

鶴見大学大学院歯学研究科博士学位論文

内容の要旨および審査の結果の要旨

氏名(本籍) 吉留五喜(鹿児島県)
博士の専攻分野 博士(歯学)
学位記番号 甲第513号
学位授与年月日 令和3年3月14日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
研究科専攻 鶴見大学大学院歯学研究科
(博士課程) 歯学専攻
学位論文題目 Trueness and fitting accuracy of maxillary 3D printed complete dentures
(3Dプリントにより製作した全部床義歯の真度と適合精度)
Journal of Prosthodontic Research 第65巻 第4号 559頁～564頁掲載 2021年5月11日発行
論文審査委員 主査教授 小川 匠
副査教授 山本雄嗣 副査教授 大久保力廣

内容の要旨

【概要】

近年、歯科分野において、サージカルガイド、固定性補綴装置、可撤性補綴装置の製作に、CAD/CAM (Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing) 技術が応用されてきている。CAD/CAMには臨床手順の簡略化、患者負担の軽減、医療廃棄物の削減、高品質な補綴装置の製作など、多くの利点があげられる。中でも全部床義歯は、高精度と機械的強度の向上を目的に、高強度ポリメチルメタクリレートブロックからのミリング加工が先行されてきた。ミリングにより製作された義歯は重合による変形がなく、義歯の厚みや形状、材質の影響も受けにくく、患者や担当医の満足度が高いことも報告されている。一方、最近では全部床義歯の製作に液体光重合レジン材料を用いた3Dプリンティング(3DP)システムが導入されている。3DPは、複雑な形状を無制限に造形できるため、全部床義歯の製作には有益な方法と考えられている。現在、主流となっている3DPシステムは、液状樹脂のプールに紫外線(UV)を照射することで、樹脂材料をモデルや支持体の形状に合わせて層ごとに硬化させていくものであり、ステレオリソグラフィ(SLA)とデジタルライトプロセッシング(DLP)の2つのシステムが市販されている。樹脂を硬化させるために、SLAではLEDレーザー光を走査させて照射し、DLPではLEDプロジェクターを用いて表面に紫外線を1層ずつ照射する。しかし、全部床義歯の印刷にどちらのシステムが適しているかは、精度や再現性の観点から明らかにされていない。本研究の目的は、ミリング技術と3Dプリント技術を用いて製作した上顎全部床義歯表面形状の真度と適合精度を従来の製作法と比較して評価することである。また、支持構造の角度やSLAおよびDLPを用いた3Dプリンタの違いが全部床義歯の真度と適合精度に及ぼす影響を*in vitro*で検討した。

【材料と方法】

本研究では、アンダーカットのない上顎無歯顎模型を使用し、基礎床は従来の手順に従って、模型上で即時重合レジンを用いて圧接、製作した。基礎床の粘膜面と研磨面をスキャンし、これらのSTLデータをCADソフトウェアで合成して仮想義歯床の形状データを作成した。このSTLデータを基にPMMAディスクと5軸切削加工機を用いたミリング義歯床と流し込みレジンを使用して製作した従来法義歯床を比較試料として製作した。3DPではSLA方式のZENITH UとForm 2、DLP方式のcaraの3台の3Dプリンタを使用し、サポート角度を45°にして義歯床の3Dプリンティングを行なった。さらに、3DPの異方性についての検討を行うために、8つの造形角度(0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)を設計した。義歯床はそれぞれの条件で各5個ずつ、計70個製作した。

測定は義歯床粘膜面をスキャンし、石膏の粘膜面とコンピュータ上で重ね合わせ、真度と適合精度について評価した。異

方性の研究についてはさらに口蓋、顎堤、義歯床辺縁の3つの領域に分割して真度と適合精度の評価を行なった。すべてのデータは、有意水準0.05% ($p < 0.05$) で一元分散分析 (ANOVA) および Tukey の多重比較検定によって統計解析した。

【結 果】

真度を評価するために、色分けされた三次元表面偏差マップを用いて、許容範囲内のデータを緑色 ($\pm 100 \mu\text{m}$) で表示し、正の偏差と負の偏差を青から赤までチャート化した。加工法の中ではミリングが最も高い真度と適合精度を示し ($p < 0.05$)、従来法と3DPでは真度に大きな差はないものの、3DPの方が適合精度は良好であった。3種類の3Dプリンタの中ではZENITH Uが真度と適合精度ともに良好な結果を示した。8つの造形角度に関して分析した結果、義歯床全体では、45°と225°が最も優れた真度を示し、0°と180°の真度は有意に劣っていた ($p < 0.05$)。口蓋部では義歯床全体の結果と同様に225°と45°が最も優れた真度を示したが、義歯床辺縁では270°が最も真度が高く、顎堤では225°で最も真度が高かった。

【考 察】

本研究では、すべての義歯床製法の中でミリングの真度と適合精度が最も優れていることが確認され、3DP法と従来法ではほぼ同等の真度が得られたが、45°のSLA法で製作した義歯床はヒューマンエラーの影響を受けにくいいため、従来法の義歯床よりも適合精度は良好であった。真度と適合精度の観点から将来的に、従来法に代わってCAD/CAM製作が義歯製作の主流になる可能性が示唆された。本研究ではcara (DLP) が最も劣った真度を示した。一般に、3Dプリントの精度はサポート、造形ピッチおよびいくつかのパラメータの影響を受けるとされている。本研究では、3台の異なる3Dプリンタに対応するために、同じCADソフトウェアで設計された同一のサポート構造で造形したことから、それぞれのプリンタに最適な造形デザインを採用していない。今後は各プリンタで理想的なパラメータを設定し検討する必要がある。適切なパラメータ、デザイン、サポートの位置と角度の評価については、さらなる研究が必要である。

義歯床を45°傾斜させ、研磨面に支持構造を付与して製作された225°の義歯床が最高の真度を示した。基本的に造形角度が変更されると、造形の開始点も変化する。造形物を造形台と平行に設計した場合には、義歯床の凹凸形状により印刷開始点も多くなり、最終的には義歯床の口蓋領域で多方面から印刷された樹脂が融合することになる。反対に、45°と225°の場合には印刷開始点が少ないことから、印刷された樹脂は同方向に進展するだけとなる。したがって、造形角度が同じであっても、印刷開始点の数や位置が異なる場合には、真度に差が生じる可能性があり、印刷された樹脂の重なり状況や分布によっても、機械的強度に影響することが考えられる。

【結 論】

ミリングされた義歯床は、すべての製造方法の中で最高の真度と適合精度を示した。3DPは従来法と比較して真度はほぼ同等であったが、適合精度は優れていた。支持構造、ビルドピッチ、その他のパラメータが適合精度に影響を与えるが、3DPプロセスが単一の印刷開始点となるように、義歯床を45°で傾斜させ3Dプリンティングすることが推奨される。これらの結果から、SLAを使用して45°の傾斜で製作された全部床義歯は、臨床的に十分許容される適合精度を有しており、全部床義歯の製法として3DPを応用することの有効性が示唆された。

審査の結果の要旨

歯科分野では、近年CAD/CAM (Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing) 技術が導入されている。なかでも、全部床義歯 (CD) は、高精度で機械的強度が高いミリング技術を用いて製作されてきた。加えて、最近では液体光重合レジン材料と3Dプリンティング (3DP) システムが導入され、その製作特性から複雑な形状を造形できるため、CDの製作に有益な方法であると考えられている。

本研究の目的は、ミリング技術と3Dプリント技術を用いて製作した上顎CDの組織表面の真度と精度を従来の製作と比較して評価することであった。また、支持構造の角度を構築するためのステレオリソグラフィ (SLA) およびデジタルライトプロセッシング (DLP) 3Dプリンタの違いがCDの真度と精度に及ぼす影響を *in vitro* で検討した。

本研究では、上顎無歯顎模型を使用し、従来の手順により模型上で即時重合レジンを用いて義歯床を製作した。製作した義歯床の3次元形態データを取得後、CADソフトウェアにて仮想義歯床を作成した。このデータを基に5軸ミリング装置、並びに3種類の積層造形装置 (SLA方式のZENITH UとForm 2, DLP方式のcara) を用いて各々5個義歯床を製作した。また、3Dプリンタの異方性についての検討として8つの造形角度 (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) にて造形を行った。製作した全ての義歯床の3次元再構築画像を製作し、真度とフィッティング精度について評価を行なった。すべてのデータは、有意水準0.05 ($p < 0.05$) で一元分散分析 (ANOVA) および Tukey の多重比較検定によって統計的に分析した。

本研究では、すべての義歯床の中でミリング法の適合精度が最も優れていることが確認され、3DP法と従来法では同等の真度が得られた。特に、45°のSLA法で製作した義歯床はヒューマンエラーの影響を受けにくいいため、従来の義歯床よりも精度が良好であった。今後、従来法に代わってCAD/CAM製作が義歯製作の主流になる可能性があることが証明された。

以上、本研究の3Dプリントにより製作した全部床義歯の適合精度は、材料学的、臨床的見地からも優れており、今後の歯科臨床に大いに寄与するものと考えられる。よって、本論文は博士（歯学）の学位請求論文として十分な価値を有すると判定した。