

学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者

岡田良太

論文題目

CAD/CAMシステムを用いて製作した
ハイブリッドレジンクラウンの機械的強度について

I. 緒言

歯科医療の分野において、CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) 技術は急速に発展してきた。CAD/CAM 技術は歯科補綴学領域において使用される様々な歯科材料に応用され、主にレジン材料やセラミックス材料に用いられている。その多くは、従来法で製作されたものと比較して優れた物性を示すという報告がされており、更なる発展が予測される。

レジン材料を用いた CAD/CAM 技術の臨床応用のひとつとして CAD/CAM ハイブリッドレジンクラウンが挙げられる。CAD/CAM ハイブリッドレジンクラウンとは、コンポジットレジンブロック状に圧縮、加熱重合したものを CAD/CAM でクラウン形態に加工したものであり、日本において臨床で広く普及している。しかし、強度に関する報告が不十分であり、強度不足が懸念されていることから、一部の金属アレルギー患者を除いて適応が小臼歯部に限定されている。患者の金属アレルギー、審美性の追求や金属価格の高騰等の理由により、適応範囲の拡大が期待されることから、強度に対して十分に評価を行う必要があると考えられる。

新規材料の適応範囲を検討する上で、その材料の機械的性質や長期的な耐久性といった材料特性を見極める必要がある。これまで、レジン材料やセラミックス材料の機械的性質を評価する主な試験方法として、ISO 規格に規定されている曲げ強さ試験などの基礎的な試験法が挙げられる。しかし、

試験に用いられる試料の形状及び試料への荷重のかかり方は、口腔内における状態とは大きく異なるため、評価が不十分であることが懸念される。一方で、クラウン形態での破壊強度試験を行った報告はいくつか存在するが、様々な問題があるのが現状である。

レジン材料やセラミックス材料で従来の築盛法を用いてクラウン形態の試料を製作する際、小窩裂溝などを付与させた複雑な臨床形態に再現性をもって複数製作することは極めて困難であるため、得られる結果は大きくバラついてしまう。そのため、クラウン形態での破壊強度試験には単純な形態の試料を用いることが多いが、実際の患者の口腔内に使用される臨床的な形態とは大きく異なる。一方で、CAD/CAM用材料に対して試験を行う場合、異なる材料間においても複雑な形態のクラウンを再現性をもって複数製作することができるようになったため、より臨床に即した破壊強度試験が可能となるのではないかと考えられる。

そこで本研究は、CAD/CAMハイブリッドレジックラウンに対して破壊強度試験を行い、評価することで、大臼歯部へ適応するにあたり、十分な強度を有するかどうかの検討及び、破壊強度を二軸曲げ強さと比較することで、試験法の違いが結果に及ぼす影響についての検討を行うことを目的とした。

II. 材料及び方法

本研究で使用したCAD/CAM用ハイブリッドレジンは、Block HC (以下HC)、KZR-CAD HR (以下KZR)、KZR-CAD HR2 (以下KZR2)、Katana Avencia Block

(以下 AVE) の 4 種類で、比較対象として既に臨床において大臼歯部のクラウンに用いられている二ケイ酸リチウムガラスセラミックスの IPS e. max CAD (以下 IPS) を用いた。

クラウン形態での破壊強度試験として、支台歯模型の材質にはステンレス鋼を用いた。支台歯模型を三次元デジタルスキャナーにてスキャンし、その上に上顎右側第一大臼歯形態のクラウンの設計を行った。4 種の CAD/CAM 用ハイブリッドレジン及び IPS は、上記クラウンの STL データを基に CAD/CAM システムを用いてクラウンの製作を行った。それらのクラウンは通法に従って形態修正、研磨を行った。各種クラウン試料の内面に対してサンドブラスト処理を行い、10 分間超音波洗浄した後、生理食塩液に浸漬し、37°C の恒温槽にて 24 時間保持した。

各種クラウン試料内面及び支台歯模型に対してプライミングを行い、接着性レジンセメントを用いて合着した。支台歯模型と接着させたクラウンの咬合面中央窩付近の 3 点を荷重点とした。万能試験機を用いて、歯軸方向に圧縮荷重を負荷し、クラウンが破壊した際の荷重値を破壊強度とした。

二軸曲げ試験として、ISO 6872:2015 (Dentistry-Ceramic materials) に準拠し、万能試験機を用いて測定を行った。

劣化試験として、製作した二軸曲げ試験用試料及び各種クラウン試料を生理食塩液に浸漬し、90°C の恒温槽にて 28 日間保持した。

劣化試験前後における二軸曲げ試験用試料表面の微細構造及び、破壊強度試験後の試料の破断面を走査型電子顕微鏡にて観察した。

各試料間における二軸曲げ強さ及びクラウン形態の破壊強度の統計学的有意差は、Tukey の多重比較にて検出した。有意水準は 5%とした。

III. 結果

クラウン形態での破壊強度試験において、各材料の破壊強度を比較すると、HC は IPS と比較して有意に低い値を示したが、KZR、KZR2、AVE は IPS と同等以上の値を示した。また、劣化試験後におけるクラウン試料の破壊強度は劣化試験前に比べ、低下傾向にあるものの有意差は認められなかった。

二軸曲げ試験において、各種 CAD/CAM 用ハイブリッドレジンと比較して、IPS は約 1.4-2.0 倍の二軸曲げ強さを示した。また、HC を除く CAD/CAM 用ハイブリッドレジン 3 種の劣化試験後における二軸曲げ強さは、劣化試験前のものと比較して有意に低下していた。また、比較対象である IPS の劣化試験前後における二軸曲げ強さの有意差は認められなかった。

二軸曲げ試験用試料表面の SEM 観察において、HC では大小様々な円形のフィラーが確認された。KZR 及び KZR2 ではフィラーの一次粒子のみでなく、一次粒子が凝集して形成された二次粒子状の構造物が認められた。AVE ではフィラー粒形が他の CAD/CAM 用ハイブリッドレジンと比較して非常に小さく、均一に分散していた。IPS では均一な結晶構造が観察された。

劣化試験後の試料表面の SEM 観察において、HC ではフィラーとレジンマトリックスの界面部分にクラックが生じていた。KZR2 では微小フィラーの消失による窪みが多数認められた。

破壊強度試験後の破断面の SEM 観察において、HC 及び KZR に荷重点の陥没が確認された。

IV. 考察

CAD/CAM ハイブリッドレジックラウンの破壊強度は 2.6-3.9 kN で、劣化試験後の破壊強度は 2.5-3.6 kN であった。比較対象である IPS と比較しても HC 以外の 3 種でほぼ同等の値を示したため、大臼歯部でも耐えうる破壊強度を有していると考えられる。HC は、フィラー粒形が他の CAD/CAM 用ハイブリッドレジックと比較して大きい球状フィラーで構成されている。一般的に、コンポジットレジックのような有心構造を有する複合材料の機械的強度には、フィラーの形状が大きく関与しているとされている。マトリックスが外力によってひずむと、マトリックスとフィラーが離れてしまい、応力を分担する断面積が小さくなるため、フィラーの比表面積が小さくなるのに比例して材料の機械的強度は低下する。そのため、HC は他の CAD/CAM 用ハイブリッドレジックや IPS と比較して破壊強度が有意に低かったと考えられる。

CAD/CAM 用ハイブリッドレジックへの劣化試験前後における各強度試験の結果に関して、クラウン形態の破壊強度試験では破壊強度の有意な低下は

認められなかったが、二軸曲げ試験では曲げ強さの有意な低下が認められた。クラウン試料の咬合面の厚みは 1.5-2.0 mm で、二軸曲げ試験の試料の厚みは 1.0 ± 0.2 mm である。このように、クラウン試料は二軸曲げ試験の試料と比較して厚みが多い。コンポジットレジンに対する劣化は、試料の表面に大きく表れると考えられるため、試料の厚みが多いクラウン試料では劣化試験の影響が小さくなったと推測される。また、劣化試験後の CAD/CAM 用ハイブリッドレジンの SEM 画像でクラックや窪みが確認されていることから、二軸曲げ試験では表面性状の変化による影響も敏感に結果に反映されたと考えられる。

各種 CAD/CAM 用ハイブリッドレジン及び IPS に対するクラウン形態での破壊強度試験と二軸曲げ試験の結果は、異なる傾向を示した。破壊強度試験では、HC 以外の 3 種の CAD/CAM 用ハイブリッドレジンと IPS と比較して有意差は認められず、同等の破壊強度を示した。一方、二軸曲げ試験において、各種 CAD/CAM 用ハイブリッドレジンと比較して、IPS は 1.4-2.0 倍程高い値を示した。これは、CAD/CAM 用ハイブリッドレジンと IPS と比較して硬さが小さく、伸びが大きいことが関与していると考えられる。SEM 観察で HC 及び KZR で円形の圧痕が確認されたように、硬さの小さい CAD/CAM 用ハイブリッドレジンでは荷重が大きくなるにつれて、荷重点が陥没すると考えられる。よって、試料と鋼球との接触面積が増加し、単位面積当たりの荷重が分散されることによって破壊強度が大きくなったと推測される。一

方、IPS では鋼球の圧痕は確認されず、荷重が分散されなかったと考えられる。破壊強度試験後のクラウン及び支台歯模型を観察すると、CAD/CAM 用ハイブリッドレジンでは舌側咬頭が破断されているのに対し、IPS では咬合面に複数の破折線が生じるのみで、破断は認められなかった。伸びが大きい材料は、荷重が大きくなるに従って変形し破断するのに対して、伸びが小さい材料は、変形量が極めて小さくなるため荷重が一点に集中し、破断に至るまでに荷重点から無数の破折線が生じると考えられる。

歯冠修復材料の物性試験において、材料間の強度を比較する上で感度の高い二軸曲げ試験は適した試験方法であると考えられる。しかし、口腔内では支台歯に接着した状態で荷重される。それに対して、二軸曲げ試験では支台歯が存在せず、臨床的な荷重様式を再現しているとは言い難い。一方、クラウン形態での試験はより臨床的な荷重様式が再現可能であるため、二軸曲げ試験とは異なった材料特性の情報を得ることができる。しかしながら、クラウン形態での試験では多因子が存在するため、材料学的な数値データの比較は困難である。よって、両者の実験を合わせて行うことで、材料をより詳細に評価することができると考えられる。

V. まとめ

1. 3種のCAD/CAMハイブリッドレジンクラウンは、クラウン形態での破壊強度試験において、IPSと同等の破壊強度を示した。

2. CAD/CAM用ハイブリッドレジンは、標準的な曲げ強度試験のみでなく、より臨床的なクラウン形態での破壊強度試験を合わせて行うことによって評価すべきである。