

令和元年6月3日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11583

研究課題名(和文) CAD/CAM硬質レジン大白歯クラウンの臨床応用に向けた長期安定性評価

研究課題名(英文) Fatigue analysis of resin-based composite molar crowns fabricated via CAD/CAM technique

研究代表者

稲垣 亮一 (Ryoichi, Inagaki)

東北大学・歯学研究科・講師

研究者番号：60260444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、歯科用CAD/CAMで製作する硬質レジンクラウンの臨床応用を想定して、強度、疲労耐性、接着性の基礎的試験を行った。口腔内でクラウンが長期的に機能することを想定して実施したサーマルサイクリングや繰り返し荷重による疲労が、材料自体の強度に及ぼす影響は限定的であった。また、クラウンを支台歯に接着して実施した実験においても、疲労がクラウン破折強度に及ぼす影響は限定的であった。しかしながら、疲労はレジンセメントで支台歯に接着した硬質レジンクラウンの維持力を低下させ、脱離のリスクを増加させることが分かった。今後はCAD/CAM硬質レジンクラウンの脱離を防止するための研究開発が必要となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科用CAD/CAM技術の発展に伴い、樹脂製のクラウンの臨床応用が進んでいる。しかしながら、それらのクラウンの長期的な安定性に関する評価が不足しているのが現状である。そこで、本研究では、口腔内でクラウンが機能することを想定した疲労試験を行い、強度、耐疲労性、接着性に関する長期安定性のデータを集積することを目的とした。結果としては、CAD/CAMで製作した樹脂製クラウンは強度および耐疲労性に関して問題がないことが分かった。しかしながら、疲労によりクラウンの脱離が生じるリスクが増加するため、今後も継続して樹脂製クラウン脱離防止に関する研究を継続していく必要性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In the present research project, strength, fatigue resistance, and crown retentive strength of CAD/CAM-generated resin-based composite crowns were evaluated. Fatigue treatments, such as thermal cycling and mechanical cycling designed in relation to the clinical service of crowns in the oral cavity, were performed. The fatigue did not significantly affect the strength of the crown material (resin-based composite) and the crown fracture resistance. However, the fatigue decreased the crown retentive strength, increasing the risk of loss of retention. Thus, it is suggested that future research and development should focus on prevention of crown loosening of CAD/CAM-generated resin-based composite crowns to achieve better clinical results.

研究分野：歯科補綴

キーワード：CAD/CAM 硬質レジンクラウン セラミッククラウン 強度 疲労 脱離

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

広範囲にわたる歯質の実質欠損を伴う歯の補綴治療においては、クラウンによる再建治療が選択される。従来のクラウン材料としては、金属、セラミックス、硬質レジンが用いられてきた。金属は優れた強度を有するが天然歯の色調とは著しく異なり、審美性に問題がある。セラミックスは審美性に優れているが、製作には専門的な技術が必要とあるため治療費が高額になる。特に我が国においては、セラミックスを使用した補綴装置は健康保険の適用が認められていないため、非常に高額な治療費が必要となっている。硬質レジン、材料自体は安価であり、かつ天然歯の色調を再現することができる材料であるが、機械的強度が他の材料よりも劣るためクラウン材料としての利用は限定的であった。しかし、硬質レジンに含有されるフィラーの改質が進み、機械的強度が向上した“ハイブリッドレジン”と呼ばれる材料の利用が可能になってきている。さらに歯科用 CAD/CAM システムを利用して工業的に完全重合させた硬質レジンブロックからクラウンを削り出すことで、従来の築盛法でクラウンを製作する際に問題となっていた未重合部や内部欠陥を伴うリスクを低減することができ、クラウン自体の強度を向上させることができる (Harada et al. Eur J Oral Sci 2015, 123, 122-129)。

このような背景の下、我が国では CAD/CAM 硬質レジン小臼歯クラウンが 2014 年 4 月より健康保険に導入され、急速に普及してきている。また、前述の通り CAD/CAM 用硬質レジンブロックは従来タイプの硬質レジンクラウンよりも強度に優れるため、大臼歯クラウンとしての応用も期待されている。これまでの研究では、天然歯と近い弾性係数を有する支台歯模型にクラウンを合着して行った破折強度試験において、CAD/CAM 硬質レジン大臼歯クラウンは二ケイ酸リチウム (歯科用セラミックスの一種) 製の臼歯クラウンと同等の強度を有することが示されている (Harada et al. Eur J Oral Sci 2015, 123, 122-129)。

しかしながら、材料を疲労させる因子 (咀嚼、唾液、温度変化など) を含む口腔内環境に曝露されることを想定した CAD/CAM 硬質レジン大臼歯クラウンの強度評価は行われていない。また、クラウン強度への影響のみならず疲労因子への長期的曝露がクラウン脱離に及ぼす影響を包括的に評価しなければならない。従来の硬質レジンクラウンの臨床成績を見ると、失敗の原因としては、破折の他に、脱離などが挙げられている (Vanoorbeek et al. Int J Prosthodont 2010, 23, 223-230)。クラウン脱離の発生率に関しては、他の材料よりも著しく高い発生率が報告されており、十分な対策が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、CAD/CAM 硬質レジンクラウンの臨床応用を想定して、強度、耐疲労性、接着性を評価することで、長期安定性に関する非臨床試験データを集積することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) サーマルサイクリング (TC) および繰り返し荷重 (MC) がクラウン材料に及ぼす影響

CAD/CAM 硬質レジンクラウンの材料として Lava Ultimate (LU: 3M) を用いた。また、対照群として二ケイ酸リチウムの IPS e.max press (EMP: Ivoclar/Vivadent) を用いた。各クラウン材料を用いて 2 mm × 3 mm × 22 mm の棒状試料を作製し、次の 4 群に分けた (各群 n = 20); 無処理群 (NT)、TC 群、MC 群、TC 後に MC を実施した群 (TCMC 群)。TC はサーマルサイクル試験機 (Thermal Cycling K178、東京技研社) を用いて、5 と 55 に維持した恒温水槽に交互に浸漬した。各水槽での浸漬時間を 10 秒、水槽間の移動時間を 5 秒として、5 万サイクルの TC を実施した。また、MC は繰り返し荷重試験機 (E10000、Instron) を用いて、37 に維持した水槽中で三点曲げ試験により繰り返しの荷重を試料に負荷した。荷重は 40 N (荷重を付加する面の反対側の面で 50 MPa の引張応力を生成) とし、15Hz で 120 万回の MC を実施した。いずれの群においても、試料は 37 の水中で 40 日間保管した。TC、MC、TCMC 群では、この保管期間中に TC および MC を実施した。40 日の保管期間後に万能試験機 (AI-GS、島津) を用いて三点曲げ試験を行い、各群の試料の曲げ強度を分析した。強度試験の結果はワイブル統計を用いて解析し、characteristic strength と Weibull modulus を求めた。

(2) TC および MC がクラウン破折強度に及ぼす影響

下顎右側大臼歯の模型歯を、シャンファー幅が 1.0 mm、咬合面削除量が 1.6 mm、テーパが 5° となるように支台歯形成を行いマスター模型とした。マスター模型を光学スキャナーで読み込み、歯科用 CAD/CAM (Lava System、3M) を用いてマスター模型のレプリカ (支台歯模型) を LU ブロックから 48 個削り出して実験に用いた。LU および EMP を用いて支台歯模型に適合する下顎右側第一大臼歯クラウンをそれぞれ 24 個作製した。レジンセメント (Panavia F2.0: クラレ・ノリタケ) を用いて、クラウンを支台歯模型に合着した。各材料で製作クラウン試料を、NT、TC、MC、TCMC の 4 群に分けた (各群 n = 6)。TC は (1) の棒状試料を用いた試験と同じ条件で 5 万回行い、MC は荷重を 300 N とし 120 万回行った。試料は 37 の水中で 40 日間保管した。TC、MC、TCMC 群では、この保管期間中に TC および MC を実施した。40 日の保管期間後に万能試験機 (AI-GS、島津) と先端分が直径 10 mm の球状の圧子を用いてクラウン破折試験を行い、各群のクラウン試料の破折強度を評価した。

(3) TC および MC がクラウン維持力に及ぼす影響

支台歯築造用レジン (UNI; ユニフィルコア、GC) を用いて直径 8 mm、高さ 20 mm のシリンダー状試料を 80 個作製した。旋盤加工により直径を 7.5 mm に調整し、シャンファー幅が 1 mm、軸面高さが 4 mm、テーパが 5° となるように支台歯形成を行った (図 1)。この支台歯に適合するクラウンを、歯科用 CAD/CAM システム (Aadva システム、GC) を用いて、CAD/CAM 用硬質レジンブロック (Cerasmart、GC) および CAD/CAM 用セラミックブロック (GN-Ceram、GC) から、それぞれ 40 個削り出した (図 1)。

レジンセメント (Panavia F2.0: クラレ・ノリタケ) を用いて、クラウンを支台歯模型に合着し、次の 4 群に分けた (各群 n = 10); 24 時間水中保管群 (WI-24 h)、70 日間水中保管群 (WI-70 d)、TC 群、MC 群。TC 群と MC 群では 70 日の水中保管期間中に TC と MC を行った。TC は (1) と (2) の実験と同様の条件で 5 万回行った。MC は 300 N の荷重で 120 万回行った。水中保管期間終了後に、図 1 に示す治具を用いてクラウン引き抜き試験を行い、クラウン維持力を評価した。

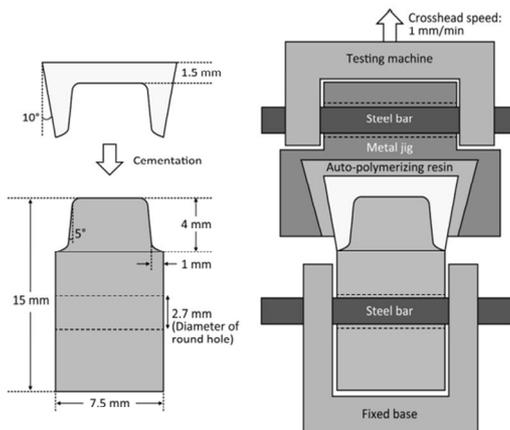


図1. クラウン、支台歯、およびクラウン引き抜き試験の模式図

4. 研究成果

(1) TC および MC がクラウン材料に及ぼす影響

三点曲げ試験結果のワイブルプロットを図 2 に示す。疲労試験を行わなかった NT 群における曲げ強度 (characteristic strength) は、LU で 154 MPa、EPM で 291 MPa であった。TC、MC、TCMC により LU および EMP の曲げ強度の低下が認められた。LU では、TC、MC、TCMC により、それぞれ 6%、4%、8% の低下が認められ、EMP では、それぞれ 14%、14%、11% の低下が認められた。Weibull modulus については、LU で 9.1~11.1、EMP では、5.4~6.5 であり、LU の方が強度のばらつきが小さいことが分かった。

以上の結果より、CAD/CAM 用硬質レジクラウン用材料である LU は曲げ強度では、EMP より劣っているが、TC や MC といった疲労に対する耐性は EMP と同程度かそれ以下であることが示唆された。

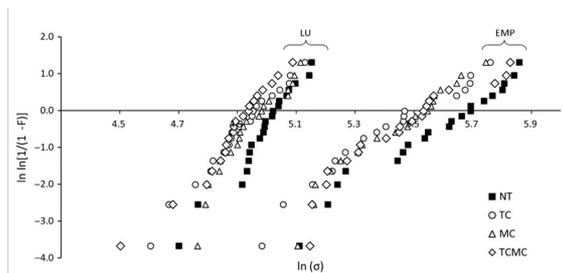


図2. クラウン材料の三点曲げ試験結果のワイブルプロット

(2) TC および MC がクラウン破折強度に及ぼす影響

TC や MC 中に破折したクラウンは認められなかったため、すべてのクラウン試料を用いてクラウン破折試験を行った。LU クラウンおよび EMP クラウンの破折荷重の結果を図 3 に示す。LU クラウンおよび EMP クラウンのいずれの群においても破折荷重に有意差は認められなかった。

以上の結果より、TC や MC は LU クラウンや EMP クラウンの破折強度に有意な影響を及ぼさないということが分かった。従って、強度の観点からは、CAD/CAM 用硬質レジクラウンの長期的な安定性に問題はないことが示唆された。

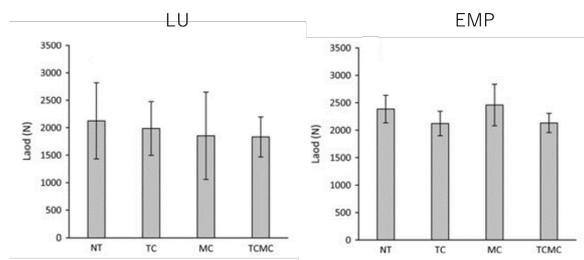


図3. クラウン破折荷重

(3) TC および MC がクラウン維持力に及ぼす影響

クラウン引き抜き試験の結果を図 4 に示す。対照群である WI-24 h 群では、CAD/CAM 硬質レジクラウンのクラウン維持強度の中央値は 3.85 MPa、CAD/CAM セラミッククラウンでは 5.35 MPa であった。また、CAD/CAM 硬質レジクラウンでも CAD/CAM セラミッククラウンでも、WI-24 h 群と WI-70 d 群のクラウン維持強度に有意差は認められなかった。一方、TC 中にはクラウンの脱離が認められた。CAD/CAM 硬質レジクラウンでは、10 個中 7 個、CAD/CAM セラミッククラウンでは、10 個中 1 個の脱離が認められ、脱離したクラウンのクラウン維持強度は 0 MPa とみなした。結果として、CAD/CAM 硬質レジクラウンでも CAD/CAM セラミッククラウンでも、TC 群ではクラウン維持強度の有意な減少を認めた。対照的に MC 中にはクラウンの脱離は認め

られなかった。しかしながら、CAD/CAM 硬質レジンクラウンでは、MC 群で有意なクラウン維持強度の低下を認めた。

以上の結果より、CAD/CAM 硬質レジンクラウンでは、セラミッククラウンに比較して TC や MC の影響を大きく受けてクラウン脱離あるいはクラウン維持強度の低下が生じることが示唆された。

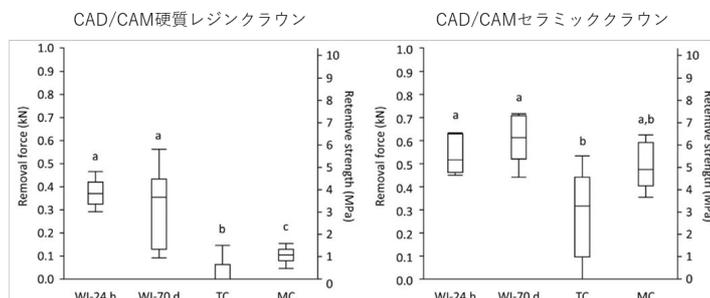


図4. クラウン引き抜き試験の結果

以上の(1)～(3)の実験結果より、CAD/CAM 硬質レジンクラウンは、強度および疲労耐性においては問題ないが、クラウン脱離の問題が生じるリスクがセラミッククラウンよりも高いことが示唆された。今後はCAD/CAM 硬質レジンクラウンの脱離を防止するための研究開発が必要となると考えられる。TC や MC による疲労は、繰り返しの熱膨張・収縮および機械的な圧縮・膨張により、クラウンとセメントの界面において引張応力や剪断応力を発生させていることが考えられる。硬質レジンクラウンとセラミッククラウンの大きな相違点は、熱膨張係数と弾性係数にある。セラミッククラウンは熱膨張係数が低く、55 に加熱した際も膨張量が限定的である。また、弾性係数が高いので、繰り返し荷重を付加しても垂直方向および水平方向への微小変形量は少ないと考えられる。一方、硬質レジンクラウンでは、熱膨張が大きく、過重負荷時の変形量も大きく、結果として大きな応力が界面で生じていると考えられる。従って、クラウン脱離防止の観点からは、熱膨張係数が低く、弾性係数が高い硬質レジン開発の必要性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

Ankyu S, Nakamura K, Harada A, Inagaki R, Katsuda Y, Kanno T, Niwano Y, Ortengren U, Egusa H. Influence of microscale expansion caused by thermal and mechanical fatigue on retentive strength of CAD/CAM-generated resin-based composite crowns. *J Mech Behav Biomed Mater* 86, 89-97, 2018. 査読あり

doi:10.1016/j.jmbbm.2018.06.025

Nakazawa K, Nakamura K, Harada A, Shirato M, Inagaki R, Ortengren U, Kanno T, Niwano Y, Egusa H. Surface properties of dental zirconia ceramics affected by ultrasonic scaling and low-temperature degradation. *Plos One* 13, e0203849, 2018. 査読あり

doi:10.1371/journal.pone.0203849

Nakamura K, Ankyu S, Nilsson F, Kanno T, Niwano Y, Vult von Steyern P, Ortengren U. Critical considerations on load-to-failure test for monolithic zirconia molar crowns. *J Mech Behav Biomed Mater* 87, 180-189, 2018. 査読あり

doi:10.1016/j.jmbbm.2018.07.034

Ankyu S, Nakamura K, Harada A, Hong G, Kanno T, Niwano Y, Ortengren U, Egusa H. Fatigue analysis of computer-aided design/computer-aided manufacturing resin-based composite vs. lithium disilicate glass-ceramic. *Eur J Oral Sci* 124, 387-395, 2016. 査読あり

doi:10.1111/eos.12278

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：中村 圭祐

ローマ字氏名：(NAKAMURA, Keisuke)

所属研究機関名：東北大学

部局名：歯学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：30431589

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。