

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 丸尾 亮太
博士の専攻分野 博士(歯学)
学位記番号 甲第 518 号
学位授与年月日 令和 4 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 milled titanium clasp
(切削加工により製作したチタンクラスプの適合性と維持力)
Dental Materials Journal 第 41 巻 第 3 号 414 頁～ 420 頁掲載 2022 年 6 月発行
論文審査委員 主査 教授 小川 匠
副査 教授 友成 博 副査 教授 大久保力廣

内容の要旨

【目的】

チタンは生体親和性に優れる一方、純チタンを補綴装置として利用するために、機械的強度の向上を目的とした合金化が検討された。同様に、純チタンでありながら機械的強度を増大させた多軸鍛造チタン (MDF) が開発され、臨床応用への期待が高まっている。そこで本研究では、MDF チタンを含む切削加工チタンクラスプを評価した。

【材料と方法】

・ 標本作成

クラスプ試料を製作するにあたり、支台歯模型として大白歯を想定した 18-8 ステンレス鋼製の金型を製作した。これを 3D スキャナーにてスキャンし、3次元形状データから CAD ソフトを用いて金型データに適合するように、クラスプを設計し、STL データを得た。クラスプ試料は鉤腕の 1/2 からアンダーカット領域に入るエーカーズクラスプとした。材料には純チタン 2 種 (CP2)、純チタン 4 種 (CP4)、Ti-6Al-4V、MDF を使用し切削加工にて加工した。比較対象として鋳造法による純チタン 2 種の試料を用意した。鋳造試料は切削加工に用いた STL データと同じ形状データを使用して、ワックスパターンを切削加工し、鋳造製作した。鋳造したクラスプ試料の内面調整は、バリの除去等は経験年数 20 年以上の歯科技工士 1 名が行い、最終的にはサンドブラスト処理まで行った。試料はそれぞれ 5 個ずつ、合計 25 個製作した。

・ 非破壊試験

実験前に完成したクラスプ試料を X 線 115 kV、70 mA の放射線検査装置にて内部構造を観察した。得られた画像は画像処理ソフトウェアにて処理した。

・ 表面粗さ

表面粗さは非接触三次元測定装置にてクラスプ内面の 10 か所を測定し、平均値を求めた。測定ピッチは 5 μm 、距離は 2 mm、カットオフは 0.8 とした。

・ 適合性

適合性は先行研究で実施されたクラスプとステンレスの金型の間隙を、シリコーン印象材を用いて記録する方法を採用した。混和した白色のシリコーン印象材をクラスプ内面に塗布後、金型に装着し 1.0 kg の荷重をかけた状態で 3 分間保持した。クラスプを金型から取り外した後に、黒色のシリコーン印象材を注入、硬化後にシリコーン印象材を一塊として取り出した。このシリコーン印象材の塊を鉤尖、鉤肩、レストの 3 か所で切断し断面のクラスプと金型の間隙を適合性として計測した。

測定は繰り返し着脱試験の前と後で行い、着脱による変化も観察した。

・初期維持力

維持力の測定は引張試験装置を用いた。金属金型とクラスプ試料はそれぞれ治具を用いて試験装置に固定した。引張試験はクロスヘッドスピード 50 mm/min とし、金属金型からクラスプ試料を取り外すのに必要な最大荷重を維持力として測定した。繰り返し着脱試験前に維持力を 10 回測定し、その平均を初期維持力として計測した。

・維持力の変化

初期維持力を測定した後、部分床義歯の繰り返しの着脱を再現するため、繰り返し着脱試験機にて 10,000 回まで着脱を繰り返し、1,000 回ごとに維持力を測定した。繰り返し着脱試験は、口腔内を想定し 37℃ の水中下で行い、クロスヘッドスピードは 950 mm/min とした。維持力の測定は初期維持力と同様に行った。

【結果と考察】

マイクロ CT によるクラスプ試料の内部構造の観察では、従来法によるクラスプでは内部気泡が見られたが、切削加工では内部気泡は認められなかった。これは、積層造形を用いた製作方法と同じ結果であり、欠陥のない均質な造形ができることは、安定した機械的性質を保証するため、CAD/CAM による製作法の大きな利点の一つといえる。鑄造では内部気孔の発生が避けられないことから、鑄造によるチタン製のフレームワークは、長期使用における破損等のリスクは回避できない。したがって、積層造形と並び切削加工も有効な手段の一つと考えられる。

表面粗さについても、切削加工は良好な結果であり、従来の鑄造と比較しても有意に低い粗さであった。すなわち、切削加工を利用することで歯科技工士による調整も容易となり、設計通りのクラスプ形態を再現できる可能性がある。また、積層造形は表面が粗くなるのが大きな問題の一つとされており、この点も切削加工の大きな利点と思われる。

クラスプが維持力を発揮するためには、製作したクラスプの支台歯への適合が重要である。しかしながら、切削に使用するミリングバーの形状により、クラスプ内面の切削精度には限界がある。今回の研究では先行研究と同じようにレストから鉤体部の鋭角部内面をリリーフし、適合の向上を図った。その結果、レスト部の適合は良好で繰り返し着脱後も変化は認められなかった。繰り返し着脱試験の前後で鉤腕・鉤尖部分では適合が悪化する傾向が見られたことから、繰り返しの着脱によって鉤腕の変形が生じていることが推測される。クラスプと歯面の間隙が 120 μm 以下であれば臨床上問題ないと示唆されているが、今回の研究では着脱試験前においては、すべての材料は 120 μm 以下の値を示したが、10,000 回繰り返し着脱後では切削加工による CP2 と CP4 の鉤腕部と鉤尖部で 120 μm を超える値となった。適合試験の結果のみをみれば、この 2 種のクラスプは臨床に適していないと考えられる。

MDF の初期維持力に関しては CP4、Ti-6Al-4V と有意差はないことから、純チタン 2 種でありながら、同等の初期維持力を得ることができたと考えられる。一般にクラスプは、粘着質の食品を咀嚼する際に発生する離脱力に対し、十分に抵抗できるだけの維持力を必要とするが、義歯全体では約 2,000 g の維持力が必要で、一つのクラスプに対して 5 ~ 10 N の維持力が要求される。本研究で切削加工により製作したクラスプは、十分な維持力が得られていると考えられた。

10,000 回繰り返し着脱を行っても、すべてのクラスプに破折等のトラブルは認められなかった。しかし、全クラスプで鉤腕部または鉤尖部で適合性の低下が認められていることから、着脱によりクラスプに変形が生じていることが考えられ、これにより維持力の低下が認められた。今回の研究では鑄造も含め、すべての試料を同じ STL データから製作しており、弾性係数の相違による適切な鉤腕の幅や厚みを考慮していないが、Ti-6Al-4V、CP4、MDF は臨床応用可能と考えられた。MDF は純チタン 2 種でありながら、10,000 回着脱後も十分な維持力を持続できることが示唆された。

以上の研究結果から、切削加工によるクラスプは臨床応用に適しているが、積層造形と比較するとアンダーカットの造形には限界があり、本実験に用いたクラスプ試料より複雑なフレームワークを造形するには、未だ解決すべき課題が残されていると思われる。

【結 論】

1. 鑄造によるクラスプ試料には多くの内部気泡を認めたが、切削加工による 4 つのクラスプ試料には内部気泡は観察されなかった。
2. 鑄造チタンクラスプは切削加工チタンクラスプよりも粗い表面を示した。
3. 繰り返し着脱試験前の 5 つのチタンクラスプ間でレストと鉤尖に有意差は認められなかったが、切削加工の CP2 および CP4 は繰り返し着脱試験後の適合精度が低下する傾向があった。
4. 切削加工の Ti-6Al-4V、MDF および CP4 は、切削加工および鑄造法の CP2 クラスプと比較して高い維持力を示した。

博士學位論文

5. 鑄造のCP2を除くすべてのチタンクラスプは、繰り返し着脱試験後に維持力の低下を示す傾向があった。MDFは繰り返し着脱試験後、CP2クラスプの中で最も高い維持力を示した。

審査の結果の要旨

生体親和性に優れるチタンは機械的な強度に劣ることから部分床義歯におけるクラスプへの応用は困難である。本研究は、CAD/CAM (Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing) 技術を応用した、純チタンでありながら機械的強度を増大させた多軸鍛造 (MDF) チタンを用いた切削加工チタンクラスプについて検討を加えた。

実験方法としては、ステンレス鋼製大白歯支台歯模型をもちいてエーカーズクラスプをCAD/CAM技術にて製作した。使用した材料は、純チタン2種 (CP2)、純チタン4種 (CP4)、Ti-6Al-4V、MDFとコントロールとして鑄造法による純チタン2種を各々5個ずつ製作した。

臨床応用の可能性を検討する目的で、非破壊試験、表面粗さ、適合性、初期維持力、維持力の変化 (10,000回繰り返し着脱試験) の5項目について検討を加えた。

非破壊検査による内部構造の観察において切削加工によるクラスプ試料には内部気泡は観察されなかった。鑄造チタンクラスプは切削加工チタンクラスプよりも粗い表面を示した。適合精度は5つのチタンクラスプ間でレストと鉤尖に有意差は認められなかった。Ti-6Al-4V、MDFおよびCP4は、鑄造法のCP2クラスプと比較して高い維持力を示した。繰り返し着脱試験後に鑄造のCP2を除くすべてのチタンクラスプは、維持力の低下を示す傾向があった。MDFは繰り返し着脱試験後、CP2クラスプの中で最も高い維持力を示した。

以上の研究結果から、切削加工によるクラスプは材料学的な検討結果から臨床応用に適していることが示された。

以上、本研究の多軸鍛造 (MDF) チタンを用いた切削加工チタンクラスプは、材料学的見地から優れており、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。