

複数インプラント補綴装置のための模型を用いないデジタル修正ワークフロー：臨床的概念実証研究

原題：Model-free digital-correction workflow for multi-implant restorations: A clinical proof-of-concept study

著者：Aiste Kernien-Gintaute、Mykolas Akulauskas、Florian Kernien、Nicola Ursula Zitzmann、Benedikt Christopher Spies、Felix Burkhardt。

掲載誌：Journal of Prosthodontic Research。オンライン公開日：2026年9月14日。受理日：2026年8月19日。受付日：2026年2月25日。PMID：42732953。DOI：10.2186/jpr.jpr_d_26_00083。原著の巻・号・ページは早期公開版の未確定表記 (2026; **(**): ****-****) です。

翻訳日：2026年9月17日。本文・全2表 (各3区分) ・全5図注・謝辞・利益相反・著者情報を収録し、参考文献49件は原文書誌情報を保持しています。原図・図内の文字や数値・別ファイルの補足資料は含みません。

原著：© 2026 Japan Prosthodontic Society。原著と本翻訳の利用条件：Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) 。

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>。出典の表示、ライセンスへのリンク、変更の明示が必要です。商業目的には利用できません。原著PDF最終ページと出版社の論文ページで当該ライセンスを確認しました。本稿は日本語への翻訳という変更を加えた非公式AI翻訳であり、著者・学会の承認や歯科医師による監修を受けたものではありません。

原著URL：https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpr/advpub/0/advpub_JPR_D_26_00083/_article。原文PDF：https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpr/advpub/0/advpub_JPR_D_26_00083/_pdf。

訳注：対象は患者1人であり、10回のスキャンや10本のバーは患者10人を意味しません。結果の節ではSVB-NVBの外れ値を137 μm 、考察では123 μm と記載しており、原著内で不一致があります。本訳では両方を原著どおり残しています。100 μm は本研究の実用的な比較の目安であり、普遍的に確立した合否基準ではありません。記載内容は研究報告の翻訳であり、個別患者への処置指示ではありません。

抄録

目的：本臨床的概念実証研究は、無歯顎上顎の複数インプラントに支持される補綴装置を、口腔内スキャンとリバーススキャンボディを用いて製作・修正するデジタルワークフローの実行可能性と正確さを評価する。

方法：無歯顎上顎に4本のインプラントを有する患者1人において、垂直型スキャンボディを用いて口腔内スキャン (IOS) を行った。適合確認用バー (VB) を10本製作し、臨床的に評価した。パッシブフィットが得られないVBを切断し、口腔内で再連結したバー (SVB) を、リバーススキャンボディと歯科技工用スキャナーを用いてスキャンした。このデータに基づいて新しい適合確認用バー (NVB) を製作した。IOS、VB、SVB、NVBの各データにおけるインプラント間の線形偏差と角度偏差を解析した。統計解析にはWelchの分散分析と事後検定を用いた ($\alpha = 0.05$) 。

結果：臨床的なパッシブフィットが得られたVBはなかった。IOS-VB比較の平均線形偏差は14-77 μm で、4測定値が100 μm を超えた。VB-SVBの平均偏差は35-173 μm で、20測定値が100 μm を超えた。一方、SVB-NVBの平均偏差は4-27 μm で、100 μm を超えたのは1測定値のみだった。すべてのNVBで臨床的なパッシブフィッ

トが得られ、SVBとNVBの間に有意差は認められなかった ($P > 0.05$)。

結論：本概念実証研究の特定の条件下では、リバーススキャンボディと一体型チタンベースアバットメントを組み合わせたデジタル修正ワークフローにより、臨床的に許容できる結果が得られた。ただし、複数の変数を同時に変更したため、最終的なパッシブフィットに対する各工程の寄与は分離して評価できなかった。

キーワード：デジタルワークフロー、口腔内スキャナー、口腔インプラント、パッシブフィット、リバーススキャンボディ。

このテーマについて既に分かっていること

インプラント支持上部構造には、合併症を防ぐために適切な適合が求められる。無歯顎の全顎口腔内スキャンでは、画像の連結誤差と解剖学的目印の不足により、正確さが低下する可能性がある。リバーススキャンボディを用いたワークフローは、主として既存の暫間補綴装置を利用する方法として記述されてきたが、前向きな臨床的エビデンスは限られている。

本研究が加える知見

患者1人を対象とした概念実証の条件下で、適合しないバーの口腔内での切断・連結後にリバーススキャンボディを用いることで、デジタル修正ワークフローが可能となった。この方法は従来型印象や実体模型を用いず、臨床的なパッシブフィットを備えた上部構造を得られる可能性を示す。

1. 緒言

複数の口腔インプラント上に装着する補綴装置にパッシブフィットを得ることは、インプラント支持固定性補綴装置や連結バーの長期的成功にとって重要である[1-4]。パッシブフィットは、スクリューの緩み、補綴部品の破折、骨とインプラントの界面への不適切な応力伝達などの生物学的・機械的合併症を防ぎ、インプラント周囲の骨喪失につながる可能性を抑えうる[3-5]。パッシブフィットの獲得には、インプラントの本数と位置、平行性、製作方法、補綴材料など複数の因子が影響する[6-8]。さらに、印象方法は最終的な正確さを左右する重要な要因である[9,10]。ISO 5725-1によれば、正確さ (accuracy) は、測定値が実際のインプラント位置にどれほど近いかを示す真度 (trueness) と、同一条件下での反復測定の一致の程度を示す精度 (precision) を含む[11]。

インプラント支持補綴装置は、従来、エラストマー印象と石膏模型を用いる標準的な方法で製作されてきた。しかし、近年のデジタルワークフローの進歩により、固定性および可撤性のインプラント支持補綴装置の設計・製作に、コンピューター支援設計・製造 (CAD-CAM) システムが導入されている[12]。最も一般的な方法では、口腔インプラントのエラストマー印象から製作した石膏模型を、光学式の歯科技工用スキャナーでデジタル化し、その後のデジタルワークフローにつなげる[13]。近年、口腔内スキャンが従来の印象法に代わる手段として登場した。非接触であるため患者の快適性を高め、治療時間を短縮し、完全なデジタルワークフローを可能にする[14]。通常はインプラントにスキャンボディを口腔内で取り付け、口腔内スキャナー (IOS) で読み取ってデジタル模型を作成する。しかし、無歯顎のインプラント位置を正確に取得することには、依然として大きな課題がある[15]。有歯顎患者とは異なり、無歯顎では解剖学的目印が乏しく、口腔内の参照点が少ない。そのため、取得したデジタル画像をつなぎ合わせて全体のスキャンを構成する「画像連結」が損なわれることがある[16]。結果として仮想模型が不正確になり、最終補綴装置のパッシブフィットに悪影響を及ぼす可能性がある。

複数インプラントに対するデジタル口腔内印象の正確さを調べたin vitro研究の結果は一致しておらず、この方法の臨床応用については議論が続いている[17]。完全無歯顎のインプラントスキャンの正確さを高めるため、補助的な構造を加えてスキャンボディを連結する手順が開発されている[18,19]。しかし、こうした修正を行っても、正確さのばらつきはなお報告されている[20]。IOSによる口腔インプラントのデジタル印象と、そのデータから製作した補綴装置の適合を評価したin vivo研究は限られる[21,22]。

インプラント支持補綴装置にパッシブフィットが得られない場合、装置を切断し、口腔内で再連結できる。デジタルワークフローを維持するには、補綴装置内のチタンベースアバットメント (Tiベース) にリバーサススキャンボディを取り付け、口腔外スキャンでデジタル化する。その後、取得したインプラント位置に基づいて新しい補綴装置を製作できる[23]。リバーサススキャンボディをデジタル化する方法は、パッシブフィットが得られている暫間補綴装置を利用できる場合の、最終インプラント支持補綴装置の初回製作法として既に記述されている[24,25]。その起源は、従来型のインプラント印象をスキャンして位置を取得し、実体のインプラント作業用模型の製作を不要にする半デジタル技工手順にある。リバーサススキャンボディを用いる方法は文献に記載されているが、補綴装置の修正にリバーサススキャンボディを組み込んだデジタルワークフローの正確さを、無歯顎上顎で評価した前向き臨床研究はなかった[26,27]。

そこで本研究は、無歯顎上顎の4本のインプラントに支持される補綴装置を製作するデジタルワークフローの実行可能性と正確さを評価することを目的とした。具体的には、初期データ取得に口腔内スキャンを用い、パッシブフィットが得られない場合にインプラント位置を取得するためのリバーサススキャンボディの応用を検討した。反復測定は、患者間の生物学的なばらつきではなく、同一症例内の技術的なばらつきを把握するために行った。

2. 材料と方法

2.1. 研究参加者

スイス・バーゼル大学歯科医療センターの再建歯科部門で、上顎無歯顎の53歳女性患者1人を研究に登録した。参加前に書面によるインフォームド・コンセントを得た。バーで維持するインプラント支持可撤性補綴装置を想定してインプラント位置を計画した。coDiagnostiXソフトウェア (Dental Wings GmbH、ケムニッツ、ドイツ) による仮想的な計画に基づき、ガイドを用いてインプラントを埋入した。上顎に4本のStraumann® SLActive® Tissue Levelインプラントを埋入した。FDI表記の12・22部は3.3 × 10 mm、26部は4.1 × 10 mm、15部は4.1 × 8 mmであった (Institut Straumann AG、バーゼル、スイス)。研究計画はスイス北西部・中央部倫理委員会 (EKNZ) の承認を受けた (EKNZ-ID 2021-00249)。ヘルシンキ宣言および関連する国内法・規制指針に従って実施した。

2.2 . デジタルワークフロー

スキャンボディをインプラントに口腔内で装着し、TRIOS4口腔内スキャナー (3Shape、コペンハーゲン、デンマーク、バージョン21.2.0) による10回のスキャンが完了するまで取り外さなかった。経験のある術者 (A. K.-G.) が、一定の周囲照明条件の下で製造元の指示に従ってスキャンした (顎あたり $n = 10$ 、IOS群、図1a)。各口腔内スキャンに基づき、CAD-CAMによりチタン製の適合確認用バー (VB) を10本製作した。使用ソフトウェアはExocad Dental CAD 3.1 Rijeka 8349 (exocad GmbH、ダルムシュタット、ドイツ) と Power Mill 2016 R2 (Autodesk、サンフランシスコ、米国) である (図1b)。続いて、実体模型を使わずにTiベース (Straumann® Variobase® RN for bridge/bar cylindrical、 5×3.5 mm、Institut Straumann AG、バーゼル、スイス) を接着した。接着材はMultilink Hybrid abutment (Ivoclar Vivadent、シャーン、リヒテンシュタイン) を用いた (図2a、b)。各VBのパッシブフィットは、視診、触診およびSheffield試験により臨床的に評価した[1-3]。パッシブフィットが得られないVBは切断し、光重合型アクリルレジン (Primopattern LC Gel、Primotec、バート・ホンブルク、ドイツ) で口腔内再連結した (図1c)。元のVBと再連結した適合確認用バー (SVB) にリバーススキャンボディ (RevEx、RN、Institut Straumann AG、バーゼル、スイス) を取り付け、光学式歯科技工用スキャナー (inEos X5、Dentsply Sirona、ベンスハイム、ドイツ、ソフトウェアinLab 22.1.1.276516) でデジタル化し、その後の解析に用いた。最後に、Tiベースを一体化した新しい適合確認用バー (NVB) を切削製作し、パッシブフィットを臨床的に確認した (図1d)。さらに解析するため、リバーススキャンボディを取り付けたNVBを歯科技工用スキャナーでデジタル化した。

2.3 . データ解析

IOS、VB、SVB、NVB各群のスキャンデータをすべてSTL (standard tessellation language) 形式で取得し、計測ソフトウェアGeomagic Control X (バージョン2018.1.2、3D Systems、ロックヒル、サウスカロライナ州、米国) に取り込んだ。既報の方法に従ってスキャンボディの垂直軸と上面を構成した[10]。これらの参照形状を用い、各スキャンにおける個々のスキャンボディ間の距離と角度を計算した。その結果、各スキャンにつき距離6項目と角度6項目の測定値を得た (図3)。スキャンボディ間距離は上面と垂直軸の交点を特定して求め、2本のスキャンボディ間の角度は、それぞれの垂直軸に基づいて測定した。

2.4 . 統計解析

同様の方法を用いた先行研究[28,29]に基づいて標本数を決め、G*Powerソフトウェア (バージョン3.1.9.7、キール大学、キール、ドイツ) で計算した。有意水準 $\alpha = 0.05$ 、検出力80%、効果量1.4を仮定すると、標本数10で十分であると算出された。統計解析にはPython 3.12 (Python Software Foundation、ウィルミントン、デラウェア州、米国) を用いた。データ分布の正規性はShapiro-Wilk検定で、データセット間の等分散性はLevene検定で評価した。スキャンボディの各組合せについて、角度と距離の両測定群 (IOS、VB、SVB、NVB) をWelchの分散分析で比較し、続いてGames-Howellの事後検定を行った。多重比較に対応するため、Holm-Bonferroni法でP値を補正した。角度6項目と距離6項目、計12項目の比較をそれぞれ別々に解析した。有意水準は $\alpha = 0.05$ とした。

3. 結果

3.1. 臨床診査

すべてのVBを臨床診査し、視診、触診およびSheffield試験でパッシブフィットを評価した。Tiベースを接着した10本のVBのいずれにもパッシブフィットは認められなかった（図4）。そのため、それらを切断して口腔内で再連結し、SVBとした。SVBをリバーススキャンボディでデジタル化し、そのデータに基づいてTiベース一体型の新しい適合確認用バー（NVB）を製作した。Sheffield試験を含む臨床診査では、10本すべてのNVBにインプラント上でのパッシブフィットが認められた（図5a、b）。

3.2. 線形偏差・角度偏差

3.2.1. 線形偏差

各データセット（IOS、VB、SVB、NVB）におけるインプラント間の線形偏差を表1に示す。IOSとVBの比較では、平均偏差が最小だったのはインプラント1-2間（14 μm ）、最大だったのは1-4間（77 μm ）であった。1-3、1-4、2-3、2-4間に統計学的有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）。IOS-VB比較では、個別の距離測定のうち4測定値で偏差が100 μm を超えた。VBとSVBのインプラント間距離を比較すると、3-4間を除くすべての距離に有意な偏差が認められた（ $P < 0.05$ 、表1）。平均偏差が最小だったのは3-4間（35 μm ）、最大だったのは歯列弓を横断する1-4間（173 μm ）であった。SVBとVBの平均偏差は、IOS-VB比較に対して1-3間を除くすべての距離で増加した。VB-SVBの距離偏差では、合計20測定値が100 μm を超えた。特に1-4間では、10測定値中8測定値が100 μm を超えた。SVBとNVBの間に有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）。平均偏差は4 μm （1-3間）から27 μm （3-4間）であり、それまでの比較より小さかった。SVB-NVBの距離偏差60測定値（10本のバー $\times$ 6距離 = 60値）のうち、100 μm を超えたのは1測定値のみであった。この外れ値は歯列弓を横断する1-3間で観察され、137 μm であった。

3.2.2. 角度偏差

各データセット（IOS、VB、SVB、NVB）におけるインプラント間の角度偏差を表2に示す。IOS-VB比較では、平均角度偏差は1-2間が最小（0.06°）、2-4間が最大（0.53°）であった。IOSとVBの平均角度に統計学的有意差が認められたのは、2-3間（ $P = 0.01$ ）と2-4間（ $P = 0.03$ ）のみであった。インプラント間角度の60測定値のうち25測定値が0.4°を超えた。VB-SVB比較でも平均角度偏差は1-2間が最小（0.02°）で、最大は1-3間（0.66°）であった。SVBをVBと比較した平均角度には、1-3間（ $P = 0.03$ ）と1-4間（ $P = 0.01$ ）で有意差が認められた。VB-SVB比較の個別測定では、インプラント間角度60測定値のうち0.4°を超えなかったのは22測定値のみであった。SVB-NVB比較の平均角度偏差は、1-4間が最小（0.02°）、3-4間が最大（0.59°）であった。NVBをIOS、VB、SVBの各データセットと比較して有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）。SVB-NVB比較の個別測定で0.4°を超える最大の角度偏差は、1-3、1-4、2-3間に認められた。

4. 考察

本前向き臨床的概念実証研究は、無歯顎上顎の4本のインプラントに支持される補綴装置の製作と修正について、IOSとリバーススキャンボディを組み込んだデジタルワークフローの実行可能性と正確さを評価した。本研究では、IOSに続いて模型を用いずにTiベースを固定した場合、補綴装置にパッシブフィットは得られなかった。しかし、切断、口腔内再連結、リバーススキャンボディを用いた技工室でのデジタル化、上部構造へのTiベースの一体化という一連の方法により、パッシブフィットが得られた。

正確さには真度と精度の両方が含まれる[11]。複数の仮想データセット間の再現性として定義される精度は臨床研究でも評価できるが、真度の評価は依然として難しい。一般に真度は参照データセットと比較して評価される。その参照データは、従来法で製作した模型を座標測定機や高精度光学スキャナーでデジタル化して作成することが多い[30]。この方法の大きな限界は、従来型模型の製作と、その後のデジタルスキャンの両段階で誤差が生じ、真度の評価をゆがめる可能性があることである。したがって、本研究の重要な強みは補綴装置を臨床的に評価した点にあり、この制約を回避し、結果を臨床実践へ直接つなげやすくした。

10本のVBを臨床試適した際、パッシブフィットが得られたものはなかった。この患者で試した特定の条件下では、初期ワークフローによってパッシブフィットを備えた剛性のある補綴装置を製作できなかった。普遍的に合意された閾値は存在しないため、2本のインプラント間の線形偏差としてよく引用される100 μm を、厳密な合否境界ではなく実用的な臨床比較の目安に用いた[31]。この目安でみると、IOS-VBの距離測定値では4値、VB-SVBでは20値が100 μm を超えていた。これは、臨床的に必要だった修正が、当初製作したバーに対して相当な位置変化を伴ったことを示す。平均偏差は、歯列弓を横断する最長距離（1-4間、173 μm ）で最大となり、個々の値は250 μm に達した。そのため、この距離の線形偏差は、システムティックレビューにまとめられた他のin vivo研究の値（162 μm ）を上回った[32]。距離が長くなるほど偏差が増えるという所見は、インプラント間距離が口腔内スキャンの正確さに影響するという既報と一致する[33]。この影響は主にin vitro研究で記述されている[34-36]が、当時一般的だったシステム（iTero v.3.5.0）を用い、下顎の2本のインプラント間距離が異なる22人を調べた臨床研究でも同様の所見が報告された[31]。無歯顎の広い領域をスキャンすると、明瞭な解剖学的目印がないため、小さな画像連結誤差が蓄積しやすいことが理由である[37]。もう一つの誤差要因として、模型を用いないTiベースの接着が考えられる。先行in vitro研究では模型を用いないワークフローで真度の低下が報告されたものの、実体模型を用いる方法と同程度の結果であった[38]。ただし、その知見は単独インプラント冠に基づく。本研究の4本のインプラントのように、補綴装置で複数本を連結する場合には、小さな偏差が積み重なり、临床上意味のある不正確さにつながりうる。ただし本研究には比較ワークフローがなく、スキャナー、スキャンボディの設計、臨床状況も各1種類のみを評価したため、これらの結果はIOS一般の限界を示すものではない。

NVBは、歯科技工用デスクトップスキャナーであらかじめデジタル化したSVBに基づいて製作した。すべてのNVBで臨床的なパッシブフィットが認められた。インプラント間距離の偏差もこれを支持し、外れ値1値（123 μm ）を除いて100 μm 未満で、平均差の最大値は27 μm にとどまった。SVBとNVBのインプラント間距離に統計学的有意差はなかった。これらの結果は、リバーススキャンボディを用い、模型なしでのTiベースの接着を避けたワークフローにより、有効な修正と補綴装置のパッシブフィットが可能となったことを示す。適合の改善は、単独の因子ではなく、修正ワークフロー全体の効果として解釈する必要がある。複数の変数を同時に変更したため、本研究が示したのは全体的な方法の実行可能性であり、主な寄与因子は特定できない。リバーススキャンボディを用いる口腔外スキャンには光学式デスクトップスキャナーを使用した。この種のスキャナーは臨床的に許容される正確さを示した一方、評価されたIOSの多くはその水準に達しなかった[24]。優れた性能の理由の一つは、デスクトップスキャナーが対象物全体を1回の取得で捉え、複数画像を連結する必要をなくすことである。また、デスクトップスキャナーは管理された環境で作動するため、口腔外で用いるIOSよりも、照明、温度、操作者の取り扱いの変化が結果に影響しにくい。一般に口腔外スキャンでは、唾液の混入や舌運動など、IOSの性能を低下させる口腔内特有の問題を避けられる[39]。NVBのパッシブフィットが良好だったもう一つの理由として、製作工程の違いが考えられる。SVBと異なり、NVBでは製作後にTiベースを接着する必要がなく、インプラント接続部を構造の一部として直接切削していた。著者らの知る限り、複数インプラントの補綴装置について、Tiベースの接着の有無による正確さを比較した先行研究はない。

インプラント間の角度偏差は、線形距離と同様の傾向を示した。IOSとSVBでは、1-3、1-4、2-3、2-4間の角度に有意な偏差が認められたが、SVBとNVBの間には有意差がなかった。IOSの真度について、インプラント間の角度が大きいと正確さが低下するかどうかは、なお議論されている[23]。ただし、多くの研究で真度への意味のある影響が報告されているのは、インプラント角度が30°を超える場合のみである[40,41]。本研究ではインプラント間のすべての角度が25°未満だったことから、観察されたIOSの不正確さに対する角度の影響は、無視できるか副次的な因子と考えられる。

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、患者1人を対象とした概念実証研究として設計されている。10回の反復スキャンと製作したバーは、単一の臨床状況における技術的反復性を特徴づけるものであり、患者間の生物学的なばらつきの代わりにはならない。そのため、インプラントの配置、角度、インプラント間距離、軟組織形態、粘膜厚、その他の解剖学的変数に関する外的妥当性は限られる。第二に、従来型印象、ハイブリッドワークフロー、写真測量などの比較ワークフローがない。そのため、提案した方法が既存技術より優れるか、同等か、劣るかは判断できない。第三に、パッシブフィットは視診、触診、Sheffield試験で評価した。これらは臨床的に意味があり一般的に用いられる一方、主観的で術者に依存する。本患者では、インプラント周囲粘膜の厚さと深さのため、直接観察できるのは主に臨床的に視認可能な部分に限られた。したがって、見えない部位や粘膜下の不適合を見落とした可能性がある。最後に、IOS、スキャンボディの種類、補綴装置の製作技術、歯科技工用スキャナーを各1種類しか使用しておらず、結果の一般化可能性がさらに制限される[42]。より幅広い臨床条件と技術的条件で結果を検証するには、患者数を増やした比較臨床試験が必要である。特に、特有の形状を持つ水平型スキャンボディは、完全無歯顎のデジタル印象の正確さを改善する可能性があるため、さらに検討する必要がある[43,44]。水平型スキャンボディは画像連結誤差のリスクを最小限にしうる。この方法は、垂直型スキャンボディや軟組織の目印を連結する技術と共通する考え方である[45,46]。ただし、閉鎖的な専用ソフトウェアシステムに組み込まれることが多く、臨床での柔軟性や広い応用を制限する可能性がある。また、写真測量は無歯顎のインプラント位置を正確に取得する点で非常に有望な結果を示し、インプラント支持補綴装置で優れた精度を提供している[47-49]。しかし、機器費用の高さ、利用環境の制限、専門的訓練の必要性が普及を妨げうる。さらに、写真測量が記録できるのはインプラント位置に限られ、周囲軟組織の形態取得にはIOSを併用する必要がある。

5. 結論

本臨床的概念実証研究では、検討した特定の条件下において、垂直型スキャンボディを用いた口腔内スキャンと模型なしでのTiベース接着を組み合わせても、無歯顎上顎の4本のインプラントに対するパッシブフィットのある補綴装置は得られなかった。同じ臨床状況で、口腔内の切断・再連結後にリバーサススキャンボディを用いて口腔外スキャンを行い、Tiベースを上部構造に一体化する工程は実行可能であり、臨床的に許容されるパッシブフィットが得られた。このデジタルアプローチは従来型印象や実体模型を不要にし、デジタルワークフローの正確さと効率を改善する実行可能な選択肢となる可能性がある。ただし、修正ワークフロー内で複数の変数を同時に変更したため、最終的なパッシブフィットに対する各工程の具体的な寄与は分離できなかった。

表1．インプラント間の測定距離 (mm) と線形偏差 (μm)

表1a．IOSとVBの比較。測定距離は平均 (標準偏差) 、平均差はμm。

インプラント間	IOS (mm)	VB (mm)	平均差 (μm)	P値
1-2	16.883 (0.012)	16.869 (0.036)	14	0.24
1-3	31.998 (0.026)	31.949 (0.039)	49	<0.01
1-4	44.141 (0.047)	44.064 (0.052)	77	<0.01
2-3	18.893 (0.013)	18.842 (0.025)	51	<0.01
3-4	26.251 (0.015)	26.235 (0.05)	16	0.36
2-4	39.815 (0.028)	39.741 (0.048)	74	<0.01

表1b．VBとSVBの比較。測定距離は平均 (標準偏差) 、平均差はμm。

インプラント間	VB (mm)	SVB (mm)	平均差 (μm)	P値
1-2	16.869 (0.036)	16.918 (0.016)	49	<0.01
1-3	31.949 (0.039)	31.9 (0.026)	49	<0.01
1-4	44.064 (0.052)	43.891 (0.029)	173	<0.01
2-3	18.842 (0.025)	18.754 (0.015)	88	<0.01
3-4	26.235 (0.05)	26.27 (0.022)	35	0.06
2-4	39.741 (0.048)	39.642 (0.021)	99	<0.01

表1c．SVBとNVBの比較。測定距離は平均 (標準偏差) 、平均差はμm。

インプラント間	SVB (mm)	NVB (mm)	平均差 (μm)	P値
1-2	16.918 (0.016)	16.931 (0.047)	13	0.43
1-3	31.9 (0.026)	31.896 (0.058)	4	0.85
1-4	43.891 (0.029)	43.886 (0.048)	5	0.77
2-3	18.754 (0.015)	18.742 (0.043)	12	0.44
3-4	26.27 (0.022)	26.297 (0.05)	27	0.15
2-4	39.642 (0.021)	39.651 (0.038)	9	0.5

略語：IOS = 口腔内スキャン、VB = 適合確認用バー、SVB = 再連結した適合確認用バー、NVB = 新しい適合確認用バー。

表2 . インプラント間角度と角度偏差 (°)

表2a . IOSとVBの比較。角度は平均 (標準偏差) 。

インプラント間	IOS (°)	VB (°)	平均差 (°)	P値
1-2	5.42 (0.21)	5.36 (0.32)	0.06	0.61
1-3	11.81 (0.24)	11.55 (0.37)	0.26	0.08
1-4	20.37 (0.42)	20.05 (0.45)	0.32	0.12
2-3	14.19 (0.18)	13.73 (0.49)	0.46	0.01
3-4	11.2 (0.23)	11.05 (0.49)	0.15	0.38
2-4	24.33 (0.32)	23.8 (0.63)	0.53	0.03

表2b . VBとSVBの比較。角度は平均 (標準偏差) 。

インプラント間	VB (°)	SVB (°)	平均差 (°)	P値
1-2	5.36 (0.32)	5.38 (0.39)	0.02	0.92
1-3	11.55 (0.37)	10.89 (0.79)	0.66	0.03
1-4	20.05 (0.45)	19.4 (0.47)	0.65	0.01
2-3	13.73 (0.49)	13.35 (0.49)	0.38	0.1
3-4	11.05 (0.49)	11.09 (0.59)	0.04	0.86
2-4	23.8 (0.63)	23.44 (0.35)	0.36	0.14

表2c . SVBとNVBの比較。角度は平均 (標準偏差) 。

インプラント間	SVB (°)	NVB (°)	平均差 (°)	P値
1-2	5.38 (0.39)	5.76 (1.38)	0.38	0.41
1-3	10.89 (0.79)	10.67 (1.55)	0.22	0.69
1-4	19.4 (0.47)	19.42 (0.95)	0.02	0.95
2-3	13.35 (0.49)	13.13 (1.26)	0.22	0.61
3-4	11.09 (0.59)	11.68 (1.64)	0.59	0.30
2-4	23.44 (0.35)	23.68 (0.68)	0.24	0.35

略語 : IOS = 口腔内スキャン、VB = 適合確認用バー、SVB = 再連結した適合確認用バー、NVB = 新しい適合確認用バー。

図注

図1 . a) 4本のインプラントにスキャンボディを取り付けた無歯顎上顎の口腔内スキャン。b) 模型を使わずにTiベースを接着した、パッシブフィットのないチタン製適合確認用バーの臨床診査と切断。c) 切断・再連結後の適合確認用バー。d) Tiベースアバットメントを一体化して新たに製作した適合確認用バー。

図2 . 適合確認用バーのインプラント部の詳細。a) 製作後、b) 模型を使わずにTiベースアバットメントを接着した後。

図3 . インプラント1、2、3、4の間で評価した距離と角度の模式図。

図4 . Sheffield試験中に、最遠心のインプラント部で適合確認用バーを臨床評価した。10本すべてのバーでインプラントショルダーとの間に目視できる隙間が認められる (パッシブフィットなし) 。

図5 . Sheffield試験中の、最遠心インプラント部におけるバーの適合の臨床比較。a) 適合確認用バーには目視できる隙間があり、パッシブフィットがない。b) 新たに製作したバーには目視できる隙間がなく、パッシブフィットが得られている。

謝辞

著者らは、本研究への協力と貴重な貢献についてChristian Hannkerに感謝する。

利益相反・研究支援

本研究はSwiss Society of Reconstructive DentistryおよびInstitut Straumann AGから支援を受けた。著者らは利益相反がないと申告している。

著者所属・連絡先

Aiste Kernén-Gintaute : 所属a、b。Mykolas Akulauskas : 所属c。Florian Kernén : 所属d。Nicola Ursula Zitzmann : 所属b。Benedikt Christopher Spies、Felix Burkhardt : 所属a。

所属a : フライブルク大学医学部、同大学医療センター、歯科医療センター、補綴歯科部門 (フライブルク、ドイツ) 。所属b : バーゼル大学歯科医療センター、再建歯科部門 (バーゼル、スイス) 。所属c : カウナス工科大学、生体医工学研究所 (カウナス、リトアニア) 。所属d : フライブルク大学医学部、同大学医療センター、口腔顎顔面外科・トランスレーショナルインプラント学部門 (フライブルク、ドイツ) 。

責任著者 : Aiste Kernén-Gintaute。Department of Prosthetic Dentistry, Center for Dental Medicine, Medical Center-University of Freiburg, Faculty of Medicine, University of Freiburg, Hugstetter Str. 55, Freiburg, 79106, Germany。原著記載の連絡先 : aiste.kernen@uniklinik-freiburg.de。

参考文献 (原文書誌情報)

1. Rübeling G. New techniques in spark erosion: The solution to an accurately fitting screw-retained implant restoration. Quintessence Int. 1999;30:38-48. PMID:10323157
2. Abdou J,Bennani V,Waddell N,Lyons K,Swain M. Assessing the fit of implant fixed prostheses: A critical review. Int J Oral Maxillofac Implants. 2010;25:506-15. PMID:20556249

3. Katsoulis J,Takeichi T,Sol Gaviria A,Peter L,Katsoulis K. Misfit of implant prostheses and its impact on clinical outcomes. Definition, assessment and a systematic review of the literature. *Eur J Oral Implantology*. 2017;10(suppl 1):121-38. PMID:28944373
4. Jemt T,Book K. Prosthesis misfit and marginal bone loss in edentulous implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1996;11:620-5. PMID:8908860
5. Kallus T,Bessing C. Loose gold screws frequently occur in full-arch fixed prostheses supported by osseointegrated implants after 5 years. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1994;9:169-78. PMID:8206552
6. Papaspyridakos P,Vazouras K,Chen Y,Kotina E,Natto Z,Kang K,et al. Digital vs conventional implant impressions: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont*. 2020;29:660-78. <https://doi.org/10.1111/jopr.13211> PMID:32613641
7. Arroyo-Cruz G,Orozco-Varo A,Domínguez-Cardoso P,Jiménez-Castellanos E. A comparison of the passive fit of a 3-unit implant-supported fixed partial denture fabricated by lost-wax casting, milling soft metal blocks, or direct metal laser sintering: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2022;128:1055-60. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.019> PMID:33814097
8. Sorrentino R,Gherlone EF,Calesini G,Zarone F. Effect of implant angulation, connection length, and impression material on the dimensional accuracy of implant impressions: An in vitro comparative study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2010;12(suppl 1):e63-76. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2009.00167.x> PMID:19438937
9. Harfagar G,Solis S,Hernandez M,Fehmer V,Sailer I,Azevedo L. Trueness and passivity of digital and conventional implant impressions in edentulous jaws: A prospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2025;27:e70022. <https://doi.org/10.1111/cid.70022> PMID:40197697
10. Kernen-Gintaute A,Akulauskas M,Kernen F,Zitzmann NU,Spies BC,Burkhardt F. Accuracy of digital and conventional implant impressions in edentulous jaws: A clinical comparative study. *J Dent*. 2025;153:105559. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105559> PMID:39761905
11. International Organization for Standardization. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions (ISO 5725-1:2023). Geneva: ISO; 2023.
12. Kapos T,Evans C. CAD/CAM technology for implant abutments, crowns, and superstructures. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29(suppl):117-36. <https://doi.org/10.11607/jomi.2014suppl.g2.3> PMID:24660194
13. Molinero-Mourelle P,Fonseca M,Grossen ME,Zuercher AN,Schimmel M,Katsoulis J. Clinical and radiographic evaluation of zirconia bars for mandibular implant overdentures: A prospective cohort study with up to 3 years of follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2025;27:e70066. <https://doi.org/10.1111/cid.70066> PMID:40709726
14. Rutkunas V,Gedrimiene A,Adaskevicius R,Al-Haj Husain N,Özcan M. Comparison of the clinical accuracy of digital and conventional dental implant impressions. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2020;28:173-81. PMID:32673469
15. Hamilton A,Negreiros WM,Jain S,Finkelman M,Gallucci GO. Influence of scanning protocol on the accuracy of complete-arch digital implant scans: An in vitro study. *Clin Oral Implants Res*. 2024;35:641-51. <https://doi.org/10.1111/clr.14259> PMID:38567801
16. Wulfman C,Naveau A,Rignon-Bret C. Digital scanning for complete-arch implant-supported restorations: A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2020;124:161-7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.06.014> PMID:31757443
17. Alfaraj A,Alqudaihi F,Khurshid Z,Qadiri O,Lin WS. Comparative analyses of accuracy between digital and conventional impressions for complete-arch implant-supported fixed dental prostheses-A systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont*. 2026;35:252-74. <https://doi.org/10.1111/jopr.14094> PMID:40660725
18. Kernen FR,Recca M,Vach K,Nahles S,Nelson K,Flügge TV. In vitro scanning accuracy using different aids for multiple implants in the edentulous arch. *Clin Oral Implants Res*. 2022;33:1010-20. <https://doi.org/10.1111/clr.13982> PMID:35861128
19. Revilla-León M,Cascos R,Barmak AB,Kois JC,Gómez-Polo M. Accuracy of a complete arch noncalibrated splinting implant scanning technique with a palatal orientation recorded by using different intraoral scanners. *J Prosthet Dent*. 2026;135:109-17. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.02.020> PMID:40090801
20. Paratelli A,Vania S,Gómez-Polo C,Ortega R,Revilla-León M,Gómez-Polo M. Techniques to improve the accuracy of complete arch implant intraoral digital scans: A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2023;129:844-54. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.08.018> PMID:34756427
21. Eldin BSG,Talaat IA,Nawar NHH,Mohamed AMA. Effect of different fabrication workflows on the passive fit of screw-retained bar splinting two interforaminal implants: A parallel blinded randomised clinical trial. *BMC Oral Health*. 2024;24:410. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04157-1> PMID:38566034
22. Papaspyridakos P,Vazouras K,Gotsis S,Bokhary A,Sicilia E,Kudara Y,et al. Complete digital workflow for prosthesis prototype fabrication with double digital scanning: A retrospective study with 45 edentulous jaws. *J Prosthodont*. 2023;32:571-8. <https://doi.org/10.1111/jopr.13630> PMID:36527731

23. Papaspyridakos P,Castellanos L,Bedrossian EA,Romeo D,Kudara Y,Chochlidakis K. Reverse scan body: complete digital workflow for double full-arch zirconia prostheses. *J Prosthodont.* 2026;35:610-4. <https://doi.org/10.1111/jopr.13921> PMID:39109512
24. Nuytens P,Vandeweghe S,D'haese R. Accuracy of a chairside reverse scanbody workflow for a complete arch implant-supported prosthesis using four intraoral scanners versus a desktop scanner. *J Dent.* 2023;138:104717. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104717> PMID:37739058
25. Papaspyridakos P,Bedrossian A,Kudara Y,Ntovas P,Bokhary A,Chochlidakis K. Reverse scan body: A complete digital workflow for prosthesis prototype fabrication. *J Prosthodont.* 2023;32:452-7. <https://doi.org/10.1111/jopr.13664> PMID:36779654
26. Papaspyridakos P,Bedrossian EA,Ntovas P,Kudara Y,Bokhary A,Chochlidakis K. Reverse scan body: the scan pattern affects the fit of complete-arch prototype prostheses. *J Prosthodont.* 2023;32(suppl 2):186-91. <https://doi.org/10.1111/jopr.13772> PMID:37721306
27. Nguyen PN,Tran LH,Hoang V. Full-arch implant-supported rehabilitation using reverse scan technique: A case report. *J Oral Implantol.* 2025;51:74-9. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-24-00083> PMID:39776204
28. Rutkunas V,Gedrimiene A,Akulauskas M,Fehmer V,Sailer I,Jegelevicius D. In vitro and in vivo accuracy of full-arch digital implant impressions. *Clin Oral Implants Res.* 2021;32:1444-54. <https://doi.org/10.1111/clr.13844> PMID:34543478
29. Gintaute A,Papatriantafyllou N,Aljehani M,Att W. Accuracy of computerized and conventional impression-making procedures for multiple straight and tilted dental implants. *Int J Esthet Dent.* 2018;13:550-65. PMID:30302442
30. Papaspyridakos P,De Souza A,Finkelman M,Sicilia E,Gotsis S,Chen Y,et al. Digital vs conventional full-arch implant impressions: A retrospective analysis of 36 edentulous jaws. *J Prosthodont.* 2023;32:325-30. <https://doi.org/10.1111/jopr.13536> PMID:35524647
31. 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. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.07.010> PMID:24210732
32. Vygandas R,Agne G,Ingrida M,Eitan M,Sandra H. EPA consensus project paper: Accuracy of photogrammetry devices, intraoral scanners, and conventional techniques for the full-arch implant impressions: A systematic review. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2023;31:1-10. https://doi.org/10.1922/ejprd_2481rutkunas12
33. Revilla-León M,Lanis A,Yilmaz B,Kois JC,Gallucci GO. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. *J Prosthodont.* 2023;32(suppl 2):150-64. <https://doi.org/10.1111/jopr.13749> PMID:37586762
34. Sequeira V,Harper MT,Lilly CL,Bryington MS. Accuracy of digital impressions at varying implant depths: An in vitro study. *J Prosthodont.* 2023;32:54-61. <https://doi.org/10.1111/jopr.13496> PMID:35191128
35. Tan M,Yee S,Wong K,Tan Y,Tan K. Comparison of three-dimensional accuracy of digital and conventional implant impressions: Effect of interimplant distance in an edentulous arch. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34:366-80. <https://doi.org/10.11607/jomi.6855> PMID:30521661
36. Gómez-Polo M,Ortega R,Sallorenzo A,Agustín-Panadero R,Barmak AB,Kois JC,et al. Influence of the surface humidity, implant angulation, and interimplant distance on the accuracy and scanning time of complete-arch implant scans. *J Dent.* 2022;127:104307. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104307> PMID:36162637
37. Rasaie V,Abduo J,Hashemi S. Accuracy of intraoral scanners for recording the denture bearing areas: A systematic review. *J Prosthodont.* 2021;30:520-39. <https://doi.org/10.1111/jopr.13345> PMID:33554361
38. Mahler L,Abou-Ayash S,Schimmel M,Yilmaz B,Fonseca M. Positional trueness with different titanium base bonding techniques for single implant crowns: in vitro evaluation of model-free workflow versus additively manufactured models. *Int J Prosthodont.* 2024;37:S265-73. <https://doi.org/10.11607/ijp.8896> PMID:38787591
39. Tawfik MHA,EL Torky IR,El Sheikh MM. Effect of saliva on accuracy of digital dental implant transfer using two different materials of intraoral scan bodies with different exposed lengths. *BMC Oral Health.* 2024;24:1428. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05199-1> PMID:39580420
40. Lin WS,Harris B,Elathamna E,Abdel-Azim T,Morton D. Effect of implant divergence on the accuracy of definitive casts created from traditional and digital implant-level impressions: An in vitro comparative study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015;30:102-9. <https://doi.org/10.11607/jomi.3592> PMID:25615919
41. Arcuri L,Pozzi A,Lio F,Rompen E,Zechner W,Nardi A. Influence of implant scanbody material, position and operator on the accuracy of digital impression for complete-arch: A randomized in vitro trial. *J Prosthodont Res.* 2020;64:128-36. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.06.001> PMID:31255546
42. Gómez-Polo M,Álvarez F,Ortega R,Gómez-Polo C,Barmak AB,Kois JC,et al. Influence of the implant scan body bevel location, implant angulation and position on intraoral scanning accuracy: An in vitro study. *J Dent.* 2022;121:104122. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104122> PMID:35395345

43. Klein M,Tuminelli FJ,Sallustio A,Giglio GD,Lerner H,Berg RW,et al. Full-arch restoration with the NEXUS IOS® system: A retrospective clinical evaluation of 37 restorations after a one year of follow-up. J Dent. 2023;139:104741.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104741> PMID:37832627
44. Azevedo L,Laureti A,Marques T,Pitta J,Fehmer V,Pozzi A,et al. Effect of horizontal and vertical intraoral scan bodies on the trueness of complete-arch digital implant impressions: A comparative in vitro study with six implants. Clin Oral Implants Res. 2025;36:1136-45.
<https://doi.org/10.1111/clr.14463> PMID:40497690
45. Ali K,Alzaid AA,Suprono MS,Garbacea A,Savignano R,Kattadiyil MT. Evaluating the effects of splinting implant scan bodies intraorally on the trueness of complete arch digital scans: A clinical study. J Prosthet Dent. 2024;132:781.e1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.03.004> PMID:38594088
46. Rutkūnas V,Gedrimienė A,Al-Haj Husain N,Pletkus J,Barauskis D,Jegelevičius D,et al. Effect of additional reference objects on accuracy of five intraoral scanners in partially and completely edentulous jaws: An in vitro study. J Prosthet Dent. 2023;130:111-8.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.09.032> PMID:34799084
47. Ma B,Yue X,Sun Y,Peng L,Geng W. Accuracy of photogrammetry, intraoral scanning, and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: An in vitro comparative study. BMC Oral Health. 2021;21:636.
<https://doi.org/10.1186/s12903-021-02005-0> PMID:34893053
48. Cheng J,Zhang H,Liu H,Li J,Wang HL,Tao X. Accuracy of edentulous full-arch implant impression: An in vitro comparison between conventional impression, intraoral scan with and without splinting, and photogrammetry. Clin Oral Implants Res. 2024;35:560-72.
<https://doi.org/10.1111/clr.14252> PMID:38421115
49. Revilla-León M,Gómez-Polo M,Drone M,Barmak AB,Att W,Kois JC,et al. Influence of implant reference on the scanning accuracy of complete arch implant scans captured by using a photogrammetry system. J Prosthet Dent. 2025;133:252-7.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.01.008> PMID:38267350

原著・翻訳情報

PMID : 42732953 | DOI : 10.2186/jpr.jpr_d_26_00083

原文確認資料 : https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpr/advpub/0/advpub_JPR_D_26_00083/_pdf

原著公開日 : 2026-09-14 | 翻訳日 : 2026-09-17

主文・全2表・全5図注の日本語訳 (原図・図中文字・補足資料は原著参照)

原著・翻訳の利用条件 : CC BY-NC 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> 商用利用は許諾対象外です。

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。