



## 口腔内スキャナーを利用した補綴治療におけるデジタルワークフローのエビデンス

大阪歯科大学 有歯補綴咬合学講座

主任教授 柏木 宏介 (大40)

### はじめに

デジタル革命は、われわれの日常生活のほぼすべての側面に影響を与えています。デジタルツールは私たちの日常生活に強力に入り込み、コミュニケーション、情報の入手や共有などを変化させ、否定しがたい恩恵をもたらしています<sup>1,2)</sup>。多くの産業分野においてもデジタル革命が到来しており、歯科医療にデジタル技術を取り入れることは必然的になってきています。例外なく歯科補綴学領域においても、1900年代に開発された鑄造技術の導入以来、大きな変革期を迎えています<sup>3)</sup>。デジタル技術は歯科臨床を大きく変えており<sup>4)</sup>、デジタル化への急速かつ革新的なシフトは、歯科業界にまったく新しい考え方の到来を告げています。この分野の指数関数的な成長が、歯科医療に従事するわれわれにとって前例のない刺激的な機会を提供し続けています。つまり、診断の改善、治療計画や治療の提供の効率化、治療成果の評価などにも期待できる技術に発展しています<sup>3)</sup>。補綴治療におけるデジタルワークフローは、従来の方法と比較してデータの取得や精度の向上、治療計画の優れた有効性、製造プロセスの制御と高速化が促進されています。口腔内スキャナー (IOS) とコンピューター支援設計/コンピューター支援製造 (CAD/CAM) 技術や3Dプリンターなどの高度な製作プロセスの導入により、革新的なメタルフリー歯科材料の導入が可能となり、従来の金属製フレームワークの代替や修復装置の審美性の向上が期待できるようになりました<sup>5,6)</sup>。提供できる治療の質が向上し、患者さんと歯科医師の双方が満足できるようになると考えられます。国内においては2014年から技工領域のワークフローが急

激に変化しました。日常的に作業用模型がデジタルデータ化され、ソフトウェア上でデザインされ、ミリングマシンにてクラウンブリッジや義歯のフレームなどを加工する技工のワークフローが確立されました。それに続いて歯科医師がチェアサイドで使用する口腔内スキャナーも急速に進化・普及しています<sup>7)</sup>。

そこで本稿では、現在の補綴治療に関わるデジタル技術を概観し、口腔内スキャナーを中心としたデジタルワークフローのエビデンスを解説します。

### 補綴治療のデジタルワークフロー

ワークフローとは「業務の流れ」や「業務の流れを図や表などに視覚化したもの」を表す用語です。補綴治療におけるデジタルワークフローは、3つの主要なコンポーネントで構成されています<sup>8)</sup>。データ収集 (例えばエックス線検査や印象採得など)、データ処理・計画・デザイン (CAD)、加工 (CAM) ならびに治療の実行です (図1)<sup>9)</sup>。これらのワークフローはクローズドとオープンなシステムが存在します。クローズド (閉じた) なシステムでは、独自のデータフォーマットで設計から加工・製作まで完結させることとなります。オープン (開いた) システムの場合、さまざまなメーカーのソフトウェアによって読み取りが可能になります。一般的に使用されているユニバーサルファイルフォーマットとしては、JPEG (Joint Photographic Experts Group)、DICOM (Digital Imaging and Communications In Medicine)、STL (Standard Tessellation Language)、OBJ (Geometry Definition File

Format)、TIFF (Tagged Image File Format)、MPEG4 (Moving Picture Experts Group 4) などがあります。現在では、クローズドなシステムであっても、共通のフォーマットでデータをエクスポートするとオープンなシステムへ転送することが可能な場合があります。

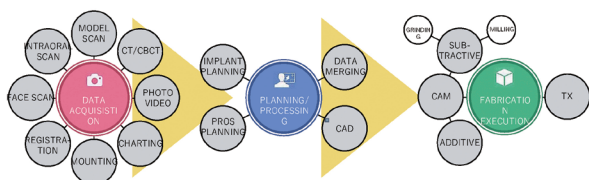


図1: 補綴治療のデジタルワークフロー

## データ収集

最初の要素である「データ収集」では、患者さんのアナログ情報を次のステップに使用できるデジタルデータに変換することです。これには様々な技術が利用されています。デジタルによる口腔内チャート、口腔内またはデスクトップスキャナーによる上下顎歯列や咬合状態のスキャン、フェイススキャナー、エックス線撮影（デンタル/CT/CBCT）、デジタル写真、ビデオなどが利用可能な情報となります。

## データ処理・計画・デザイン

「データ処理・計画・デザイン」はCAD/CAM技術を応用した補綴治療におけるCADに相当する部分です。前処理として、診療室において個々に得られたデジタル情報をソフトウェア上で統合することがあります。インプラント治療においては歯列や顎堤の3Dモデルと顎骨データの統合を行います。インプラント計画ソフトウェアでは、CBCTデータ（通常はDICOMファイル）をソフトウェアに取り込み、解剖学的構造や修復装置の位置を考慮しながら、仮想的にインプラントの埋入部位を設定していきます。補綴装置のモックアップデザインや製作においては、患者さんの顔貌写真やフェイススキャナーから得られた顔貌の3Dデータを口腔内スキャンや歯列石膏モデルのスキャンのデータと統合します。歯冠長や幅、比率、シェードなど、将来の審美的なりハビリテーションを分析・計画します（スマイルデザイン）<sup>10,11)</sup>。最近で

は、患者さんの下顎運動と歯列データを統合させることもあります。

これらのプロセスによって、歯科医師の治療計画の立案や、歯科技工士による補綴装置のデザインのみならず、患者さんや治療チームとも情報を共有することができるという利点があります。

デジタルワークフローの最終のステップに移行する前に、ソフトウェアを使用して目的のオブジェクトの形状（バーチャルワークアップ、クラウンブリッジ、サージカルガイド、ナイトガード等）をデザインします。

## 加工（CAM）と治療の実行

最後のコンポーネントは、CAMソフトウェアを使用して、デザインされたオブジェクトの加工と製造を実行することです。CADデータはCAMソフトウェアにインポートされ、支持構造の配置やミリング加工/研削プロセスなどの製造プロセスの詳細をシミュレートして実行されます。CAMでは、大きくわけてサブトラクティブ（付加的）とアディティブ（減算的）製造テクノロジーがあります。サブトラクティブテクノロジーは、広く普及している加工技術であり、ミリングとグラインディングに分類できます。加工機は、チェアサイドユニットとラボに設置するユニットがあります。前者では、来院中に比較的小規模なユニットの修復装置を製作することを目的としています。歯科医師は支台歯形成歯をスキャンし、修復装置をデザインし、1回の患者訪問中に治療を完了させることを目指しています。一方で、アディティブ・マニファクチャリング（積層造形）の普及も進んでいます。ここでは、広義の3Dプリンティング技術である選択的レーザー焼結（SLS）、デジタル光処理（DLP）、ステレオリソグラフィ（SL）など、目的とするオブジェクトの製造にいくつかの方法を利用できます。クラウンやブリッジの非貴金属合金フレームを予測可能な精度で製作するためにSLSが活用されています。SLにおいては予測可能な精度の手術ガイドやモデルを中心に製造する方法として選択されてきました<sup>12)</sup>。

現在のところ、クラウンブリッジを中心とする補綴装置製作では、近年のIOSの普及拡大にとも

ない、従来のワークフローと比較して、ステップ数の減少によるコストと作業時間の削減が可能となり、製作エラーも減少させることができると考えられます(図2)<sup>13)</sup>。

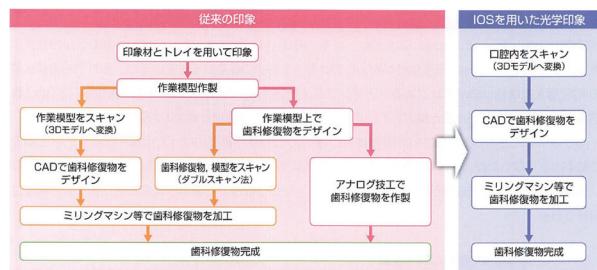


図2: IOSの導入により変わる補綴装置完成までのワークフロー(文献11より引用)

## IOSの発展の経緯

コンピューターによる印象採得の進化は、歯科用CAD/CAMの大きな発展とほぼ同時期に起こりました。1970年代に歯科医のJohn YoungとBruce Altschulerは、光学機器を用いた口腔内グリッドマッピングシステムを開発し、CAD/CAM技術の歯科への導入を初めて試みました。1984年にはFrancois Duret博士が最初のCAD/CAM装置を開発し、特許を取得しました<sup>14)</sup>。その2年後の1989年、シカゴで開催されたMidwinter Meetingにて、Sopha Systemと呼ばれる装置が正式に発表されました<sup>15)</sup>。この会議でクラウン製作のデモンストレーションが行われ、クラウンのデザインとミリングに先立ち、支台歯の光学印象を行っています。デジタルによる印象採得とチェアサイドミリングの最初の適用は、完成までに4時間を要しました<sup>14)</sup>。その後、1980年、Werner Mormann博士と電気技師のMarco Brandestiniは歯科用CAD/CAMシステムに改良を加え、1987年にCerec (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics)としてドイツのSirona Dental Systems社によって導入されました<sup>15)</sup>。当時、Cerecはコンパクトな口腔内256×256ピクセルCCDカメラを利用した補綴装置製作のための最初の市販CAD/CAMシステムでした<sup>15)</sup>。以来、各社から口腔内スキャナーが開発され市場に投入されています。

## IOSの機種とデータ取得技術

すべての3Dスキャナーは、スキャナーのセンサーチップから対象物までの距離を測定し、光学データを3Dモデルに変換します。IOSシステムは、一般的に光学スキャン技術に基づいています。これらの技術は物体照明用に可視光線または増幅光ビーム(レーザー)を実装しています。レーザーを使用したIOSシステムの特徴は、反射物質を使用する必要がないことです。可視光線を用いた過去のIOSシステムでは酸化チタンを反射剤として使用します。光を利用する計測のメリットは、①非接触計測が可能となり、このため測定力(印象圧)の影響を排除でき、また測定の自由度が増す、②瞬間的な形状情報の検出が可能となる、③光は電気信号への変換が容易であるとともに電気的ノイズの影響を排除できる、④光の波長を測定のスケールとして利用することができる、⑤計測の画像化が可能となることです。また、光を利用した手法の場合には、対象物を一点一点計測してゆくポイント計測方式と、広がりのある面を対象としてとらえてゆくエリア計測方式とに分類されます。現状では、計測時間が短くてすむエリア計測方式が採用されているようです<sup>16)</sup>。

## iTero エlement 5D プラス (Align Technology Inc.) (図3)

iTero スキャナーは、レーザービームが物体に投影される平行共焦点法を使用します。平行共焦点法は顕微鏡から派生した技術です<sup>17,18)</sup>。IOSシステムのスキャンワンド(ハンドピース部分)を介して平行レーザービームが送信され、特定の焦点距離で対象物に当たり、跳ね返ったレーザービームは小さな穴から戻って、カメラ内に存在するCMOSセンサーに当たり、デジタル画像に変換されます。ビームスプリッターを介して、反射



図3 iTero Element 5D プラス (Align Technology Inc.)



されたビーム (紫) が焦点フィルターを通過するため、レンズの焦点にある画像のみがセンサーに投影されます<sup>19)</sup>。

## プランメカEmerald S (PLANMECA OY)

Planmecaファミリーに最近追加され、2017年に発売されたEmeraldはその動作原理として、赤、緑、青のレーザーを使用しアクティブパターン三角測量を使用しています。「アクティブ」とは対象物に光を当て、その光が戻ってくるまでの時間によって距離画像を得る方法です。レーザーを対象物に照射し、毎秒2万回振動するマイクロミラーで対象物の周囲を多角的に連続静止画撮影します<sup>17,20,21)</sup>。

## CS 3700 (Envista Holdings Corporation)

2022年にCarestream dentalは口腔内スキャンテクノロジー事業をEnvista Holdings Corporationに売却しています。CS 3700はレーザーによるアクティブ三角測量技術を使用しています。構造化光法との組み合わせにより連続的な画像の補足を行い、対象物の正確な3Dモデルを作成します。緑色レーザーと4つの発光ダイオードをそれぞれ対象物に対する照明と捕捉に利用し、CMOSセンサーが捕捉したデータを受信します<sup>22,23)</sup>。約13mm×13mmの読取領域と、-2mmから12mmの作動深度を有しています。

## Primescan AC (Dentsply Sirona Inc) (図4)

Cerecの最新機種であるPrimescan ACは、ダイナミックディープスキャン (dynamic depth scan: 20mm) のための光学的高周波コントラスト解析 (optical high-frequency contrast analysis) による高分解能センサーと短波長光を



図4: Primescan AC (Dentsply Sirona Inc)

ベースにしています<sup>17,19,21)</sup>。1秒あたり100万を超える3Dデータポイントを処理することが可能となっています。

## Midmark Mobile True Definition Scanner (Midmark)

Midmarkは2019年に3M ESPEのTrue Definition Scannerを買収しました。画像を補足するためにスキャンプレーの薄いコーティングが必要です。本スキャナーには、アクティブ波面サンプリング技術 (AWS: Active Wavefront Sampling) が実装されています。この技術は静止画の補足とは異なり、動画中の3Dデータを獲得し、リアルタイムでモデリングする技術です<sup>24)</sup>。AWSは主光学系のデフォーカスをベースに、奥行きを計測する一眼レフカメラから3D情報を取得する技術です。スキャンワンド内には、照明用の6個のLED、3個の光学レンズ撮像、そしてデータ取得用のCMOSセンサーから構成されています。

## TRIOS 4 (3Shape A/S) (図5)

Trios4は、2019年3月に発表されました<sup>25)</sup>。このシステムは、白色LEDと青色LED可視光線を使用しています。干渉縞を通して歯に投影される構造化光法と共焦点顕微鏡技術と組み合わせて画像を補足しています<sup>26)</sup>。CMOSセンサーを用いたビデオ計測に超高速光学分割技術 (Ultrafast Optical Sectioning) を使用し、人工的に補間された表面を形成するのではなく、数千枚の2次元連続画像を取り込みソフトウェア上で3Dデジタルモデルを作成します<sup>27)</sup>。

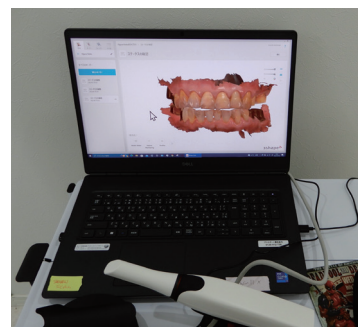


図5 TRIOS 4 (3Shape A/S)

## IOSの精確さ (accuracy)

高品質な修復装置を得るためには、仮想モデル (デジタル作業用模型) の「精確さ」が重要になります。ISO 5725-1 (1994) では、「accuracy」を「trueness」と「precision」という言葉で定義して

います<sup>28)</sup>。国内では、測定方法の信頼性の議論にあたり、JISZ8402-1においても「trueness」を真度、「precision」を精度として2つの用語を採用しています。真度は、多数の測定結果の平均と真の値又は参照値との一致の程度として測定値のかたよりを示します。一方、精度は測定結果の間の一致の程度として、測定値のばらつきを表しています。この2つの概念を合わせたものを「精確さ」(accuracy)として表現し、測定方法全体の信頼性の議論に用いることにしています<sup>29)</sup>。

一般的にデジタルワークフローの全体的な精確さを決定する2つの因子があるといわれています。IOSで取得した画像と最終的な補綴装置の精確さです<sup>30)</sup>。

IOSの精確さについて最近の機種を使用した文献を紹介します。Ivettらの研究<sup>30)</sup>は12種類のIOSについて調査しています(表1)。基準模型として、PMMA製の上顎模型を、高精度工業用精密スキャナーを用いてスキャンし、各IOSデータとの偏差を算出しスキャンの精確さを評価しています。計測項目は、①歯列全体スキャン、②中切歯支台歯形成面の最小偏差、③インレー窩洞の一部と

Intraoral scanner	Place of manufacture	Year of manufacture
3Shape Trios 3 Pod <sup>®</sup>	Copenhagen, Denmark	2015
Planmeca Emerald <sup>®</sup>	Helsinki, Finland	2017
Straumann DWIO <sup>®</sup>	Basel, Switzerland	2015
GC Aadva <sup>®</sup>	Leuven, Belgium	2017
iTero Element 2 <sup>®</sup>	Amsterdam, Netherlands	2018
CEREC Primescan <sup>®</sup>	York, PA, U.S	2019
Medit i500 <sup>®</sup>	Seoul, South Korea	2018
3Shape Trios 4 Move <sup>®</sup>	Copenhagen, Denmark	2019
Carestream CS3600 <sup>®</sup>	Atlanta, GA, U.S	2016
3Shape Trios 4 Pod <sup>®</sup>	Copenhagen, Denmark	2019
Carestream CS3700 <sup>®</sup>	Atlanta, GA, U.S	2020
Planmeca Emerald S <sup>®</sup>	Helsinki, Finland	2020

表1 調査した12種類のIOS (文献31より引用)

隣接面との平均偏差、④4ユニットブリッジの支台歯間距離、⑤左右側第二大臼歯の遠心咬頭間距離、でした。さらに論文では、精確さを総合して点数を付与し独自のスコア化を行っています。精確さが高いほど(基準模型との偏差が少なくばらつきが低いほど)、IOSスコアが高くなるように設定しています。調査では最も精確さの高いIOSは、CEREC Primescan(真度4.2点+精度3.2点=

	GC Aadva	Carestream CS3700	Carestream CS3600	CEREC Primescan	Straumann DWIO	iTero Element 2	Medit i500	Planmeca Emerald	Planmeca Emerald S	3Shape Trios 3 Pod	3Shape Trios 4 Move	3Shape Trios 4 Pod
Trueness color and point	123.4	72.1	85.7	49.9	133.2	43.5	43.5	174.5	82.7	106.0	61.2	38.2
Precision color and point	2	4	3	5	2	5	2	5	1	3	3	4
Accuracy point	125.4	76.1	88.7	54.9	135.2	48.5	45.5	179.5	83.7	109.0	64.2	42.2
Trueness color and point	32.9	23.5	23.5	11.0	28.8	14.6	11.8	114.3	20.9	14.1	12.1	12.9
Precision color and point	2	3	3	5	2	4	5	0	3	4	4	4
Accuracy point	35.1	26.8	26.8	16.0	33.4	19.0	16.3	117.3	24.2	18.1	16.1	17.3
Trueness color and point	33.3	30.6	31.5	20.0	43.2	20.6	20.7	47.3	34.8	23.9	26.2	21.0
Precision color and point	2	2	2	3	1	3	3	1	2	3	3	3
Accuracy point	35.3	32.6	33.5	23.0	46.2	23.6	23.7	50.4	36.8	26.9	29.2	24.0
Trueness color and point	115.0	6.0	5.6	3.9	11.6	4.5	2.6	18.0	4.1	1.1	6.2	4.7
Precision color and point	0	2	2	3	0	2	3	0	2	3	2	2
Accuracy point	115.0	8.2	7.8	6.9	11.6	6.7	5.9	18.0	6.3	4.2	8.4	6.7
Trueness color and point	113.0	118.1	118.0	11.5	65.0	23.6	19.5	38.1	13.1	61.2	19.5	16.5
Precision color and point	0	0	0	3	0	1	2	0	2	0	2	2
Accuracy point	113.0	118.1	118.0	14.8	65.0	24.7	21.7	38.1	15.3	63.2	21.7	18.7
Trueness color and point	443.4	161.9	161.5	96.0	843.0	139.2	137.4	514.5	251.7	155.0	144.7	74.1
Precision color and point	0	2	2	3	0	2	0	0	0	0	2	4
Accuracy point	443.4	163.9	163.5	99.3	843.0	141.4	137.4	514.5	251.7	155.0	146.9	78.5
Trueness average	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Precision average	2.6	3.6	3.4	7.4	2.6	4.0	6.8	1.0	4.4	4.6	6.4	7.0
Accuracy point												

表2 IOSによる基準模型のスキャンの精確さ(accuracy)の結果(文献31より引用)

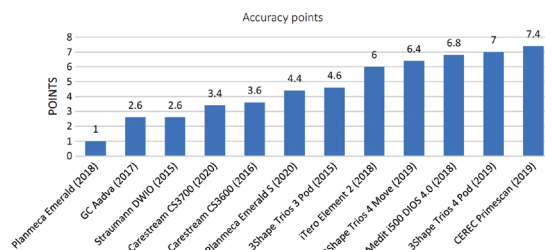


図6: 精確さ(accuracy)のスコア(文献31より引用) 基準模型との偏差が少なく、ばらつきが低いほど IOSスコアが高くなる

10点満点中7.4点)でした。次いでTrios 4 Pod(7ポイント)、最低はStraumann DWIO(2.6ポイント)でした(表2、図6)。また、3人の歯学部学生による生体でのスキャン時間の計測も行っています。スキャン時間は、上下顎歯列の光学印象採得、左右側の光学咬合採得ならびにファイル処理と保存に必要な時間も含まれています。結果では、最も高速なIOSは3Shape Trios 4 Pod(上下顎歯列: 3.85分、1/4顎: 2.21分)であり、最も遅い機種は、GC Aadvaでした(図7)。

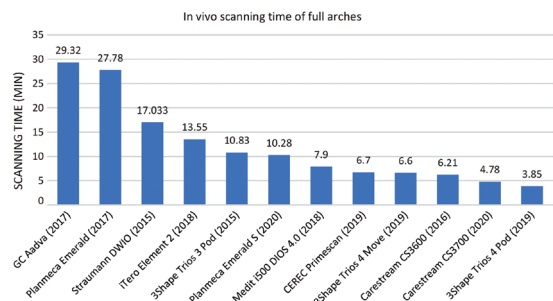


図7 生体でのスキャン時間(文献31より引用)

表1に示された左右側第二大臼歯の遠心咬頭間距離の結果からもわかるように、これまでの報告

においてもIOSによる歯列全体のスキャンでは、臼歯部領域での歯列弓の歪みと拡がり報告されています<sup>31-33</sup>。IOSのワンド部分の光学的検出領域の視野が限られているため、目的とする歯列表面データを生成するには、一連の単独の小さなサイズのスキャンデータを取得し、重ね合わせる必要があります。このため、全体的なモデルの精確さは単独スキャンの品質、重ね合わせのマッチングアルゴリズム、および対象物の大きさに応じて変化します。さらに重ね合わせのエラーが蓄積され、それが変形につながり、例えば歯列全体のデータセットの末端部などでデータの寸法や形状が変化することがあります<sup>34</sup>。歯列全体スキャンの生体外での精確さに関する研究では相反する結果が示されています<sup>35-37</sup>。Jennesら<sup>38</sup>は現在使用されているIOSによる歯列全体スキャンの生体における精確さに関する研究のナラティブレビューをおこなっています。5編の論文の結果から歯列全体の真度および精度の平均値は、真度が12.9~80.01  $\mu\text{m}$ 、精度が42.9~86.0  $\mu\text{m}$ の範囲を示しています。しかしながら、生体では接触式または高精度光学工業用スキャナーを用いた歯列弓全体の基準モデルの作成が不可能です。論文によって精確さを計測する概念や方法が大きく異なっているため、このテーマのさらなる研究が必要であると述べています。

## IOSを使用したデジタルワークフローのエビデンス

単独冠や1/4顎程度の固定性ブリッジの製作におけるデジタル印象の精確さは、すでにいくつかの研究で報告されており、従来の印象法と比較して同等または優れていることが報告されています<sup>39-43</sup>。IOSを使用した最終的な補綴装置の精確さについて、最近の研究を紹介します。Tabeshら<sup>44</sup>のIOSによる光学印象または従来の印象から製作したジルコニア単独冠の辺縁適合性をシステムティックレビューとメタアナリシスから検討しています。本研究では11編の実験室研究と6編の臨床研究を統合しています。Lava、CEREC、iTero、およびTRIOSを使用した研究が含まれていました。ほぼすべての研究でジルコニアの単独冠を評価しています。17編の研究を統合し、統計学的分

析を行った結果では、IOSによる光学印象の方が、シリコン印象材を用いた従来法よりも辺縁適合性が向上していたと報告しています(図8)。臨床的に許容される辺縁のギャップの値は39~150  $\mu\text{m}$ と報告されており<sup>45</sup>、これを満たす結果が得られていました。

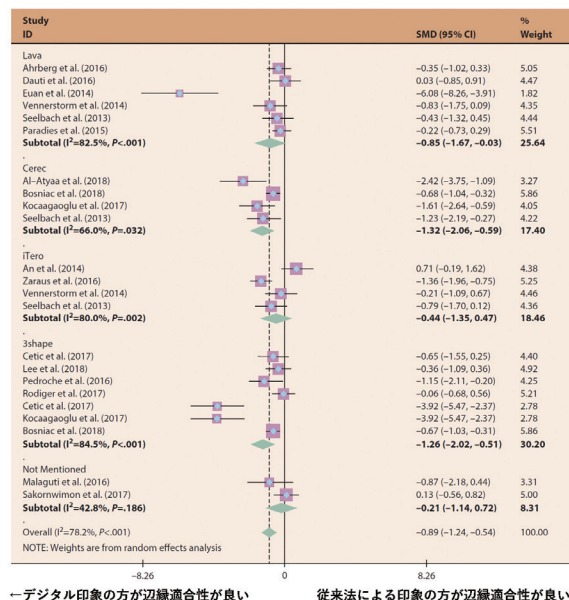


図8 IOSによって分類した辺縁適合性の標準化平均差と信頼区間(文献37より引用)

Mahyaら<sup>46</sup>はデジタルおよび従来のワークフローを使用した単独冠および固定性ブリッジの辺縁と内面適合性をシステムティックレビューとメタアナリシスで検討しています。

この研究では、デジタルによるスキャン(口腔内スキャナー)と製造法(ミリングマシン)を用いることが、従来の方法(印象材による印象と作業用模型等を使用した間接法)と比較して、全部被覆型補綴装置(単独冠と小規模ブリッジ)の辺縁と内面適合性を改善できるかどうかを明らかにすることを目的としています。臨床研究から得られた部分デジタル化ワークフロー群(従来の印象とデジタル製作の組み合わせ)と完全デジタル化ワークフロー群(口腔内スキャンとデジタルによる製作)の比較を行っています。臨床研究を統合した結果では、内面適合性において部分デジタル化ワークフロー群と比較して、完全デジタル化ワークフロー群が良い結果を示しましたが、辺縁適合性について両者に差はありませんでした(図9、10)。分析



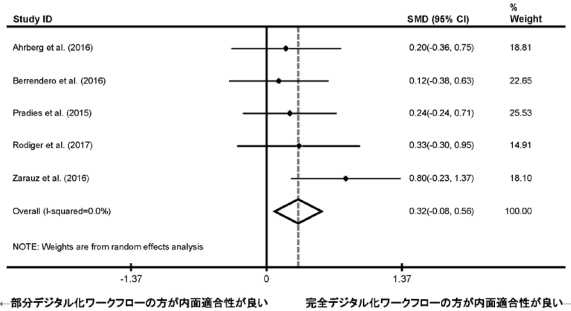


図9 臨床研究における従来の印象とミリングマシンによる加工群と光学印象とミリングマシンによる加工群の内面適合性の比較 (文献39より改変引用)

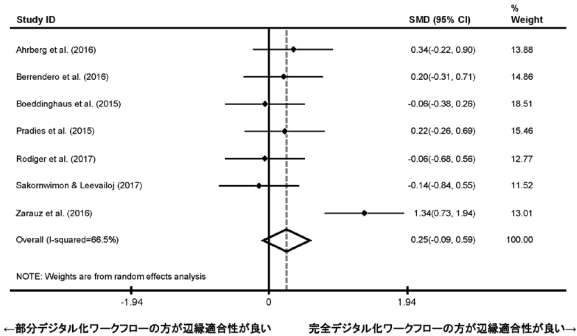


図10 臨床研究における従来の印象とミリングマシンによる加工群と光学印象とミリングマシンによる加工群の辺縁適合性の比較 (文献39より改変引用)

結果から口腔内スキャナーを使用して、モデルレスにてCAD/CAMで製作するという完全デジタル化ワークフローが、従来の方法と同等またはそれ以上の内面と辺縁適合性を備えた補綴装置が得られることを示唆しています。

## おわりに

IOSを使用した補綴治療では、支台歯辺縁形態、光学印象の範囲、CADとCAMのソフトウェア、加工機の組み合わせと、臨床経験から得られたそれぞれの設定の組み合わせが無数に存在します。各々の臨床現場で歯科医師と歯科技工士の努力によって最適化されたデジタルによる補綴治療システムでは、各工程の誤差を補正することが可能となっています。結果として、従来の方法に劣らず臨床的に許容可能な補綴装置を患者に提供することができますと考えられます。

大阪歯科大学では、文部科学省の令和3年度第1次補正予算による「ウィズコロナ時代の新たな医療に対応できる医療人材養成事業」の公募に応

募し、「実習等に資するシミュレータ等のDX設備整備」の事業計画が採択されました。今年度から歯科保存学講座と共同で第5学年臨床実習においてIOSを用いた特科実習を開始しています(図11)。次世代の歯科医師にとっては、卒直後からIOSによる補綴治療が日常になっていく時代が到来しています。

われわれ歯科医師はこのような新しいデジタル技術に取り組むにあたり、単に歯科治療技術のデジタル化(Digitization)に終わることなく、デジタル技術の利用により患者を中心とした歯科医療に新たな利益や価値を生み出す機会を創出する「Digitalization」を常に意識することが重要と考えられます。

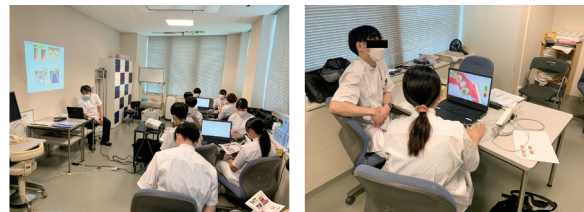


図11 第5学年デジタルデンティストリー実習(保存修復科・補綴咬合治療科(有歯))

## 文献

1. Curran V. et al. A review of digital, social, and mobile technologies in health professional education. J Contin Educ Health Prof 2017; 37: 195-206.
2. Bhavnani SP. et al. Mobile technology and the digitization of healthcare. Eur Heart J 2016; 37: 1428-1438.
3. Ahmed KE. We're going digital: the current state of CAD/CAM dentistry in prosthodontics. Prim Dent J 2018; 7: 30-35.
4. Spagnuolo G. et al. The role of digital devices in dentistry: clinical trends and scientific evidences. J Clin Med 2020; 9: 1692.

5. Joda T. et al. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: A systematic review. *BMC Oral Health* 2017; 17: 124.
6. Joda, T. et al. Digital technology in fixed implant prosthodontics. *Periodontol.* 2000 2017; 73: 178-192.
7. Suese K. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dent Mater J* 2020; 31: 52-56.
8. Beuer F. et al. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204: 505-511.
9. Att W. et al. Digital workflow in reconstructive dentistry: new technologies for high-strength ceramics. In: Ferenz J, Navarro J, Silva N (eds). *High-Strength Ceramics*. Chicago, IL: Quintessence Publishing, 2014.
10. 柏木宏介, 鳥井克典, 山崎 竜. Zirkonzahn CAD/CAMシステムを使用した診断用デジタルデザインによるモックアップの製作. *日本デジタル歯科学会 (監修). Digital Dentistry YEARBOOK 2021*. 東京: クインテッセンス出版, 2021: 220-227.
11. 柏木宏介, 鳥井克典, 山崎 竜. フェイススキャナーを応用した多数歯欠損症例の診断用デジタルデザインによるモックアップの製作. *日本デジタル歯科学会 (監修). Digital Dentistry YEARBOOK 2022*. 東京: クインテッセンス出版, 2022: 179-186.
12. Young JM. et al. Laser holography in dentistry. *J Prosthet Dent* 1977; 38: 216-225.
13. 山添正稔. 口腔内スキャナーによる光学印象法について. *歯科用デジタルハンドブック2*. 第1版. 大阪: YAMAKI株式会社, 2020: 133-136.
14. Duret F. et al. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc.* 1988; 117: 715-20.
15. Birnbaum NS. et al. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent* 2008; 29: 498-505.
16. 吉澤 徹. 光による三次元測定技術序論. 吉澤 徹 編. *三次元工学1光三次元計測*. 第2版. 東京: 新技術コミュニケーションズ, 1998: 1-4.
17. Zint M. et al. Development and verification of a snapshot dental intraoral three-dimensional scanner based on chromatic confocal imaging. *J Med Imaging (Bellingham)* 2019; 6: 033502.3
18. Amornvit P. et al. Confocal 3d optical intraoral scanners and comparison of image capturing accuracy. *Computers Materials & Continua* 2021; 66: 303-314.
19. van der Meer WJ. et al. Application of intraoral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS ONE* 2012; 7: e43312.
20. Birnbaum NS. et al. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent* 2008; 29: 498-505.
21. Kachalia PR. et al. Dentistry a la carte: in-office CAD/CAM technology. *J Calif Dent Assoc* 2010; 38: 323-330.
22. Khalifa N. Digital impressions. In *Digitization in Dentistry*. Springer. 2021: 169-187.
23. Mangano FG. et al. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. 2020; 20: 263.
24. Birnbaum NS. et al. Dental impressions using 3D digital scanners: Virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent* 2008; 29: 494-505.
25. Berrendero S. et al. Comparative study of all-ceramic crowns obtained from conventional and digital impressions: clinical findings. *Clinical Oral Investigations* 2019; 23: 1745-1751.
26. Lim JH. et al. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 225-32.
27. Logozzo S. et al. Recent advances in dental optics — part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Lasers Eng* 2014; 54: 203-221.
28. ISO 5725-1: 1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions.
29. 定松義樹. 分析の信頼性にまつわる言葉の「信頼性」. *CREATIVE* 2011; 10: 39-41.
30. Ivett R. et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. *BMC Oral Health* 2022; 22: 140.
31. Kuhr F. et al. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent* 2016; 55: 68-74.
32. Schmidt A. et al. Accuracy of digital and conventional full-arch impressions in patients: an update. *J Clin Med* 2020; 9: 688.
33. Guth JF. et al. A new method for the evaluation of the accuracy of full-arch digital impressions in vitro. *Clin Oral Investig* 2016; 20: 1487-1494.



34. Ginnenez B. et al. Accuracy of two digital implant impression systems based on confocal microscopy with variations in customized software and clinical parameters. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2015; 30: 56-64.
35. Ender A. et al. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int* 2015; 46: 9-17.
36. Patzelt SBM. et al. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014; 18: 1687-1694.
37. Treesh JC. et al. Complete-arch accuracy of intraoral scanners. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 382-388.
38. Jennes ME. et al. In vivo full-arch accuracy of intraoral scanners: a narrative review. *Int J Comput Dent* 2022; 25: 9-16.
39. Anadioti E. et al. 3D and 2D marginal fit of pressed and CAD/CAM lithium disilicate crowns made from digital and conventional impressions. *J Prosthodont* 2014; 23: 610-617.
40. Zarauz C. et al. Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions. *Clin Oral Investig* 2016; 20: 799-806.
41. Syrek A. et al. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J Dent* 2010; 38: 553-559.
42. Ting-Shu S. et al. Intraoral digital impression technique: a review. *J Prosthodont* 2015; 24: 313-321.
43. Abdel-Azim T. 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* 2015; 114: 554-559.
44. Tabesh M. et al. Marginal adaptation of zirconia complete-coverage fixed dental restorations made from digital scans or conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*. 2021; 125: 603-610.
45. Holmes JR. et al. Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent* 1989; 62: 405-408.
46. Mahya H. et al. Marginal and internal adaptation of single crowns and fixed dental prostheses by using digital and conventional workflows: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2021; 126: 360-368.