

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) 高橋和也(宮城県)
博士の専攻分野 博士(歯学)
学位記番号 甲第506号
学位授与年月日 令和2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 Fitness accuracy and retentive forces of additive manufactured titanium clasp
(積層造形で製作したチタンクラスプの適合性と維持力)
Journal of Prosthodontics Research 第64巻 第4号 468頁～477頁掲載 2020年2月13日発行
論文審査委員 主査 教授 早川 徹
副査 教授 山本雄嗣 副査 教授 大久保力廣

内容の要旨

【緒言】

チタンは優れた生体適合性、機械的性質および耐食性を有することから、現在、整形外科領域や歯科領域において幅広く臨床応用されている。特に有床義歯分野においては鋳造加工されたチタンフレームワークが使用されている。しかし、融点が高い、酸化しやすい、埋没材との反応層を形成する等の性質も併せ持っていることから鋳造は困難であり安定供給を妨げていた。近年、チタン製補綴装置の新たな製法としてCAD/CAM技術を応用したレーザー焼結積層造形加工が注目されている。

本法はクラスプなどのアンダーカットを伴う複雑な立体形状の造形に適しているが、積層造形によって製作されたチタンクラスプの適合性や維持力、耐久性に関する報告はほとんどない。そこで、積層造形法により製作したチタンクラスプの臨床応用を目的とし、適合性や維持力に関して実験的検討を行った。

【材料と方法】

試料片の製作

実験には大白歯を想定し、曲率半径7.5mmの18-8ステンレス鋼製金型を用いた。模型スキャナー(Dental Wings7シリーズ, Dental Wings, Montreal)を使用して金型支台歯をスキャン後、CAD(DWOS Partial Frameworks, Dental Wings, Montreal)上でエーカークラスプを設計した。使用した金属は2種純チタン(CPTi; T-alloy M, GC, 東京)、Ti-6Al-4V合金(Ti64; 64 titanium billet, Toho Tec., 茅ヶ崎)、Ti-6Al-7Nb合金(Ti67; T-alloy Tough, GC)の3種類とした。切削加工機(DWX-51, Roland, Tokyo)を用いてCADデザインからワックスパターンを製作し、通法のロストワックス法による鋳造によりエーカークラスプを製作した(以下, CAST)。積層造形(以下, AM)では、CPTiとTi64には金属積層造形機(EOSINT M290, EOS社製, 独)を、Ti67には金属粉末造形器(LUMIX Acance25, Matsuura, 福井)を使用してエーカークラスプを製作した。試料は各条件につき5個ずつ製作した。

非破壊的検査

各種測定の前には放射線検査装置(inspeXio SMX-225CT, Shimadzu, 京都)を使用して全試料における内部欠陥の形状と分布を観察し、電子線マイクロアナライザー(EPMA, JXA-8900RL, JEOL, 東京)を使用し面分析を行った。

表面粗さの測定

クラスプのレスト部と金型支台歯のレスト部に対して、非接触式三次元測定装置(NH-3N, 三鷹光器, 東京)を用い、測

定ピッチ 5 μm , 距離 2 mm, カットオフ値 0.8 μm にて表面粗さを測定した.

適合試験

全てのクラスプに対して, ホワイトシリコーン (フィットチェッカー, GC) を用いて適合試験を行い, ブラックシリコーン (バイトチェッカー, GC) にて裏打ちした. 2つの印象材を一塊としてクラスプより撤去し, クラスプと金型との間隙量を万能投影機 (X50 : V-16E, Nikon, 東京) により測定した. 計測部位は鉤先端から 0.5 mm (鉤尖), 12.0 mm (鉤腕), レストの 3 部位を選択した.

維持力の測定

万能試験機 (EZ-S-200N, Shimadzu, 京都) を用いてクロスヘッドスピード 50 mm/min にて引張試験を行った. 各試料につき 15 回ずつ測定し, クラスプと金型の離脱に要した最大荷重の平均値を各試料の初期維持力とした. また初期維持力を測定後, 繰り返し着脱試験器 (JM-100T, 日本メック社製, 東京) にて 37°C の水中下で, 10,000 回まで着脱を繰り返し, 維持力の変化を 1,000 回毎に測定した.

統計解析

得られた結果は, 統計解析ソフト (SPSS Statistics 20, IBM, Chicago), (R Foundation for Statistical Computing, Vienna) を用いて一元配置分散分析および Wilcoxon 符号付き順位検定と Steel-Dwass 検定を行った.

【結果と考察】

非破壊的検査

CAST クラスプ内には AM クラスプより有意に大きな内部欠陥を認めたが ($P < 0.05$), 3 種 AM クラスプ間において有意差は認められなかった. マイクロ CT 像では CAST クラスプに不規則形状の内部欠陥が観察された.

面分析においては, AM クラスプでは構成元素のみが観察されたのに対し, CAST クラスプでは構成元素だけでなく, 酸化や埋没材由来の O, Si, Mg, P などの微量元素が確認された.

表面粗さ

CAST クラスプと比較し AM クラスプの表面は粗造であり, 維持力測定前と 10,000 回着脱後の表面粗さに有意差は認められなかった ($P < 0.05$). AM-Ti67 クラスプの表面が他の試料と比較し最も粗造であった (約 $Ra12 \mu\text{m}$).

適合試験

部位別での適合性では, クラスプ鉤尖部が鉤腕部とレスト部に比較して最も良好な適合を示した. 維持力測定前と 10,000 回後の適合性を比較すると, レスト部と鉤腕部で有意差は認められなかったが, 鉤尖部の適合は不良となっていた ($P < 0.05$).

初期維持力

すべてのクラスプは 5.0 ~ 7.2 N と一定の初期維持力を示したが, Ti67 は CAST, AM と他のクラスプと比較して有意に大きい初期維持力 (約 7.16 N) を示した ($P < 0.05$).

着脱回数の増加に伴う維持力の変化

すべてのクラスプは着脱回数の増加により維持力は減少したが, AM-Ti64 (18.2%) が最も低い減衰率を示した. すべてのクラスプの維持力は着脱試験前と 10,000 万回後の間に有意差が認められた ($P < 0.05$). AM-Ti64 と AM-Ti67 は, 他のクラスプと比較して維持力の減衰が有意に小さかった ($P < 0.05$).

【結 論】

AM を用いてチタンクラスプを製作し, 非破壊検査, 適合性, 表面粗さ, 初期維持力と維持力の耐久性に関して実験的検討を行い, 以下の結論を得た.

1. AM クラスプにはほとんど内部欠陥が認められなかった.
2. CAST クラスプの表面は AM クラスプより滑らかとなる傾向が認められた.
3. AM クラスプの鉤腕と鉤尖部の適合性は CAST クラスプよりわずかに劣っていたが, レスト部は優れた適合性を示した.
4. 全てのクラスプは 5 ~ 7 N の初期維持力を示したが, CAST-Ti67 と AM-Ti64 が最も大きな値を示した.
5. 10,000 万回までの繰り返し着脱により維持力は減衰したが, 全てのクラスプに破折は認められなかった.
6. AM クラスプは CAST クラスプに比較して維持力減衰率が小さく, 特に AM-Ti64 が最も小さな減衰率を示した.

以上のことより, 積層造形によって製作したチタンクラスプは鋳造加工と比較して, ほぼ同等の適合精度と優れた維持力を有し, 内部欠陥を認めなかったことから, 均質なフレームワークの製作と臨床応用が可能であり, 長期使用に耐えることが示唆された.

審査の結果の要旨

近年、チタン製補綴装置の新たな製法として積層造形による加工法が注目されている。今まで、積層造形によって製作されたチタンクラスプの適合性や維持力、耐久性に関する報告はほとんどない。本研究では、積層造形法により製作したチタンクラスプの臨床応用を目的とし、適合性や維持力に関しての実験的検討を行った。

模型スキャナーを使用して金型支台歯をスキャン後、CAD上でエーカースクラスプ（クラスプ）を設計した後、2種純チタン、Ti-6Al-4V合金（Ti64）、Ti-6Al-7Nb合金（Ti67）の3種類の金属を用いて、積層造形（AM）法にてクラスプを製作した。鋳造（CAST）法にて製作したクラスプを比較対照とした。

製作したクラスプの内部欠陥の観察、組成分析および表面粗さを測定した。さらに、クラスプの適合性試験、維持力の測定を行った。クラスプと金型の離脱に要した最大荷重の平均値を各試料の初期維持力とした。また初期維持力を測定後、37℃の水中下で10,000回まで着脱を繰り返した後の維持力の変化を1,000回毎に測定した。

その結果、CASTクラスプ内にはAMクラスプより有意に大きな内部欠陥が認められた。組成分析においては、AMクラスプでは構成元素のみが観察されたのに対し、CASTクラスプでは酸化物や埋没材由来の微量元素も確認された。CASTクラスプと比較しAMクラスプの表面は粗造であり、AM法によるTi67クラスプの表面が他の試料と比較して最も粗造であった。適合性を部位別にみると、クラスプ鉤尖部が鉤腕部とレスト部に比較して最も良好な適合性を示した。維持力測定前と10,000回後の適合性を比較すると、レスト部と鉤腕部で有意差は認められなかったが、鉤尖部の適合性は不良であった。初期維持力を測定した結果、Ti67はCAST、AM法とも他のクラスプと比較して有意に大きい初期維持力を示した。着脱回数の増加に伴い全てのクラスプで維持力は減少したが、AM法によるTi64が最も低い減衰率を示した。また、AM法によるTi64とTi67は、他のクラスプと比較して維持力の減衰が有意に小さかった。

以上、本研究では積層造形法で製作したエーカースクラスプが内部欠陥を有せず、良好な適合性と優れた維持力を有することを明確にすることができ、積層造形法の臨床応用への可能性を提示することができた。これらの結果は、積層造形法を用いた補綴臨床の発展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ものと判定した。