

日本語主本文翻訳 (表・ 図注を含む)

原題 : Influence of arch form on the accuracy of digital workflow in all-on-four implant rehabilitation cases (an in vitro study)

著者 : Mohamed S Torky、Rewaa G AboElHassan、Amir S Azer

PMID : 42745315。DOI : 10.1186/s12903-026-09780-8

原文 : <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/PMC13576345/fullTextXML>

原著著作権表示 : © The Author(s) 2026

原著・ 翻訳の利用条件 : CC-BY-4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AI翻訳。独立AI原文レビュー済み。歯科医師による監修は実施していない。原図・ 図中文字・ 別ファイルの補足資料を含まない。日本語への翻訳という改変を加えた。

表中の結合セルは元の値を繰り返して表示する。

原著の書誌情報・ 著者情報

掲載誌: BMC Oral Health

巻: 26

頁・ 論文番号: 1740

著者・ 所属 : Mohamed S Torky (所属1)

著者注記 : Mohamed S Torky (✉)

責任著者 : Mohamed S Torky

著者・ 所属 : Rewaa G AboElHassan (所属1)

著者・ 所属 : Amir S Azer (所属1)

オールオンフォーインプラント補綴症例におけるデジタルワークフローの精確さ (accuracy) に対するアーチ形態の影響 (in vitro研究)

抄録

背景

アーチ形態のバリエーションは、インプラント維持固定性歯科補綴装置のデジタル印象の精確さ (accuracy) に影響を及ぼす可能性がある。アーチの幅、湾曲、およびスパン長の違いはスキャンの連続性およびデータステッチングに影響し、フルアーチ取得時の真度 (trueness) および精密度 (precision) に影響を及ぼす可能性がある。しかし、アーチ形態とスキャン戦略がどの程度相互作用してデジタル印象の精確さ (accuracy) に影響するかは依然として不明である。

目的

本in vitro研究の目的は、インプラント維持固定性歯科補綴装置のデジタルワークフローの精確さ (accuracy) に対するアーチ形態の影響を評価することであった。

方法

異なる形態を有する3種類の上顎無歯顎フルアーチモデル--卵円形 (O)、先細り形 (T)、方形 (S) --を3Dプリントした。各モデルに4本のインプラントを埋入し、スキャンボディを装着した。高精度ラボスキャナーを用いてリファレンススキャンを取得した。各モデルをMedit i700口腔内スキャナー (IOS) で3つのスキャン戦略--リニア (L)、S字カーブ (S)、ウェーブ (W) --を用いてスキャンした。各戦略はモデルごとに10回実施し、90のSTLファイルを生成した。真度 (trueness) および精密度 (precision) をGeomagic Control Xソフトウェアを用いて評価し、統計的に分析した ($\alpha = 0.05$)。

結果

アーチ形態は真度 (trueness) に有意に影響し ($p < 0.001$)、先細り形アーチが最も高い真度 (trueness) を示し、次いで方形、卵円形の順であった。精密度 (precision) はアーチ形態 ($p < 0.001$) およびスキャン戦略 ($p = 0.006$) により有意に影響を受けた。ウェーブ戦略は他の戦略と比較して有意に高い精密度 (precision) を示した。アーチ形態とスキャン戦略の間に有意な交互作用は認められなかった ($p = 0.769$)。

結論

本in vitro研究の限界の範囲内で、アーチ形態およびスキャン戦略はフルアーチインプラントスキャンの真度 (trueness) および精密度 (precision) の両方に有意に影響する。先細り形アーチは統計的に最も高い真度 (trueness) および精密度 (precision) を示し、ウェーブスキャン戦略は精密度 (precision) を最大化したが、テストしたすべての組み合わせは受動的補綴適合のための臨床的に許容可能な閾値内に安全に収まっていた。

キーワード: アーチ形態、スキャン戦略、口腔内スキャン、精確さ (accuracy)、デジタル印象

ハイライト

オールオンフォーインプラント支持修復の場合、デジタル印象の精密度 (precision) を向上させるために、異なるアーチ形態の形状に応じてスキャン戦略の選択を慎重に検討すべきである。

先細り形アーチ形態は、使用したスキャン戦略にかかわらず、有意により精確な (accurate) デジタルスキャンをもたらした。

先細り形アーチはデジタル印象における精密度 (precision) の向上と関連している。

ウェーブスキャン戦略は、異なるスキャン戦略の中でデジタル印象における精密度 (precision) の向上と関連している。

1アレキサンドリア大学歯学部 保存歯科学講座 固定性補綴学分野、P. O. Box: 21527, Champollion St., Azarita, Alexandria, Egypt

✉

責任著者。

PMC公開日：2026年9月16日

原著公表日：2026年9月15日

受付日 2026年3月5日; 受理日 2026年8月27日; 収録日 2026年。

緒言

歯列弓の形態は一般的に先細り形 (または狭窄形)、卵円形、方形に分類される。ある人口統計学的研究では、41%が卵円形アーチ、39%が方形アーチ、20%が先細り形アーチであった[1]。歯列弓の寸法および形態は、口腔内スキャナー (IOS) によるスキャンの精密度 (precision) に影響を及ぼす可能性がある[2]。

3Shape Trios口腔内スキャナー (IOS) スキャンに関する先行研究では、アーチの幅がスキャンの精確さ (accuracy) に有意に影響するが、真正性 (authenticity) には影響しないことが発見された。より広いアーチのスキャンは精確さ (accuracy) が低かった[3]。

IOSの最近の進歩およびスキャナーの精密度 (precision) の向上により、ダイレクトデジタルプロセスを使用したインプラント支持補綴装置の作製が容易になった[4]。このアプローチはその精確さ (accuracy) について臨床的に検証されており、患者の不快感の軽減に貢献している[5]。また、口腔内スキャンと口腔外スキャンの比較により、最も有意な差異は前方領域ではなく後方顎堤部に認められた[6]。

歯科におけるデジタルワークフローの導入以来、物体の3次元形状を取得するためのIOSの使用に対する関心が高まっている。IOSの精密度 (precision) は、スキャンアプローチ、環境照明、オペレーターの技能レベル、支台歯形成のデザイン、距離、ハードウェア、およびソフトウェアプログラムのバージョンなどの様々な要因に影響される可能性がある[7]。さらに、精確さ (accuracy) は、再スキャンおよびステッチング処理の必要性、スキャン速度、スキャンに使用される技術、被スキャン面の特性、血液または唾液による汚染、歯列弓のサイズ、および歯列不正の存在などの要因によって損なわれる可能性がある[8]。

スキャン戦略は、スキャン対象がビューファインダーの中央に位置することを確保しながら、スキャン対象上でIOSヘッドを慎重に移動させることを含む[9]。通常、プロセスは修復予定のアーチのスキャンから開始し、次いで対合アーチ、最後に咬合採得の取得で終了する[10]。これらの知見は、デジタルワークフローにおける最適な精密度 (precision) を確保するために適切なスキャン戦略を選択することの重要性を示している。

最近リリースされたIOSの1つがMedit i700 IOSである。Medit i700 IOSは、市場の他のスキャナーと比較して、高い性能、速いスキャン速度、およびユーザーフレンドリーな機能で認知されており、スキャンの取得・エクスポートに使用され、互換性のあるコンピュータ支援設計 (CAD) ソフトウェアと併用できる[11]。この柔軟性により、歯科専門家は好みのワークフローおよびソフトウェアツールを選択できる[11]。

スキャン戦略は研究されてきたが、オールオンフォープロトコルの文脈における特定のアーチ形態との相互作用については十分に報告されていない。したがって、スキャンされるアーチ形態やスキャン戦略を含む様々な要素がスキャンの精密さ (accuracy) に及ぼす影響を明らかにするため、異なる臨床条件についての研究が継続されている。本in vitro研究の目的は、異なるスキャン戦略を用いたインプラント維持固定性歯科補綴装置における3種類のアーチ形態 (卵円形-先細り形-方形) がデジタルワークフローの精密さ (accuracy) に及ぼす影響を検討することであった。帰無仮説は、異なる戦略を使用した場合に3種類のアーチ形態間でオールオンフォーデジタル印象の精密さ (accuracy) に差がないというものであった。

材料および方法

アレキサンドリア大学歯学部保存歯科学講座に来院した患者から取得した、異なるアーチ形態 (卵円形 (O)、先細り形 (T)、方形 (S)) を有する実際のヒトモデルを再現した3種類の上顎無歯顎モデルを作製した。モデルはまず卓上ラボスキャナー (T710; Medit Corp., Seoul, South Korea) でスキャンし、その後メーカーのガイドに従い3Dプリンター (Form 3+; Formlabs) を使用して作製した。

サンプルサイズはG*Powerソフトウェア (バージョン3.1.9.7) を使用し、95%信頼水準 ($\alpha = 0.05$) および80%統計的検出力 ($\beta = 0.80$) を仮定して推定した。Pattamavilaiら[12]の知見に基づき、中〜大の効果量 ($f = 0.375$) を使用した。二元配置分散分析 (ANOVA) (固定効果、特殊、主効果、および交互作用) において合計9群、交互作用の自由度4とした場合、最小必要サンプルサイズは90 (1群あたり10サンプル) と決定された。サンプルはGpowerにより算出された[13]。管理されたin vitro環境は湿気や患者の動きなどの臨床的交絡因子を排除するが、サンプルサイズの計算 (1群あたり $n = 10$) を実施した。これは、スキャン経路とアーチ形態間の真のマイクロメートルレベルの幾何学的差異を検出するための十分な統計的検出力を確保し、第II種の統計的過誤のリスクを最小化するために必要であった。

スキャンデータを歯科用CADソフトウェア (exoplan; exocad GmbH, Darmstadt, Germany) にインポートし、インプラント埋入用3Dプリントサージカルガイドの設計に使用した。インプラントの位置決めを交絡変数として排除するため、標準化されたインプラント配置を「exoplan」ソフトウェアで計画し、3種類のアーチ形態モデル間でデジタル的に同期した。空間的均一性は、同一の両側間およびクロスアーチ寸法によりアーチ形態間で確認された: 2本の最後方インプラント間のクロスアーチ直線距離は正確に43.366 mmであり、2本の前方インプラント間の距離は正確に27.991 mmであり、隣接する前方および後方インプラント間の前後距離は正確に18.400 mmであった。この厳密な寸法の標準化により、スキャンの精密さ (accuracy) に観察されるいかなる変動もアーチ形態自体の幾何学的遷移曲率に厳密に帰属されることが保証される。このマスタープランはプリントされた完全ガイド型サージカルテンプレートを使用して実行され、アーチ形態にかかわらず同一のインプラント間距離および角度を確保した。スリーブ付きサージカルガイドを使用し、NeoBiotech

ガイドドサージェリーキット (NeoBiotech Co., Ltd., Seoul, South Korea) を用いて3つのレジンキャスト内での物理的な骨切削 (osteotomy) およびインプラント埋入を標準化した。このプロトコルにより、インプラント埋入部位の位置、角度、直径、および深さの正確な制御が可能となった[14]。

各モデルにおいて、4本のボーンレベルインプラント ($\varnothing 4.5 \times 10$ mm、IS-II Active ; NeoBiotech Co., Ltd.) を埋入した。犬歯部に2本をストレート (0°) 配置で、第一大臼歯部に2本を 15° 遠心傾斜で埋入し、All-on-4 治療コンセプトを再現した[15]。インプラントショルダーは多孔質骨材料の模擬歯槽頂に一致させ、典型的な臨床的ポジショニングを反映した[16] (Fig. 1)。

図注 (原著 : Fig. 1)

All-on-4インプラントを備えた3Dプリント上顎無歯顎アーチフォーム3種。A、卵円形。B、テーパー形。C、方形

インプラント埋入後、インプラント専用スキャンボディ (ScanBody for IS-II Active ; NeoBiotech Co., Ltd.) を装着し、メーカー推奨に従い10 Ncmでトルクをかけた (Fig. 2)。モデルは、十分に管理された条件下でリファレンススキャン(C)として高精度ラボスキャナー (T710 ; Medit Corp.) を用いて再スキャンし、その後デジタルファイルをSTL (standard tessellation language) 形式でエクスポートし、後続の分析に供した (Fig. 3)。

図注 (原著 : Fig. 2)

インプラントレベルで装着・トルクをかけたスキャンボディ。A、卵円形。B、テーパー形。C、方形

図注 (原著 : Fig. 3)

高精度ラボスキャナー (T710 ; Medit Corp.) によるリファレンススキャン

3Dプリントモデルは3つの主要グループ (O、T、S) に分類し、各グループはさらに使用したスキャン戦略に基づき3つのサブグループに細分した：リニア (L)、S字 (S)、ウェーブ (W)。スキャン戦略とアーチフォームの各組み合わせについて10回のデジタルスキャンを取得し、Pattamavilai et al. [12]およびMai et al. [17]が記述した方法に従い、1アーチフォームあたり合計30スキャンファイルを得た。十分な訓練を受けた数年の経験を有するオペレーターが、Medit i700 IOS (Medit Corp., Seoul, South Korea) を用いて3つのスキャン戦略 (L-S-W) で各グループをスキャンした。各スキャン戦略は、異なるアーチフォームの各モデルについて10回実施した。すべてのデジタルスキャンは同一の部屋で同一の照明および湿度条件下で行った。新しいスキャンの前に、IOSはメーカーガイドの推奨に従いキャリブレーションした。スキャン中、ソフトウェアのトラッキングが完全に喪失した場合、またはデジタルモデルの完成を妨げる重大な幾何学的アーチファクトが発生した場合にのみ、スキャンをやり直した。このプロトコルは、補綴製作において完全かつアーチファクトのないデータセットのみが許容されるという臨床基準に準拠している[18, 19]。

(L) 口腔内スキャンプロトコルは、最後方インプラントスキャンボディの遠心面から開始し、一方の臼歯側から他方へ、アーチの咬合面 / 切端面を連続的な直線経路でたどった。次にスキャナーを口蓋側に傾けてスキャンボディおよび周囲軟組織の口蓋面を取り込み、続いて頬側に回転させて頬側輪郭および前庭部の解剖学的形態を記録し、アーチの全周的な力バレッジを確保した[20] (Fig. 4A)。

図注 (原著 : Fig. 4)

3種類のスキャン戦略。A、リニア戦略。B、S字戦略。C、ウェーブ戦略

(S) スキャン戦略では、リニアアプローチと同様に最後方インプラントスキャンボディの遠心面からスキャンを開始した。最初の咬合面パスに続き、スキャナーを口蓋側と頬側の間を連続的に移行する動的な波状運動で操作した。この動きは、咬合面から口蓋粘膜に向かってスイープし、次に歯槽頂を横切って頬側前庭へ戻る制御されたS字様の軌跡を描いた。この戦略はアーチ全体を通じて維持され、口蓋面、咬合面、および頬側面を一連の連続的な動きで同時に取り込んだ。このスイープ経路によって生じる固有のオーバーラップが堅牢な画像レジストレーションを促進し、スティッチングエラーを最小化した。フルアーチの取り込み後、デジタルモデルの完全性を評価し、必要に応じてタッチアップスキャンを実施した[21, 22] (Fig. 4B)。

(W) スキャン戦略では、前述の2つの戦略と同様のポイントからスキャンを開始した。この方法では、スキャナーヘッドを歯槽頂の咬合面から頬側へ、次に再び口蓋面へとローリング運動で左右に動かし、この動きをフルアーチにわたって繰り返した[21, 23] (Fig. 4C)。リアルタイムの画像取得およびスティッチングはスキャナーのソフトウェアにより実施し、正確なレジストレーションを確保するために一定のフレームオーバーラップを維持した。インプラントスキャンボディは重要なマーカーとして機能し、天然歯が存在しない状況でインプラントの正確な三次元的な位置および傾斜角度の特定を可能にした。完了後、デジタルスキャンの完全性と精確さ (accuracy) を評価した。すべてのデジタル印象は連続的なシングルパススキャン戦略を用いて実施した。回復不能なソフトウェアトラッキングの喪失が発生した場合、スキャンは破棄し完全にやり直した。非重要解剖学的領域に限局的なボイドまたは表面アーチファクトが発生した場合には、対象の欠陥をスキャナーのネイティブトリミングツールで切除し、ボイドを充填するために選択的スキャンを実施するターゲットタッチアッププロトコルを使用した。この限局的な補正は、周囲のポイントクラウドメッシュを剛体幾何学的基準フレームとして利用し、グローバルなスティッチングエラーや体積ドリフトの蓄積を防止する[24, 25]。

各グループから合計90の (STL) ファイルが得られた。3つの上顎アーチフォームにわたる3つの異なるスキャン戦略を用いて取得されたデジタル印象の精確さ (accuracy) は、ISO 5725-1ガイドラインに基づく2つの主要パラメータ、すなわち真度 (trueness) と精密度 (precision) により評価した。すべての分析はGeomagic Control Xソフトウェア (3D Systems, Rock Hill, SC, USA) を用いて実施した[26]。

真度 (trueness) は、初期アライメントに続くグローバルベストフィットレジストレーションにより各テストスキャンを事前に確立したリファレンススキャンに整合させて評価した。テストスキャンとリファレンススキャン間の偏差は三次元 (3D) 偏差分析を用いて定量化し、精確さ (accuracy) は二乗平均平方根 (RMS) 誤差として表した。RMS値が低いほどリファレンスデータセットとの一致度が高く、真度 (trueness) がより高いことを反映する (Fig. 5A, C, E)。精密度 (precision) は、各スキャン戦略グループ内の繰り返しスキャン間のペアワイズ比較 (各グループ $n = 10$) により評価した。各ペアをベストフィットアルゴリズムで整合させ、同一グループ内のすべてのスキャン組み合わせについてRMS誤差を算出した。これらの比較における平均RMS値がそのグループの精密度 (precision) を表し、値が低いほど一貫性と繰り返し性が高いことを示す (Fig. 5B, D, F)。真度 (trueness) および精密度 (precision) の両評価において、フルアーチにわたる偏差の分布を視覚的に明確化するために3Dカラー偏差マップを作成した。偏差を許容範囲内、正、または負に分類するために $\pm 50 \mu\text{m}$ の許容閾値を適用した[20, 22, 27, 28] (Fig. 5)。RMSは定量的な値を、3D分析は空間的な文脈を、カラーマップは誤差の視覚的分布を提供し、これら3つの要素が精確さ (accuracy) の全体像を提供する。

図注 (原著 : Fig. 5)

Geomagic Control Xソフトウェアを用いたスキャンボディ位置の3D偏差を示すヒートカラーマップ。A, C, E、真度 (trueness) に関する3グループのヒートマップ。B, D, F、精密度 (precision) に関する3グループのヒートマップ

異なるスキャン戦略およびアーチフォームにわたる検者内信頼性を評価するために、10のスキャンファイルランダムに選択し、同一検者が2つの別々の日に再測定した。級内相関係数 (ICC) はそれぞれ0.92および0.92であり、優れた一貫性を示した。

統計分析

変数の正規性はShapiro-Wilk検定およびQ-Qプロットを用いて確認した。データは平均値および標準偏差 (SD) を用いて示した。アーチフォームおよびスキャン戦略が真度 (trueness) 、精密度 (precision) に及ぼす影響を評価するために、第I種過誤を調整するため、Bonferroni補正を用いたペアワイズ比較を実施した。すべての検定は両側検定とし、有意水準は $p < 0.05$ に設定した。データはIBM SPSSバージョン23 for Windows (Armonk, NY, USA) を用いて分析した。

結果

結果は、アーチフォームの中でテーパー形アーチが全体として最も低い平均値を示し最も高い真度 (trueness) を示したこと、次いで方形アーチ、卵円形アーチの順であったことを示した (Table 1)。

表1 (原著ラベル : Table 1)

研究グループ間の真度 (trueness) 値 (μm) の比較

		アーチフォーム 卵円形 ; (n = 30)	アーチフォーム 方形 ; (n = 30)	アーチフォーム テーパー形 ; (n = 30)	アーチフォーム 全体
		平均値 $\pm$ SD	平均値 $\pm$ SD	平均値 $\pm$ SD	平均値 $\pm$ SD
スキャン戦略	リニア	57 $\pm$ 2	55 $\pm$ 5	49 $\pm$ 5	54 $\pm$ 5
スキャン戦略	ウェーブ	54 $\pm$ 4	52 $\pm$ 5	47 $\pm$ 4	51 $\pm$ 5
スキャン戦略	S字	56 $\pm$ 5	52 $\pm$ 6	50 $\pm$ 5	52 $\pm$ 6
スキャン戦略	全体	55 $\pm$ 4	53 $\pm$ 5	49 $\pm$ 5	

アーチフォームは真度 (trueness) 値に対して統計的に有意な効果を示した ($F = 15.93$ 、 $p < 0.001$ 、 $\eta^2 = 0.282$) が、スキャン戦略 ($p = 0.069$) およびスキャン戦略とアーチフォームの交互作用 ($p = 0.727$) は統計的に有意ではなかった (Table 2)。

表2 (原著ラベル : Table 2)

アーチフォームおよびスキャン戦略が真度 (trueness) に及ぼす影響を評価する二元配置分散分析

パラメータ	F検定	p値	η^2
アーチ形態	15.93	< 0.001 ^a	0.282
スキャンングストラテジー	2.77	0.069	0.064
交互作用	0.51	0.727	0.025

表2注 : ^ap値 < 0.05で統計的に有意な差、 η^2 偏イータ二乗、調整済みR二乗 = 0.261

対比較の結果、真度 (trueness) はテーパード型アーチにおいてオボイド型 (平均差 = 7 μ m、95% CI : [4, 10]、p < 0.001) およびスクエア型アーチ (平均差 = 4 μ m、95% CI : [1, 7]、p = 0.001) の両方と比較して有意に高かったが、オボイド型とスクエア型アーチ間の差は統計的に有意ではなかった (p = 0.174) (Table 3) 。

表3 (原著ラベル : Table 3)

異なるアーチ形態間における真度 (trueness) (μ m) 値の対比較

アーチ形態	比較対象	平均差	95% CI	p値
オボイド型	スクエア型	2	[-1, 5]	0.174
オボイド型	テーパード型	7	[4, 10]	< 0.001 ^a
スクエア型	テーパード型	4	[1, 7]	0.001 ^a

表3注 : ^ap値 < 0.05で統計的に有意な差

本研究ではまた、アーチ形態間で、テーパード型アーチが最も高い精密度 (precision) を示し、次いでスクエア型、オボイド型の順であったことが明らかになった (Table 4) 。

表4 (原著ラベル : Table 4)

研究群間における精密度 (precision) (μ m) 値の比較

		アーチ形態	アーチ形態	アーチ形態	アーチ形態
		オボイド型 ; (n = 30)	スクエア型 ; (n = 30)	テーパード型 ; (n = 30)	全体
		平均 $\pm$ SD	平均 $\pm$ SD	平均 $\pm$ SD	平均 $\pm$ SD
スキャンングストラ テジー	リニア	56 $\pm$ 2	54 $\pm$ 4	49 $\pm$ 5	53 $\pm$ 5

		アーチ形態	アーチ形態	アーチ形態	アーチ形態
		オボイド型 ; (n = 30)	スクエア型 ; (n = 30)	テーパード型 ; (n = 30)	全体
		平均 ± SD	平均 ± SD	平均 ± SD	平均 ± SD
スキャンングストラ	ウェーブ	52 ± 6	50 ± 5	42 ± 4	48 ± 7
スキャンングストラ	S字	55 ± 6	51 ± 6	47 ± 5	51 ± 6
スキャンングストラ	全体	54 ± 5	52 ± 5	46 ± 5	
テジー					

アーチ形態およびスキャンングストラテジーはいずれも精密度 (precision) 値に有意な影響を及ぼし (それぞれ $p < 0.001$ および $p = 0.006$) 、両者間に有意な交互作用効果は認められなかった ($p = 0.769$) (Table 5) 。

表5 (原著ラベル : Table 5)

アーチ形態およびスキャンングストラテジーが精密度 (precision) に及ぼす影響を評価する二元配置分散分析

パラメータ	F検定	p値	η^2
アーチ形態	22.75	$< 0.001^a$	0.360
スキャンングストラテジー	5.55	0.006 ^a	0.120
交互作用	0.45	0.769	0.022

表5注 : ^ap値 < 0.05 で統計的に有意な差、 η^2 偏イータ二乗、調整済みR二乗 = 0.362

対比較により、テーパード型アーチはオボイド型 ($p < 0.001$) およびスクエア型 ($p < 0.001$) の両方と比較して有意に高い精密度 (precision) を有することが確認されたが、オボイド型とスクエア型アーチ間に有意差は認められなかった ($p = 0.138$) (Table 6) 。

表6 (原著ラベル : Table 6)

異なるアーチ形態間における精密度 (precision) (μm) 値の対比較

	群	比較対象	平均差	95% CI	p値
アーチ形態	オボイド型	スクエア型	3	[-1, 6]	0.138
アーチ形態	オボイド型	テーパード型	9	[5, 12]	$< 0.001^a$
アーチ形態	スクエア型	テーパード型	6	[3, 9]	$< 0.001^a$

	群	比較対象	平均差	95% CI	p値
スキャニングストラ テジー	リニア	ウェーブ	4	[1, 7]	0.004 ^a
スキャニングストラ テジー	リニア	S字	2	[-1, 5]	0.348
スキャニングストラ テジー	ウェーブ	S字	-2	[-5, 1]	0.256

表6注：^ap値 < 0.05で統計的に有意な差

スキャニングストラテジーに関しては、ウェーブパターンが他のストラテジーと比較して有意に良好な精密度（precision）を示した（Table 4）。

考察

本研究は、インプラント支持固定性補綴装置に対する口腔内スキャナーの異なるスキャン戦略を用いたデジタルワークフローの精確さ（accuracy）に対するアーチ形態の影響を検討するために実施された。口蓋皺襞や各アーチ形態に固有の表面形態などの明確な解剖学的ランドマークの保存は、意図的な方法論上の選択であった。これらの変動はデータスティッチングに影響を及ぼすが、検証された3つの形態の生物学的現実を反映している。したがって、観察された精確さ（accuracy）の差異は、IOSスキャン戦略と各アーチ形態の特定の幾何学および解剖学的制約との相互作用を正確に反映している。われわれの結果は、テーパード型アーチ形態が、使用されたスキャン戦略にかかわらず、有意に精確さの高いデジタルスキャンをもたらすことを示した。また、テーパード型アーチとウェーブスキャン戦略がデジタル印象における精密度（precision）の向上と関連していることを示し、帰無仮説は棄却された。重要なことに、数学的統計的有意性と臨床的閾値の区別は維持されなければならない。すべての検証されたスキャン戦略が臨床的成功のために許容される50 μmの閾値内であったが、アーチ形態間で観察された統計的に有意な差異は依然として非常に関連性が高い。多段階のデジタルワークフローにおいて、最終的な補綴物のパッシビティは累積誤差バジェットに依存しており、特定のアーチ形態に最適化された戦略を選択することで初期の口腔内スキャン偏差を最小化することは、下流のCAD/CAMミリングおよび焼結公差が生物学的構造閾値を超えることを防ぐための重要な安全マージンを提供する。したがって、これらの小さな統計的変動は、ワークフロー全体の精確さ（accuracy）に対する保護的バッファーとして臨床的に意味がある[29]。

本研究の結果は、テーパード型アーチ形態がスキャンの真度（trueness）および精密度（precision）の低下と関連することを示唆した先行報告とは対照的であった[30, 31]。われわれの知見は、テーパード型アーチが検証されたアーチ形態の中で最も高い真度（trueness）と精密度（precision）を示したことを示している。

デジタル口腔内スキャンは、従来の技法と比較して全顎インプラント印象に対して臨床的に許容可能な精確さ（accuracy）を提供することが示されているものの、研究間でかなりのばらつきが残っている[32]。アーチサイズや無歯顎スパンなど、スキャンされたアーチの解剖学的特徴は精密度（precision）に有意に影響し、より大きな範囲はIOSの精確さ（accuracy）にとってより大きな課題となる[33]。加えて、スキャン戦略およびパターンは真度（trueness）と精密度（precision）に影響を及ぼすことが示されており、デバイス固有の性能と術者依存のプロトコルの両方がデジタル印象取得時にアーチ形態と相互作用することが示されている[34]。ある臨床比較研究では、アーチタイプとIOSの精確さ（accuracy）との間に有意な相関が示され、アーチ形態がスキャン結果に及ぼす潜在的な影響が強化された[35]。

この不一致にはいくつかの要因が関与している可能性がある。例えば、アーチ形態とスキャナー経路 / スキャンステッチング精度さ (accuracy) との関係がある。口腔内スキャナーは、3Dモデルを再構築するために互いに重なり合う複数の画像をキャプチャしてステッチングすることにより動作する。このステッチングの精度さ (accuracy) は、形状の複雑さとスキャン経路の連続性に依存する。テーパー型アーチは、前歯部に向かってより連続的かつ収束的な曲率を有する。これにより、曲率の急激な変化が少なく、よりスムーズで予測可能なスキャン経路が可能となる。前歯部がより広くて平坦であることを特徴とするスクエア型アーチ、および丸みがあるがより幅広い形態を持つオボイド型アーチは、曲率半径が変化するより複雑な幾何学形態を呈する。この複雑さは、スキャンデータのアライメントとオーバーラップにおける課題の増大により、画像ステッチングプロセスにおいてより多くの歪みを引き起こす可能性がある[36]。また、アーチ形態がインプラントスキャンおよびオールオンフォー症例に及ぼす影響もある。

インプラント間の物理的距離はすべてのグループで厳密に標準化されていたが、テーパー型アーチ形態はより狭い臼歯部の解剖学的アーチ幾何学形態と軟組織境界を呈する。この構成により、口腔内スキャナーがステッチングしなければならない周囲表面データの側方体積が減少する。したがって、全顎スキャンにおける誤差伝播は多因子的であり、犬歯隆起周囲の有利な幾何学的曲率遷移と周囲の解剖学的形態の縮小による複合効果によって駆動される。対照的に、より広い臼歯部の解剖学的アーチ幾何学形態と軟組織境界を持つスクエア型およびオボイド型のカスタマイズドアーチは、より多くのステッチングエラーと偏差をもたらす[37]。

さまざまな歯列弓形態における口腔内スキャンの精度さ (accuracy) を比較した臨床研究では、アーチ形態が精度さ (accuracy) に影響を与え、テーパー型およびより狭いアーチがより良好なスキャン結果を生む傾向にあることが報告されている。より狭いテーパー型アーチでは、スキャナーセンサーの必要な角度変位が少なく、スキャン手順を通じて組織からの最適距離が維持されるため、累積歪みが少なくなる[38]。改善されたキャリブレーションおよびソフトウェアアルゴリズムを含む口腔内スキャン技術の進歩により、テーパー型アーチ形態の小さな詳細な特徴をより正確にキャプチャする能力が向上している可能性がある。さらに、最適化されたスキャン角度やシーケンスなど、本研究で採用された特定のスキャンプロトコルは、テーパー型アーチの幾何学形態を効果的にキャプチャするのにより適していた可能性がある。これらの知見は、デジタル印象の精度さ (accuracy) を評価する際に、アーチ形態とスキャンシステムの特性の両方を考慮することの重要性を明確にしている。

本研究ではまた、ウェーブスキャンパターンが他のパターンと比較して精密度 (precision) を有意に向上させる一方、真度 (trueness) はスキャン戦略による影響を受けなかったことが観察された。これらの知見は、スキャンプロトコルがデジタル印象結果に及ぼす影響を強調した最近の文献と一致している[39]-[41]。

最近の研究では、人工的ランドマークを使用したスキャンプロセスおよび乾燥条件下でのデジタル印象の使用がデジタル口腔内スキャナーの精度さ (accuracy) を向上させることが報告されている。加えて、これらの研究では、S字型パターンが真度 (trueness) と精密度 (precision) の両方を改善することが見出された。これらの結果は、特定のスキャン戦略がデジタル印象の精度さ (accuracy) にプラスの影響を与えることを示唆している[39, 40]。同様に、別のパイロット研究では、異なるスキャンプロトコルが口腔内スキャンの精度さ (accuracy) に及ぼす影響を調査した。この研究では、ウェーブ状の動きなどの特定のスキャンプロトコルが他と比較してより高い精密度 (precision) をもたらしることが見出された。ただし、真度 (trueness) はスキャンプロトコルによって有意な影響を受けなかった[41]。ウェーブスキャン戦略は、「オールオンフォー」インプラント構成を含むような複雑な症例におけるデジタル印象取得に対して大きな利点を提供する[31]。この技法は、広範なデータオーバーラップを生成する連続的な掃引動作を利用することにより、データレジ

ストレーションの向上を促進する[42]。この包括的なオーバーラップは、特に解剖学的ランドマークが限られている長い無歯顎スパンにおいて、スキャナーのソフトウェアが正確な3Dモデルを構築するために重要である。さらに、ウェーブ戦略はそのオーバーラップする掃引を通じて取得データを継続的に再レジストレーションおよび精緻化することにより、累積誤差を積極的に低減し、アーチ全体にわたって精度さ (accuracy) を維持する[43]。この動作の多様な角度は、軟組織キャプチャの改善にも寄与し、最終補綴物のエマージェンスプロファイルとフィットの最適化に不可欠である。術者のスキルがその実行に影響を及ぼすが、ウェーブパターンの適応可能な性質により、困難な解剖学的特徴や視線が制限される領域の効果的なナビゲーションが可能となる。ウェーブ戦略の基本理は、その経路を介した包括的、重複的、かつ連続的なデータ取得を確保することである。これが、要求の高い臨床状況において高い精度さ (accuracy) と精密度 (precision) を達成するために価値がある理由である[44]。

アーチ形態とスキャン戦略の交互作用として、本研究は、各アーチ形態に応じてデジタル印象の精密度 (precision) を向上させるための適切なスキャン戦略の選択の重要性を強調した。累積誤差バジレットの枠組みの中で、特定のスキャン戦略をテーパー型アーチ構成に適合させることは、ソフトウェアの連続的な光学追跡およびステッチング経路を最適化する可能性がある。その特定の軌跡に沿ったデータの断片化を最小化することにより、この最適化されたペアリングは、初期デジタル印象段階がワークフロー全体の誤差バジレットのより小さな割合を消費することを可能にする。

真度 (trueness) はスキャン戦略によって有意な影響を受けない可能性がある一方、精密度 (precision) は著しく改善され、より信頼性が高く一貫性のあるデジタル印象につながりうる。オボイド型アーチでは、ウェーブ戦略がリニアおよびS字型戦略と比較して最も低い平均偏差値を達成し、最も高い真度 (trueness) と精密度 (precision) を示した。同様に、スクエア型アーチでは、ウェーブおよびS字型戦略は同等の真度 (trueness) を示したが、ウェーブ戦略はより優れた精密度 (precision) を有し、優先されるアプローチとなった。テーパー型アーチでは、ウェーブ戦略が再び他を上回り、真度 (trueness) と精密度 (precision) の両方で最も低い平均値を示した。

本研究の主要な限界は、in vitro条件下で実施されたことであり、幾何学的変数を意図的に分離しているが、臨床実践の複雑さを完全に再現していない可能性がある。唾液流量、患者の動き、口腔内湿度といった患者固有の交絡変数が存在しなかったことが、観察された追跡精度さ (accuracy) を人為的に最適化している可能性がある。先行研究は、IOSがin vivo応用と比較して実験室環境においてしばしばより高い精度さ (accuracy) を示すことを報告している[45]-[48]。シミュレーション環境で利用可能な視認性の向上が、IOS性能の過大評価につながった可能性がある。加えて、本研究は単一のIOSブランドのみを評価した。これは、この特定のプロトコルに複数のプラットフォームを導入すると重大な交絡変数が導入されるためである。現代のデジタル印象システムは非常に多様な光学キャプチャ技術と独自のステッチングソフトウェアに依存しているため、アーチ幾何学形態、スキャン戦略、および累積ワークフロー誤差バジレット間の正確な相互作用は、異なる商業プラットフォーム間で異なる可能性がある。

したがって、異なるIOSおよびスキャン戦略を使用して基礎的メカニズムを探索し、これらの知見が異なるスキャン技術および患者集団にわたって一般化可能であることを判断するために、さらなる研究が推奨される。

結論

本研究の結果は以下のことを示した：

本in vitro研究の限界の範囲内において、歯列弓の幾何学的形態およびスキャン戦略の選択は、「All-on-Four」補綴修復におけるデジタル印象の精確さ（accuracy）に影響する有意な変数であると結論付けることができる。テーパード型歯列弓形態が最も高い真度（trueness）および精密度（precision）を示し、ウェーブスキャン戦略が最も高い精密度（precision）を示したが、観察されたすべての偏差は、インプラント補綴学における臨床的成功の基準として一般的に引用される50 μ mの閾値以内にとどまった。したがって、歯列弓形態間で観察された差異は、いずれかの特定の歯列弓形態における臨床的失敗の決定的指標としてではなく、累積誤差バジレットの最適化および外科的・補綴的安全マージンの向上として解釈されるべきである。

謝辞

該当なし。

略語

IOSs

口腔内スキャナー

STL

標準テッセレーション言語

RMS

二乗平均平方根

ICCs

級内相関係数

著者の貢献

M. S. T.は研究デザイン、データの取得、分析および解釈に貢献し、原稿の草稿を執筆した。R. G. A.は研究デザイン、結果の解釈に貢献し、原稿を改訂し、研究を監督した。A. S. A.は研究デザインに貢献し、原稿を改訂した。

資金提供

オープンアクセス資金は、The Science, Technology & Innovation Funding Authority (STDF) がThe Egyptian Knowledge Bank (EKB) と協力して提供した。本研究は、公的、商業的、または非営利団体からの特定の資金提供を受けていない。

データの利用可能性

本研究で利用および / または分析されたデータセットは、合理的な要求に応じて責任著者から入手可能である。

宣言

倫理承認および参加への同意

本研究は、アレクサンドリア大学歯学部科学研究倫理委員会により承認された（承認番号：0919-05/2024；2024年5月20日承認）。本研究は歯科模型を用いて実施されたin vitro研究であり、ヒト被験者またはヒト組織を含まなかったため、参加に対するインフォームドコンセントは不要であった。

出版への同意

該当なし。

競合する利益

著者らは競合する利益がないことを宣言する。

脚注

出版社の注記

Springer Natureは、出版された地図および所属機関に関する管轄権の主張について中立的な立場を維持している。

参考文献

- Paranhos LR, Andrews WA, Jórias RP, Bérzin F, Júnior ED, Triviño T. Dental arch morphology in normal occlusions. *Braz J Oral Sci.* 2011;10:65-8.
- Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent.* 2016;115:313-20.
原文XML識別子：doi 10.1016/j.prosdent.2015.09.011；pmid 26548890
- Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS ONE.* 2016;11:e0158800.
原文XML識別子：doi 10.1371/journal.pone.0158800；pmcid PMC4934918；pmid 27383409
- Michelinakis G, Apostolakis D, Kamposiora P, Papavasiliou G, Özcan M. The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review. *BMC Oral Health.* 2021;21:37.
原文XML識別子：doi 10.1186/s12903-021-01398-2；pmcid PMC7819204；pmid 33478459
- Lee S, Lee J. Digital Impressions for Implant-Supported Fixed Dental Prostheses. *Curr Oral Health Rep.* 2017;4:136-41.
- Sun L, Lee JS, Choo HH, Hwang HS, Lee KM. Reproducibility of an intraoral scanner: A comparison between in-vivo and ex-vivo scans. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2018;154:305-10.
原文XML識別子：doi 10.1016/j.ajodo.2017.09.022；pmid 30075932
- Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral scanner technologies: A review to make a successful impression. *J Healthc Eng.* 2017;2017:8427595.
原文XML識別子：doi 10.1155/2017/8427595；pmcid PMC5605789；pmid 29065652
- Marques VR, Çakmak G, Yilmaz H, Abou-Ayash S, Donmez MB, Yilmaz B. Effect of scanned area and operator on the accuracy of dentate arch scans with a single implant. *J Clin Med.* 2022;11:4125.
原文XML識別子：doi 10.3390/jcm11144125；pmcid PMC9320255；pmid 35887889

9. Gavounelis NA, Gogola CC, Halazonetis DJ. The Effect of Scanning Strategy on Intraoral Scanner's Accuracy. *Dent J (Basel)*. 2022;10:123.

原文XML識別子 : doi 10.3390/dj10070123 ; pmcid PMC9319627 ; pmid 35877397

10. Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int*. 2016;47:343-9.

原文XML識別子 : doi 10.3290/j.qi.a35524 ; pmid 26824085

11. AL-hassiny A. Medit i700 review-the best oral scanner? 2021. Institute of Digital Dentistry. Available at: <https://instituteofdigitaldentistry.com/cad-cam/medit/medit-i700-review/>.

12. Pattamavilai S, Ongthiemsak C. Accuracy of intraoral scanners in different complete arch scan patterns. *J Prosthet Dent*. 2024;131:155-62.

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.prosdent.2021.12.026 ; pmid 35256181

13. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007;39:175-91.

原文XML識別子 : doi 10.3758/bf03193146 ; pmid 17695343

14. Algabri RS, Altayyar SA, Abo-Alrejal HO, Alsourori AA, Alshaibani DA, Mostafa MH. Effect of primary versus secondary splinting impression techniques on the passive fit of screw-retained implant prosthesis: a randomized clinical trial. *Bull Natl Res Cent*. 2023;47:164.

15. Andriessen FS, Rijkens DR, van der Meer WJ, Wismeijer DW. Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: a pilot study. *J Prosthet Dent*. 2014;111:186-94.

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.prosdent.2013.07.010 ; pmid 24210732

16. Anwar H, Azer A, AboElHassan RG. Influence of a specially designed geometric device and modified scan bodies on the accuracy of a maxillary complete arch digital implant scan: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2024;131:e6831-7.

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.prosdent.2024.02.020 ; pmid 38472074

17. Mai HY, Mai HN, Lee CH, Lee KB, Kim SY, Lee JM, et al. Impact of scanning strategy on the accuracy of complete-arch intraoral scans: a preliminary study on segmental scans and merge methods. *J Adv Prosthodont*. 2022;14:88-95.

原文XML識別子 : doi 10.4047/jap.2022.14.2.88 ; pmcid PMC9095452 ; pmid 35601352

18. Tasaka A, Uekubo Y, Mitsui T, Kasahara T, Takanashi T, Homma S, et al. Applying intraoral scanner to residual ridge in edentulous regions: in vitro evaluation of inter-operator validity to confirm trueness. *BMC Oral Health*. 2019;19:264.

原文XML識別子 : doi 10.1186/s12903-019-0918-y ; pmcid PMC6889518 ; pmid 31791324

19. Revilla-León M, Subramanian SG, Özcan M, Krishnamurthy VR. Clinical study of the influence of ambient light scanning conditions on the accuracy (trueness and precision) of an intraoral scanner. *J Prosthodont*. 2020;29:107-13.

原文XML識別子 : doi 10.1111/jopr.13135 ; pmid 31860144

20. Stefanelli LV, Franchina A, Pranno A, Pellegrino G, Ferri A, Pranno N et al. Use of intraoral scanners for full dental arches: Could different strategies or overlapping software affect accuracy? *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:9946.

原文XML識別子 : doi 10.3390/ijerph18199946 ; pmcid PMC8507837 ; pmid 34639250

21. Feng CW, Hung CC, Wang JC, Lan TH. Accuracy of different head movements of intraoral scanner in full arch of both maxilla and mandible. *Appl Sci vol*. 2021;11:8140.

22. Revilla León M, Lanis A, Yilmaz B, Kois JC, Gallucci GO. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. *J Prosthodont*. 2023;32:150-64.

原文XML識別子 : doi 10.1111/jopr.13749 ; pmid 37586762

23. Mennito AS, Evans ZP, Lauer AW, Patel RB, Ludlow ME, Renne WG. Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *J Esthet Restor Dent*. 2018;30:113-8.

原文XML識別子 : doi 10.1111/jerd.12371 ; pmid 29476599

24. Pugalandhi R, Jayaprakasan N, Karuveetil V, Nk S, Prabha VVA. Effectiveness of intraoral scanners in full arch digital impression - a systematic review. *Clin Investig Orthod*. 2022;81:1-10.

25. Alharbi A, Alawaji S, Yehya M, Alenezi A. Evaluation of the accuracy of different digital scanning systems and intraoral scanning strategies: An in vitro study. *Saudi J Oral Sci.* 2024;11:125-32.

26. ISO 5725-1. :1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions. International Organization for Standardization; 1994. Available from: <https://www.iso.org/standard/11833.html>.

27. Son K, Lee WS, Lee KB. Effect of Different Software Programs on the Accuracy of Dental Scanner Using Three-Dimensional Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:8449.

原文XML識別子 : doi 10.3390/ijerph18168449 ; pmcid PMC8392431 ; pmid 34444195

28. Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C, Admakin O. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health.* 2019;19:101.

原文XML識別子 : doi 10.1186/s12903-019-0792-7 ; pmcid PMC6555024 ; pmid 31170969

29. Abduo J, Judge RB. Implications of implant framework misfit: a systematic review of biomechanical sequelae. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29:608-21.

原文XML識別子 : doi 10.11607/jomi.3418 ; pmid 24818199

30. Kwon M, Cho Y, Kim DW, Kim M, Kim YJ, Chang M. Full-arch accuracy of five intraoral scanners: In vivo analysis of trueness and precision. *Korean J Orthod.* 2021;51:95-104.

原文XML識別子 : doi 10.4041/kjod.2021.51.2.95 ; pmcid PMC7940805 ; pmid 33678625

31. Winkler J, Gkantidis N. Trueness and precision of intraoral scanners in the maxillary dental arch: an in vivo analysis. *Sci Rep.* 2020;10:1172.

原文XML識別子 : doi 10.1038/s41598-020-58075-7 ; pmcid PMC6981254 ; pmid 31980724

32. Joensahakij N, Serichetaphongse P, Chengprapakorn W. The accuracy of conventional versus digital (intraoral scanner or photogrammetry) impression techniques in full-arch implant-supported prostheses: a systematic review. *Evid Based Dent.* 2024;25:216-7.

原文XML識別子 : doi 10.1038/s41432-024-01045-z ; pmid 39134687

33. Fratila AM, Saceleanu A, Arcas VC, Fratila N, Earar K. Enhancing Intraoral Scanning Accuracy: From the Influencing Factors to a Procedural Guideline. *J Clin Med.* 2025;14:3562.

原文XML識別子 : doi 10.3390/jcm14103562 ; pmcid PMC12112079 ; pmid 40429557

34. Li Z, Huang R, Wu X, Chen Z, Huang B, Chen Z. Effect of Scan Pattern on the Accuracy of Complete-Arch Digital Implant Impressions with Two Intraoral Scanners. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2022;37:731-9.

原文XML識別子 : doi 10.11607/jomi.9248 ; pmid 35904829

35. Eldabe AK, Adel-Khattab D, Botros KH. Accuracy of intraoral photogrammetry in complete arch digital implant scanning: An in vivo prospective comparative study. *J Prosthet Dent.* 2026;135:342-51.

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.prosdent.2025.03.041 ; pmid 40253232

36. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent.* 2013;109:121-8.

原文XML識別子 : doi 10.1016/S0022-3913(13)60028-1 ; pmid 23395338

37. Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradíes G. Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience, implant angulation, and depth. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17(Suppl 1):e54-64.

原文XML識別子 : doi 10.1111/cid.12124 ; pmid 23879869

38. Joda T, Brägger U. Complete digital workflow for the production of implant-supported single-unit monolithic crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2014;25:1304-6.

原文XML識別子 : doi 10.1111/clr.12270 ; pmid 25040237

39. Alenezi A, Yehya M, Alkhodary M. Effect of full arch two scanning techniques on the accuracy of overdenture conventional and CAD/CAM Co-Cr bars. *Saudi Dent J.* 2022;34:553-64.

原文XML識別子 : doi 10.1016/j.sdentj.2022.08.007 ; pmcid PMC9577350 ; pmid 36267525

40. Hardan L, Bourgi R, Lukomska-Szymanska M, Hernández-Cabanillas JC, Zamarripa-Calderón JE, Jorquera G, et al. Effect of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanners: a meta-analysis of in vitro studies. *J Adv Prosthodont.* 2023;15:315-32.
原文XML識別子 : doi 10.4047/jap.2023.15.6.315 ; pmcid PMC10774636 ; pmid 38205120
41. Yahya MA, Selléus M, Deyar Jallal Hadi DJH, Braian M, Larsson C. The effect of different scanning protocols on precision and trueness of intraoral scanning: A pilot trial. *J Clin Exp Dent.* 2024;16:e1299-306.
原文XML識別子 : doi 10.4317/jced.62158 ; pmcid PMC11559108 ; pmid 39544207
42. Pesce P, Nicolini P, Caponio VCA, Zecca PA, Canullo L, Isola G et al. Accuracy of full-arch intraoral scans versus conventional impression: A systematic review with a meta-analysis and a proposal to standardise the analysis of the accuracy. *J Clin Med.* 2024;14:71.
原文XML識別子 : doi 10.3390/jcm14010071 ; pmcid PMC11721843 ; pmid 39797155
43. Latham J, Ludlow M, Mennito A, Kelly A, Evans Z, Renne W. Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. *J Prosthet Dent.* 2020;123:85-95.
原文XML識別子 : doi 10.1016/j.prosdent.2019.02.008 ; pmid 30982616
44. Ma J, Zhang B, Song H, Wu D, Song T. Accuracy of digital implant impressions obtained using intraoral scanners: a systematic review and meta-analysis of in vivo studies. *Int J Implant Dent.* 2023;9:48.
原文XML識別子 : doi 10.1186/s40729-023-00517-8 ; pmcid PMC10700249 ; pmid 38055096
45. Natsubori R, Fukazawa S, Chiba T, Tanabe N, Kihara H, Kondo H. In vitro comparative analysis of scanning accuracy of intraoral and laboratory scanners in measuring the distance between multiple implants. *Int J Implant Dent.* 2022;8:18.
原文XML識別子 : doi 10.1186/s40729-022-00416-4 ; pmcid PMC9008106 ; pmid 35416598
46. Kernen F, Schlager S, Seidel Alvarez V, Mehrhof J, Vach K, Kohal R, et al. Accuracy of intraoral scans: An in vivo study of different scanning devices. *J Prosthet Dent.* 2022;128:1303-9.
原文XML識別子 : doi 10.1016/j.prosdent.2021.03.007 ; pmid 33902891
47. Komuro A, Yamada Y, Uesugi S, Terashima H, Kimura M, Kishimoto H, et al. Accuracy and dimensional reproducibility by model scanning, intraoral scanning, and CBCT imaging for digital implant dentistry. *Int J Implant Dent.* 2021;7:63.
原文XML識別子 : doi 10.1186/s40729-021-00343-w ; pmcid PMC8241962 ; pmid 34189641
48. Nagy Z, Simon B, Mennito A, Evans Z, Renne W, Vág J. Comparing the trueness of seven intraoral scanners and a physical impression on dentate human maxilla by a novel method. *BMC Oral Health.* 2020;20:97.
原文XML識別子 : doi 10.1186/s12903-020-01090-x ; pmcid PMC7137345 ; pmid 32264943

関連データ

データ利用可能性に関する声明

本研究で利用および / または分析されたデータセットは、合理的な要求に応じて責任著者から入手可能である。

原文の整合性と訳注

以下は原著の表記・数値・研究上の限界についての注記です。本文中の原著の数値や結論を無断で訂正したものではありません。

訳注1：原著抄録の「真度・精密度の双方に有意な影響」という結論は保持した。結果本文と表2ではスキャン戦略の真度への効果が $p = 0.069$ で有意でないため、この結論を臨床推奨として扱わない。

訳注2：原著の「80% power, $\beta = 0.80$ 」という表記は保持した。通常の検出力と β の関係と整合しないが、数値を黙って修正しない。

訳注3：ウェーブ法が他の全ストラテジーより有意に優れるという原著主張は保持した。ただし表6ではWave対S-Figureが $p = 0.256$ で有意でなく、表4は記述統計であるため、臨床推奨として解釈しない。

訳注4：「全偏差が50 μm 以内」および受動的適合・臨床成功に関する原著結論は保持した。ただし表1・表4には50 μm を超える平均値があり、本研究は完成補綴物や臨床成功を測定していない。したがって臨床推奨として扱わない。

訳注5：形態別の最適な組み合わせに関する原著の考察は保持した。報告された交互作用は真度 $p = 0.727$ 、精密度 $p = 0.769$ で有意でないため、有意な交互作用に基づく臨床推奨として扱わない。

訳注6：各群10回の反復スキャンの全ペア比較と、その平均を精密度とする原著記載は保持した。ペア間で同じスキャンを共有するため独立性やANOVAの観測単位は本文から確認できず、臨床的優劣の根拠にはしない。

訳注7：インプラント間距離・角度の標準化だけで差異を歯列弓移行部の曲率へ厳密に帰属するという原著主張は保持した。考察では口蓋皺襞など模型固有の表面形態もステッチングに影響すると記すため、因果の断定や臨床推奨として扱わない。

訳注8：原著がaccuracyと対比して用いる未定義のauthenticityは「真正性 (authenticity) 」として保持し、真度へ正規化しない。accuracyの訳語だけを精確さに統一した。

訳注9：統計解析の原文には「真度・精密度への影響を評価するために」という未完の文がある。訳文では解析手法や述語を推測して補わず、この不完全な表記を保持した。

原著・翻訳情報

PMID : 42745315 | DOI : 10.1186/s12903-026-09780-8

原文確認資料 : <https://www.ebi.ac.uk/europepmc/webservices/rest/PMC13576345/fullTextXML>

原著公開日 : 2026-09-15 | 翻訳日 : 2026-09-17

日本語主本文・表・図注 (原図・図中の文字・別ファイルの補足資料を除く)

原著・翻訳の利用条件 : CC BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

非公式AI翻訳・歯科医師による監修未実施。原図、図中の文字、別ファイルの補足資料は含みません。研究方法・数値・結論は原著の記述であり、個別患者への診断・治療指示ではありません。原著と最新の診療指針をご確認ください。