

純粋なジルコニア( $ZrO_2$ )では、単斜晶、正方晶、立方晶の3つの結晶系が温度により変態し、室温では単斜晶が安定である。ジルコニアにイットリウム(Y)など、ジルコニウム(Zr)よりも大きなイオン半径を持つイオンを固溶させると正方晶や立方晶が室温でも安定に存在できるようになる。これは、部分安定化ジルコニア(PSZ: Partially Stabilized Zirconia)と呼ばれている。さらにY含有量が約3mol%のとき、室温で正方晶をほぼ100%にすることができ、正方晶多結晶体(TZP:

Tetragonal Zirconia Polycrystal)あるいは高靱化ジルコニアと呼ばれている。PSZ及びTZPは、きわめて特異的な現象を示す。応力が負荷されクラックが生じると、クラック先端付近で正方晶から単斜晶へ相変態し転移域が形成される。この相変態は約4%と大きな体積変化を伴う。この際の体積増加に伴うひずみエネルギーの蓄積により、クラック先端部の応力を低下させ、クラックの進展を防止するとされている。この現象は応力誘起相転移と呼ばれ、ジルコニアがセラミックスにもかわらずきわめて高い強度を示す理由である。

最初に歯科応用されたのは、アルミナを0.5重量%を含む従来型ジルコニアと呼ばれるTZP(3Y-HA)であり、強度は高いが、透光性は不十分であるため陶材を前装するためのコアとして用いられた。光散乱因子であるアルミナ含有量を少なくし、透光性を改良したのが高透光性TZP(3Y)である。このジルコニアを利用することにより、臼歯部には前装陶材なしでジルコニアだけで最終形態にまで成形し、部分的に表面ステインだけで色を合わせるというフルジルコニア冠が可能となった。さらに、Y含有量を増やし、光学的立方体である立方晶を混在させた高透光性PSZ(5Y)が提供され、透光性がさらに改善されたため、前歯も陶材前装の必要はなく、フルジルコニア前歯冠が可能となった。このように、ジルコニアは組成および微細組織の改良により透光性が改善され(図1)、積層型も増え、現在の市販品は10種類に分類される<sup>4)</sup>。また、陶材を前装するためのジルコニアコアとしてではなく、フルジルコニア冠(いわゆるモノリシック冠)が用途の中心となっている(図2)。さらに、フルジルコニア冠の審美性を高めるための着色方法もいくつかあり、それぞれ特徴を有している<sup>6)</sup>。しかし、透光性が高いと、強度は低下する(図3)。修復物への適用には、この相反する関係を十分に考慮する必要がある。

臼歯冠形態の強度試験<sup>7,8)</sup>から判断すると、ブラキシ

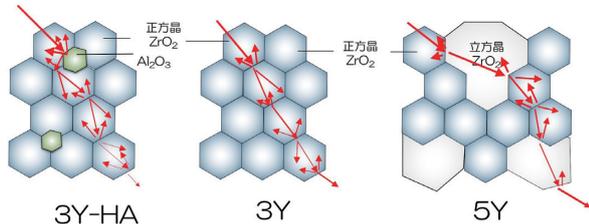


図1 従来型TZP (3 Y-HA), 高透光性TZP (3 Y) および高透光性PSZ (5 Y) の構造模式図

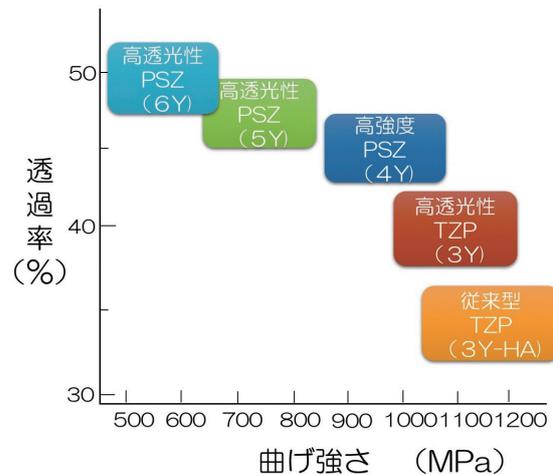


図3 各種ジルコニアの透過率と曲げ強さの関係

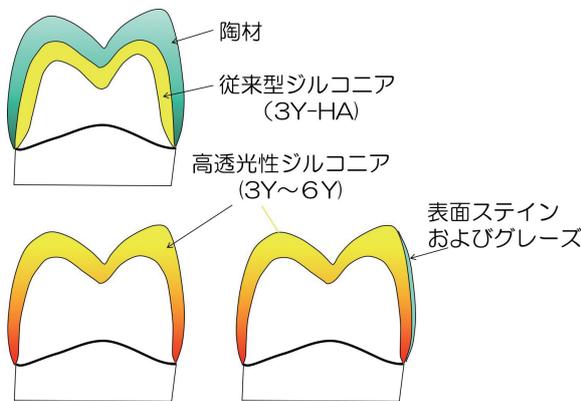


図2 ジルコニア製修復物の構造模型図

ズムの患者には高透光性TZP (3 Y) のフルジルコニア冠の使用を推奨したい。高透光性PSZ (5 Y) 冠では陶材前装ジルコニア冠や二ケイ酸リチウム冠と大差はなく、咬合力の大きなブラキシズムの患者には不安が残る。他の研究者も同様な強度試験結果を報告している<sup>9, 10)</sup>。高透光性TZP (3 Y) を用い、適正な形状および厚みに設計すれば、ブラキシズムの患者でも破壊することは考えにくい。高透光性PSZ (5 Y) 冠および二ケイ酸リチウム冠では、比較的肉厚にしなければならず、歯質削除量も増えることになるため、適用には注意する必要がある。欧米の製造メーカーは、高強度PSZ (4 Y) が透光性と強度のバランスのとれた素材として、オーバードンチャーへの応用を推奨しているようで、ホームページのトップに製作例を表示している (図4)。

一方、インプラントアバットメントとしてジルコニアを使用する場合の課題も報告されている<sup>11)</sup>。アバットメントとしてジルコニアまたはCAD/CAM切削および加



図4 ジルコニアディスク製造メーカーの高強度PSZ (4 Y) のホームページのトップページ (左: <https://www.dentaldirekt.de/en/products/materials/zirconium-dioxide/white-zirconium-dioxide/dd-cube-one/>, 右: <https://www.amanngirrbach.com/en/products/cadcam-material/ceramic-zirconia/zolid-ht-white/>)

圧成形二ケイ酸リチウムを使用し、陶材を前装した小白歯上部構造体の垂直荷重に対する破壊強度を比較すると、それぞれ1972 N (±245N), 1681 N (±354 N), 1888 N (±395 N) であった。平均値ではジルコニア製アバットメントが高い値を示しているが、3種に統計的有意差はなかった。すなわち、陶材で前装してしまうと、陶材の強度で支配されてしまい、アバットメント自体の強度が上部構造体全体の破壊強度に与える影響は少ないと解釈された。しかし、破壊モードは明瞭に異なり、ジルコニア製アバットメントは破壊せず、前装した陶材だけが破壊したのに対し、二ケイ酸リチウムを用いた構成では前装した陶材だけでなくアバットメントも含め完全に破壊していた (図5)。したがって、上部構造体全体をジルコニア製にすることが推奨される。

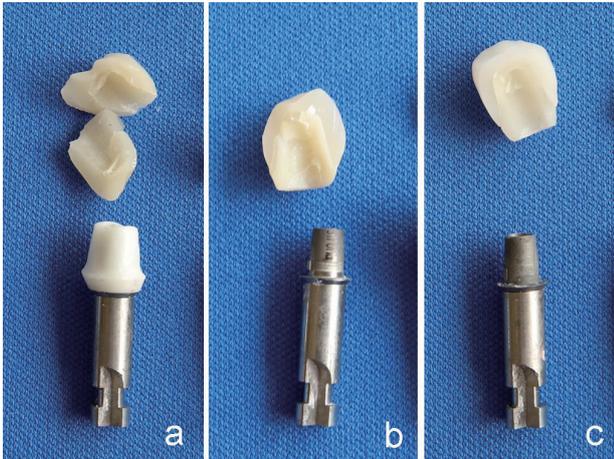


図5 セラミックス製アバットメントの破壊モードの比較. a:ジルコニア (inCoris ZI) 製アバットメント, b:CAD/CAM切削二ケイ酸リチウム(IPS e.max CAD)製アバットメント, およびc:加圧成形二ケイ酸リチウム(IPS e.max Press)製アバットメント. (参考文献11より引用・改変)

### 3. ガラスセラミックス

ガラスは基本的に引張り応力に弱く、切削によりチップングが生じやすいので、ガラス単体では実用可能な切削加工は困難である。そこで、ガラス中に結晶粒子を分散させ、その複合効果で強度向上を図り、快削性も付与されたのがガラスセラミックスである。いわゆる分散強化である。ガラス中に雲母(マイカ)結晶を分散させたものが、最初のマシナブルセラミックスである。しかし、強度的には不十分であり、現在の歯科用CAD/CAMシステムでは用いられていない。長石系(Vitablocs)、リューサイト系(Everest G-Blank, IPS Empress CAD, Initial LFR Block)、二ケイ酸リチウム系(IPS e.max CAD, n!ce)、メタケイ酸リチウム系(Celtra Duo, Suprinity)などが現在流通している。基本はインレー・単冠、大きくても3本ブリッジまでの適用であるためブロックの形態で提供されている(図6)。これらのガラスセラミックスブロックはきわめて硬く<sup>4,5)</sup>、切削性が劣るため、インプラント上部構造としての利用を促進するためアクセスホールが付与されたブロックが提供されている。しかし、日本では切削型よりも加圧注入(プレス)型の方がより多用されている。材料のマトリックスはガラスであるため、機械的強度、化学的耐久性、摩耗性ともジルコニアと比較すると劣っている<sup>12)</sup>。しかし、ガラスセラミックスの硬さはジルコニアの値よりエナメル質に近似しているため、被摩耗性がエナメル質に近く、インレーとしてはメリットがあると考えられる。



図6 CAD/CAM用ガラスセラミックブロック. a: IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent), b: n!ce (Straumann), c: CeltraDuo (Dentsply Sirona), d: Suprinity (Vita).

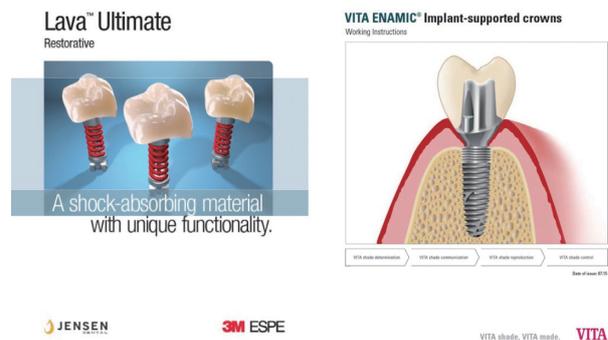


図7 CAD/CAM冠用ハイブリッドレジンのパフレット. 3M社製Lava Ultimate(左)および Vita社製 Enamic(右).

### 4. ハイブリッドレジン

ハイブリッドレジンとは、欧米では衝撃吸収のあるインプラント上部構造体として認識されている(図7)。しかし、日本ではレジンブロックからCAD/CAM切削冠が製作され、2014年4月より健保適用のCAD/CAMレジン冠として急速に普及した<sup>13)</sup>。当初小白歯にだけの適用であったが、2016年4月にはアレルギー患者に限り、白歯部への適用が認められた。さらに、2017年12月にはアレルギー患者でなくとも、限定的な条件は必要であるが白歯部への適用が認められた。厚労省の機能区分に対応し、日本材料協同組合は団体規格を新設して具体的な要求性能を公表し、小白歯用との差別化を図っている。それに合格した新製品が2017年末から2018年始めにかけて発売された(表1)。白歯部用は小白歯用と同じ硬さでも曲げ強さは小白歯用よりも優れており、フィラー含有量だけでなく、マトリックスレジンの改良、シラン

表1 健保適用CAD/CAMハイブリッドレジンプロックの特性 大白歯冠用 (メーカー公示値)

商品名 (製造メーカー)	フィラー含有量 (wt%)	硬さ (HV0.2)	曲げ強さ (MPa)		吸水量 (μg/mm <sup>3</sup> )	弾性係数 (GPa)
			乾燥状態	水中浸漬後*		
セラスマート300 (GC)	78	92	292	266	15	-
KZR-CAD HR3ガンマーシート (Yamakin)	75	90±5	300±20	270±10	17	12±1
カタナアヴェンシアPブロック (クラレノリタケ)	82	148	-	265	15.9	18*
エステニアPブロック (トクヤマ・デンタル)	81	117	300	276	9	-
アルテサーノデュール (山八歯材工業)	-	81	-	254	17	-

\*37°C水中1週間浸漬後

カップリング処理の改良などが加えられている。しかし、マトリックスはレジンであるため化学的耐久性、耐磨耗性はジルコニアに劣る<sup>14-16)</sup>。

### 5. スーパーエンジニアリングプラスチック

高価ではあるが高機能のスーパーエンジニアリングプラスチックであるPEKKとPEEKが注目される(図8)。PEKKであるペクトンアイボリー (大信貿易)は2018年2月にクラス2で薬事承認された。衝撃吸収性、生体親和性および化学的耐久性が高く、加工性・研磨性が良好で、軽量である特徴を活かしたカスタムアバットメント、インプラントブリッジ(図9)などの用途が提案されている<sup>17)</sup>。PEEKも申請中であり、2019年3月には認められる見込みである。PEKKはグレー色しかないが、PEEKはナチュラル、ホワイト、象牙質、歯肉色の4色があり<sup>18)</sup>、より多くの用途が期待される。しかし、

PEKKとPEEKは弾性係数が3.5 ~ 5 GPa<sup>4)</sup>と小さく、硬さも25 ~ 32<sup>4)</sup>と軟らかいため、咬合面への使用は避けた方が良い。

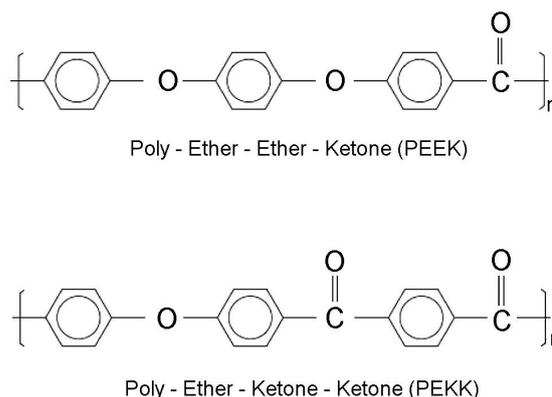


図8 芳香族ポリエーテルケトンの化学構造

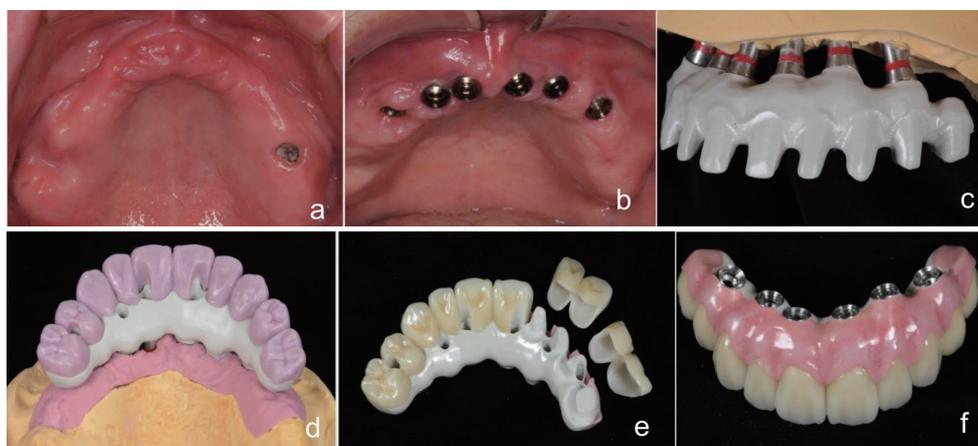


図9 ペクトン臨床例。a:術前, b:インプラント埋入後, c:ペクトンアイボリーによるインプラントブリッジフレームワークの製造, d:ジルコニアのワックスアップ, e: ペクトンアイボリーとジルコニア, f: ペクトンアイボリーによるインプラントブリッジの完成。基底面はペクトンアイボリーを露出させブラークを附着しにくくしている。(田中譲治・協和デンタルラボラトリー, 参考文献18より引用・改変)

## 6. おわりに

CAD/CAMシステムで製作されるインプラント上部構造用材料には多くの選択肢があり、目的により材料の選択が可能である。しかし、CAD/CAMマテリアルは次々と新しいものが導入されており、選択に苦慮する場面がある。各材料の特徴を理解し、それぞれに応じた上部構造への適用が望まれる。そのためには材料を含むCAD/CAMシステムの最新情報を常に把握しておく必要がある。この総説が、その一助になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 伴清治: CAD/CAMテクノロジーにおける材料トピックス, 日本歯科技工学会誌, 38(1): 11-18, 2017.
- 2) 伴清治: 高透光性ジルコニアの最新事情, QDT, 42(5): 796-805, 2017.
- 3) 伴清治: IDS2017現地総力取材 これからの歯科医療を担う最新器材レポート Part2 CAD/CAMマテリアルの最新事情, 補綴臨床, 50(5): 483-494, 2017.
- 4) 伴清治 編著: CAD/CAMマテリアル完全ガイドブック, 医歯薬出版, 1-96, 2017
- 5) 伴清治: デジタルデンティストリーにおけるマテリアル選択, 日補綴会誌 10: 209-215, 2018.
- 6) 伴清治: 歯科用ジルコニアの透光性と審美性, 日本デジタル歯科学会雑誌 8(2): 95-102, 2018.
- 7) 鈴木崇由, 安藤正彦, 河合達志, 村上弘, 服部正巳, 伴清治: 高透光性ジルコニアの低温劣化と曲げ強さ 第3報 クラウン形態での破壊強度. 第64回日本歯科理工学会学術講演会(広島), 2014.10.5.(P-90)
- 8) 鈴木崇由, 安藤正彦, 朝倉正紀, 河合達志, 村上弘, 服部正巳, 伴清治: TZP系およびPSZ系高透光性ジルコニアの低温劣化による破壊強度変化. 第65回日本歯科理工学会学術講演会(仙台), 2015.4.12.(P-65)
- 9) Johansson C, Kmet G, Rivera J, Larsson C, Steyern PVV: Fracture strength of monolithic all-ceramic crowns made of high translucent yttrium oxide-stabilized zirconium dioxide compared to porcelain-veneered crowns and lithium disilicate crowns. *Acta Odont Scand*, 72: 145-153, 2014.
- 10) Mundt T, Heinemann F, Schankath C, Schwahn C, Biffar R: Retrospective and clinical evaluation of retrievable, tooth-implant supported zirconia ceramic restorations. *Acta Odont Scand*, 71: 1326-1334, 2013.
- 11) 岡村光信, 河野稔広, 清水博史, 鱒見進一: 3種類のセラミックインプラントアバットメントにおける破折強度信頼性の評価. 日本補綴歯科学会九州支部, 中国・四国支部合同学術講演会(熊本), 2016.9.4.(P-35)
- 12) 伴清治, 岩田純士, 岡田良太, 朝倉正紀, 河合達志: 歯科用ガラスセラミックの化学的耐久性評価. 第67回日本歯科理工学会学術講演会(福岡), 2016.4.17.(A-15)
- 13) 新谷明一, 三浦賞子, 小泉寛恭, 疋田一洋, 峯篤史: CAD/CAM冠の現状と将来展望, 日補綴会誌, 9: 1-15, 2017
- 14) 安藤彰浩, 岡田良太, 竹市卓郎, 中村好徳, 河合達志, 田中貴信, 伴清治: CAD/CAM冠用歯科切削加工用レジン材料の色調安定性について, 第85回愛知学院大学歯学会(名古屋), 2014.12.7.(7)
- 15) 岡田良太, 安藤彰浩, 竹市卓郎, 中村好徳, 田中貴信, 河合達志, 伴清治: CAD/CAM冠用歯科切削加工用レジン材料の加速劣化試験, 第65回日本歯科理工学会学術講演会(仙台), 2015.4.12.(A-29)
- 16) 岩田純士, 植松康明, 富野雅史, 鶴田昌三, 林達秀, 河合達志, 伴清治: CAD/CAM用歯科材料の化学的耐久性評価. 第66回日本歯科理工学会学術講演会(東京), 2015.10.3.(A-3)
- 17) ペクトンアイボリーパンフレット: 大信貿易, 2018.
- 18) VESTAKEEPデンタルパンフレット: ダイセル・エボニック, 2016.

## インプラント治療におけるデジタル化の現在地と課題

丸 尾 勝一郎<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> 神奈川歯科大学 口腔統合医療学講座 補綴・インプラント学

<sup>2</sup> 東京都開業

平成30年10月9日受付

平成30年12月12日受理

### The Present and Challenge of Digital Implant Dentistry

Katsuichiro Maruo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Division of Prosthodontics and Oral Implantology, Department of Oral Interdisciplinary Medicine,  
Kanagawa Dental University

<sup>2</sup>General Practice in Tokyo

#### Abstract

Since CAD/CAM system has been introduced into dentistry, the area that digital contributes has been developed rapidly, especially in implant dentistry. Implant dentistry has a high affinity with digital in both surgical and prosthetic phase. Digital workflow is composed by following 3 steps; digitalization, CAD, and CAM. Digitalization is to digitalize biological information by cone beam CT (CBCT), or intra-oral or laboratory scanners. Then, the data was imported in computer software and designed for abutments and superstructures. Finally, milling machine or 3d printer manufacture abutments and super structures. By introducing intra-oral scanners (IOS), full digital workflow completed from chair side situation. In surgical phase, once DICOM data from CBCT and STL data from IOS are acquired, clinician and technician can simulate surgical planning, design virtual wax-up, provisional, surgical template. While, in prosthetic phase, digital impression with scan body decreases patient's discomfort and time and cost for impression. However, there are still some challenges in full digitalization of implant treatment such as multiple cases. In this paper, the indication and contraindication of IOS will be reviewed at this present.

**Key words** : digital, intra-oral scanners, CAD/CAM

---

責任者への連絡先：丸尾勝一郎

〒154-0004 東京世田谷区太子堂4-23-15 T-ハウス三軒茶屋2F

三軒茶屋マルオ歯科

TEL : 03-5787-6166

e-mail : katsuichiro\_5@me.com

Sangenjyaya Maruo Dental

2F T-House Sangenjaya, 4-23-15 Taishido, Setagaya-ku, Tokyo, Japan

e-mail : katsuichiro\_5@me.com

## 抄 録

近年のデジタルの進歩は目覚ましく、歯科界においても補綴装置のためにCAD/CAMシステムが導入されて以来、デジタルの恩恵を受ける領域は拡大の一途を辿っている。特に、インプラント治療においては、上部構造やアバットメントの製作のみならず、埋入シミュレーションを含む診査・診断からインプラントの埋入手術にいたるまでデジタルの恩恵を多く享受する。さらに、最近ではコンビームCT(以下CBCT)ならびに口腔内スキャナ(以下IOS)の著しい発展によって、口腔内情報を直接デジタル化することで、インプラント治療のフルデジタル化が可能となった。フルデジタル化の具体的な流れとしては、診査・診断から埋入手術までの外科フェーズと、アバットメントならびに上部構造を製作する補綴フェーズに分けられる。どちらのフェーズにおいても共通することは、「生体情報のデジタル化」→「CAD(デザイン)」→「CAM(加工)」というデジタルデータの一連の流れである。外科フェーズでは、CBCTによる骨の三次元情報とIOSから得られる口腔内の表面情報を「デジタル化」することから始まる。CBCTから得られたDICOMデータと、IOSから得られたSTLデータを「CAD」ソフトウェア上で重ね合わせることで、バーチャルワックスアップや埋入シミュレーションを行うことが可能となる。状況に応じて、サージカルガイドやプロビジョナルの設計を行うことも可能である。最終的にデザインしたものを「CAM」機、すなわち、ミリングマシンまたは3Dプリンタで加工することで、外科フェーズにおけるフルデジタル化が完結する。

一方、補綴フェーズでは、天然歯と同様にデジタル印象による「デジタル化」、 「CAD」によるアバットメント・フレームワーク・上部構造のデザインを行い、先述した「CAM」機によって加工を行う。唯一、天然歯と異なる点は、スキャンボディと呼ばれる光学印象用の印象コーピングを用いる点である。

このように、インプラント治療のフルデジタル化が可能となった一方で、デジタル特有の問題点や臨床上の注意点や限界なども生じる。本論文では、デジタル化で「できること」と「できないこと」や、臨床上の注意点を、臨床例を供覧しながら交通整理し、解説したい。

**キーワード：**デジタル，口腔内スキャナ，CAD/CAM

## 1. 緒言

近年のデジタルの進歩は目覚ましく、歯科界においても補綴装置のためにCAD/CAMシステムが導入されて以来、デジタルの恩恵を受ける領域は拡大の一途を辿っている。特に、インプラント治療においては、上部構造やアバットメントの製作のみならず、埋入シミュレーションを含む診査・診断からインプラントの埋入手術にいたるまでデジタルの恩恵を多く享受する。(図1)さら

に、最近ではコンビームCT(以下CBCT)ならびに口腔内スキャナ(以下IOS)の著しい発展によって、口腔内情報を直接デジタル化することで、インプラント治療のフルデジタル化が可能となった。

歯科におけるデジタル化は基本的に以下の3つのステップから構成される。すなわち、「デジタル化(Digitalization)」と「コンピュータによるデザイン(CAD)」と「コンピュータによる加工(CAM)」である。(図2)デジタル化とはすなわち、生体情報をデジタル



図1 インプラント治療がデジタルの恩恵を受ける治療ステップ



図2 デジタルワークフローの基本的な流れ

データにすることであり、具体的にはCBCTから得られるDICOMデータや口腔内スキャナあるいは技工用スキャナから得られるSTLデータがそれに当たる。これらのデータをコンピュータ上のCADソフトウェアにインポートし、インプラントの埋入シミュレーション・手術ガイドの設計・上部構造やアバットメントのデザインなどを行うが、これらがいわゆる“CAD”である。“CAD”したデータを最終的にはミリングマシンあるいは3Dプリンタによる加工、すなわち“CAM”することで、デジタルの流れは完結する。<sup>1)</sup>

インプラント治療はデジタルとの親和性が非常に高く、恩恵を受ける場面が多く存在する一方で、デジタル特有の問題点や臨床上的の注意点も生じる。また、現時点における臨床応用での限界点もある。本稿では、デジタル化で「できること」と「できないこと」や臨床上の注意点を、臨床例を供覧しながら交通整理し、解説したい。

## 2. 口腔内スキャナの発展と インプラント治療におけるフルデジタル化

近年、口腔内スキャナの発展は目覚ましく、以前から指摘されていた精度の問題は単独冠のクラウンやインプラントの上部構造においては、従来法と同等の適合を示している。<sup>2)</sup>また、同様にスキャンの速度やスキャナ自体の大きさや重さなどに関しても改良が重ねられ、臨床応用に十分耐えうる仕様となりつつある。これまでは、シリコンやアルギン酸による印象を行い、作製した石膏模型を技工用のスキャナでデジタル化していた。しかし、この口腔内スキャナの登場により口腔内の情報を直接デジタル化することにより、急速にインプラント治療におけるフルデジタル化が加速化したと言えるだろう。

インプラント治療は、術前の検査および治療計画から埋入手術までと、埋入後から補綴処置といった“外科”と“補綴”の2つのフェーズに分けることができる。各

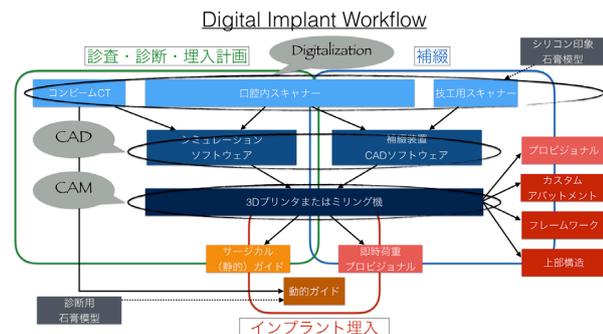


図3 インプラント治療におけるデジタルワークフロー

フェーズにおいて、冒頭で述べたような3つのステップを遂行するということになる。(図3)

## 3. 外科フェーズにおけるデジタル化の実際

外科フェーズにおいては、CBCTから得られたDICOMデータと口腔内スキャナから得られたSTLデータをCADソフトウェア上で重ね合わせることで、いままでより簡便にデジタル化からのシミュレーションが行うことが可能となった。また、メタルクラウンなどによるアーチファクトでプランニングが困難な場合でも、歯冠部分を口腔内スキャナのデータに置換することでより正確な診断が可能となった。CADソフトでバーチャルワックスアップを行えば術前にプロビジョナルの製作が可能である。加えて、埋入シミュレーションを行い、手術ガイドを設計すれば、3Dプリンタあるいはミリングマシンによる手術ガイドを製作することが可能である。外科フェーズにおけるフルデジタル化の具体的な流れを以下に示す。

- 1) DICOMデータとSTLデータの重ね合わせ(図4)
- 2) バーチャルワックスアップ(図5)
- 3) 補綴主導による埋入計画(図6)
- 4) 手術ガイドの設計(図7)
- 5) 手術ガイドの製作(図8)

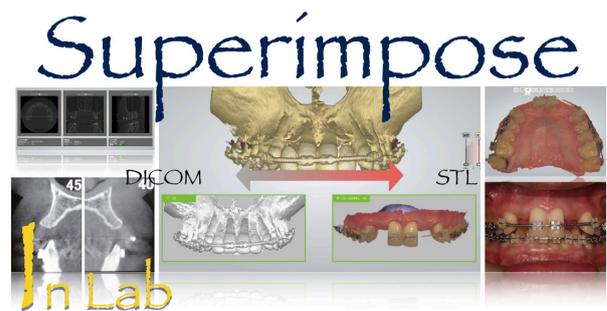


図4 CBCTから得られたDICOMデータとIOSから得られたSTLデータをソフトウェア上で重ね合わせる



図5 バーチャルワックスアップ



図6 補綴主導による埋入シミュレーション



図9 従来法による診断用テンプレートおよびサージカルテンプレート

## CAD/CAM of Surgical Template

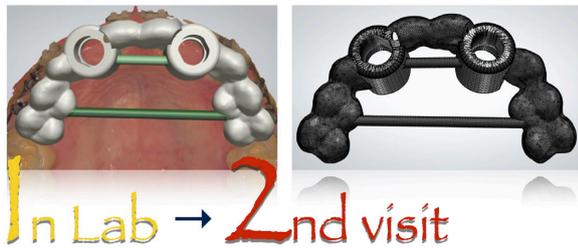


図7 サージカルガイドの設計

## CAD/CAM of Surgical Template



図8 口腔内にてサージカルテンプレートの試適

術前にプロビジョナルやカスタムヒーリングアバットメントを製作することで、埋入時に補綴時のエマージェンスプロファイルが付与することが可能となり、補綴処置へとよりスムーズに移行することが可能である。

しかしながら、このようにバーチャルワックスアップで対応が可能となるのは3～4歯が限界であり、前歯をまたぐようなクロスアーチの多数歯欠損や無歯顎においては現状不可能である。したがって、4～5歯以上の多数歯欠損においては従来通り模型上でワックスアップをおこない、それをもとに診断用テンプレートを作製するという手法と取らざるを得ない。(図9)

## 4. 補綴フェーズにおけるデジタル化の実際

補綴フェーズにおいて、インプラント上部構造のための印象はスキャンボディと呼ばれる“デジタル印象用の印象用コーピング”を装着する。(図10)これを装着した状態でスキャンをおこない、技工所にデータを送る。技工所では所有するライブラリから同じスキャンボディをマッチングさせることで、口腔内あるインプラントの位置やサイズなどの情報を逆算して、窺い知ることが可能となる。したがって、印象時のスキャンボディと技工所のライブラリが一致している必要があり、事前に技工所との連携・確認が重要である。単独歯修復であれば、モデルレス(作業模型を製作しない手法)でも十分な適合および精度を有しなれば問題は無い。(図11)インプラントの上部構造におけるデジタル印象の限界は文献的にも、筆者に経験的にもおそらく3～4ユニットのブリッジであると考えられる。これは、口腔内スキャナ特有のエラーによるもので、具体的には画像をつなぎ際の歪みが原因である。すなわち、口腔内スキャナは撮影した多くの画像を瞬時につなぎ合わせて3次元的な画像を構築しているが、つなぎ合わせる際に目印には臼歯の咬合面のような複雑な構造の方が好ましい。一方で、前歯部の切端や欠損部の粘膜などは形態が単純であるがゆえ、画像構築時にエラーを起こしやすい。<sup>3)</sup>結果的に複数本のインプラントやフルアーチでは全体的に歪みが生じてしまい、特に歯根膜の存在しないインプラントにとって、上部構造製作には致命的となる。(図12)

また、口腔内スキャナによるデジタルスキャンを行う際の注意点としては隣接歯の隣接面の撮り漏れに注意することである。(図13)撮影後に同部を拡大し、確認することが望ましい。また、スキャンボディを装着した状態と装着していない状態で2回スキャンを行うことで、プロビジョナルで付与したエマージェンスプロファイル

をトランスファーすることも可能であるが、前歯部などで厳密にトランスファーしたい場合は従来通りカスタム印象コーピングを事前に用意した方が好ましい。4) (図14)



図10 IOSを用いたインプラントの印象の流れ



図11 デジタル法による単独冠のインプラント上部構造の流れ

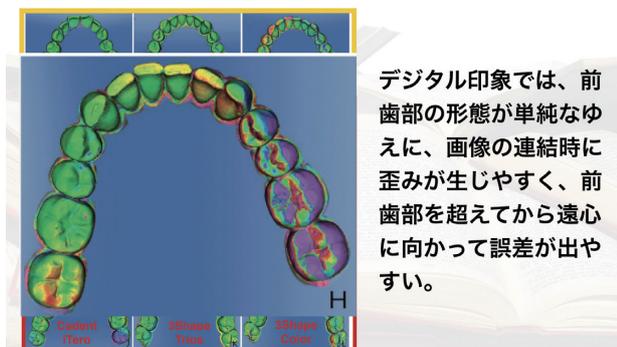


図12 デジタル印象による画像の歪みの原因

### インプラントにおけるデジタル印象の注意点

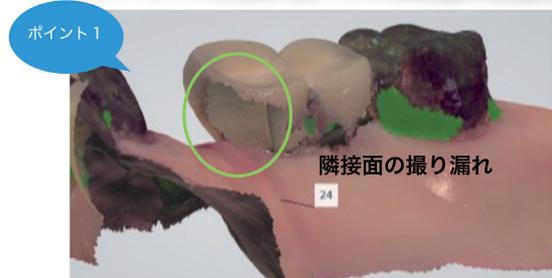


図13 デジタル印象時に起こりやすい隣接面の撮影漏れ



図14 前歯部のエマージェンスプロファイルのトランスファー

### 5. デジタルデンティストリーの将来展望

本稿ではインプラント治療を外科フェーズと補綴フェーズに分けて、デジタル化による流れを示した。外科フェーズでは1～4歯まではフルデジタル化で対応可能であるものの、一方で多数歯欠損においては従来通りの方法で行うしか現状では手段がない。また、補綴フェーズにおいても1～4歯までの上部構造の印象は可能であるが、同様に多数歯欠損やフルアーチにおけるスキャンでは画像の歪みといった課題を残している。(図15) しかしながら、口腔内スキャナはいわばコンピュータと同じであり、今後、より高性能化していく一方で、サイズは小さくなり、価格も下がっていきコモディティ化していくことが予想される。(図16)さらに、近い将来においては、これらのスキャン技術に加えVR、AI、ロボティクスといった最先端テクノロジーが組み合わせることにより、飛躍的進歩あるいは破壊的イノベーションの可能性を大いに秘めており、今後の発展に期待したい。



図16 歯科におけるデジタル化はPCの進化と似ている

### フルデジタル化の現在地

	できること	できないこと
外科フェーズ	1～4 歯程度欠損 ↓ DICOM + STLで バーチャルワックスアップ・ サージカルガイド・プロビジョナルの製作 まで可能	クロスアーチまたは多数歯欠損 ↓ CT撮影前に事前のワックスアップと 診断テンプレート製作が必要 ↓ 撮影後にサージカルガイド製作
補綴フェーズ	1～4ユニット 光学印象が可能	5ユニット～フルアーチ 従来法のシリコン印象 or 光学印象+位置インデックス

図15 フルデジタル化の現在地と限界

### 参考文献

- 丸尾勝一郎, 木本克彦: 昨今のキーワードからひも解くインプラント治療の現在地: インプラント治療におけるデジタル化. The Quintessence 2017年7月号
- Panagiotis, Tsirogiannis., Daniel, R, Reissmann,. Guido, Heydecke.: Evaluation of the Marginal Fit of Single-Unit, Complete-Coverage Ceramic Restorations Fabricated After Digital and Conventional Impressions: a Systematic Review and Meta-Analysis. J Prosthet Dent. 116(3):328-335,2016.
- Ender, A., Mehl, A., : In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. Quintessence Int. 46:9-17. 2015
- 丸尾勝一郎: 口腔内スキャナはインプラント臨床に何をもたらすのか. DENTAL Implantology. 2:16-36. 2018

九州歯科学会雑誌第72巻(1～4号)総目次

TABLE OF CONTENTS VOLUME 72

— 第1号 平成30年3月 —

— No. 1, March 2018 —

志賀百年, 川元龍夫: 歯根膜における弾性線維の役割の探索…………… 1

Momotoshi S, *et al.*: Exploration of the role of elastic system fibers in the periodontal ligament …… 1

福泉隆喜, 鯨 吉夫, 中原孝洋, 深井康成, 海寶康臣, 吉野賢一: 歯学部における初年次教育プログラムによるクリティカルシンキング およびロジカルライティングの学修効果の検討…………… 7

Takaki F, *et al.*: An investigation to evaluate the effect of a freshman education program on the skills of critical thinking and logical writing …… 7

— 第2号 平成30年12月 —

— No. 2, December 2018 —

鯨 吉夫, 牧 憲司, 西原達次: 九州歯科大学における公開講座初級者バドミントン教室の検証…………… 19

Yoshio K, *et al.*: Evaluation of an Extension Course in Introductory Badminton at Kyushu Dental University…………… 19

渡辺幸嗣, 牧 憲司: 口腔内微量元素と齲蝕罹患状況に関するこれまでの研究…………… 23

Koji W, *et al.*: Relationships between trace elements found in oral cavity and caries prevalence…………… 23

— 第3・4号 平成31年3月 —

— No. 3・4, March 2019 —

正木千尋, 友野博記, 柄慎太郎, 近藤祐介, 向坊太郎, 田村暁子, 細川隆司: インプラント治療におけるデジタルワークフロー…………… 29

Chihiro M, et al.: Digital Workflow for Implant Dentistry …………… 29

伴 清治: デジタルデンティストリーにおけるインプラント上部構造の材料選択…………… 36

Seiji B: Material selection of implant superstructure in digital dentistry …………… 36

丸尾勝一郎: インプラント治療におけるデジタル化の現在地と課題…………… 42

Katsuichiro M: The Present and Challenge of Digital Implant Dentistry …………… 42

編集委員

委員長	中島啓介
委員	瀬田祐司
委員	吉野賢一
委員	諸富孝彦
委員	田中達朗

九州歯科学会雑誌

第72巻第3・4号

平成31年3月25日発行

発行所 九州歯科学会  
〒803-8580 北九州市小倉北区真鶴2-6-1

九州歯科大学内

TEL・FAX 093-571-9555

E-mail: info@kyu-dent-soc.com

URL: <http://kyu-dent-soc.com/>

郵便振替口座 01700-5-32794

発行者 清水博史

編集 M's クリエイト

北九州市門司区社ノ木1-3-17

TEL 093-381-1762