

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25462981

研究課題名(和文) オール・ジルコニアクラウンの臨床展開に向けた機械的・生物学的特性に関する研究

研究課題名(英文) Mechanical properties of monolithic zirconia crowns

研究代表者

稲垣 亮一 (Ryoichi, Inagaki)

東北大学・歯学研究科(研究院)・講師

研究者番号：60260444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではクラウンの厚みがオール・ジルコニアクラウンの強度に及ぼす影響を詳細に評価した。さらに、ジルコニア特有の自然発生的な結晶構造の変化による強度低下(エイジング)、繰り返し荷重、および歯冠色付与のための微量元素添加の影響を調べた。

一連の実験結果より、オール・ジルコニアクラウンは厚みが0.5 mmであっても十分な強度を有し、エイジングや繰り返しの荷重による影響を受けたとしても大臼歯部の最大咬合力(約1000 N)に十分耐えられることが分かった。さらに、歯冠色付与のために添加される微量元素は強度に影響を及ぼさないことが示された。今後、臨床研究を通して、本研究成果を検証する必要がある。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to evaluate the influence of crown thickness on the fracture resistance of monolithic zirconia crowns. In addition, the effects of aging (spontaneous crystalline phase transformation), cyclic loading and addition of coloring agents were investigated.

The results demonstrated that monolithic zirconia crowns with a minimal thickness of 0.5 mm could work as molar crowns. Even though monolithic zirconia crowns were affected by aging and cyclic loading, the fracture load of the crown was sufficiently higher than maximum bite force (about 1000 N). Furthermore, it was shown that the coloring procedure would not affect the strength of zirconia. The results obtained in the present study should be verified in clinical studies in the future.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：ジルコニア 補綴装置 強度 耐久性

1. 研究開始当初の背景

広範囲にわたる歯質の実質欠損あるいは歯の欠損部の補綴治療においては、欠損の程度に応じてクラウンやブリッジによる再建治療が必要となる。一般的に、これらの固定性補綴装置には咬合力を負担して機能するために十分な強度が求められる。従来の固定性補綴装置の材料としては、金属単体あるいは金属と歯冠色材料(硬質レジンやポーセレン)の組合せが用いられてきた。さらに、天然歯の色調を再現しより高い審美性を獲得するためにオール・セラミッククラウンによる補綴治療も臨床応用されている。歯科用CAD/CAMが普及し、強度に優れたジルコニアセラミックを利用できるようになってからはジルコニアをクラウンやブリッジのフレームワークとして用い、その上に歯科用ポーセレンを築盛することで機械的強度を兼ね備えたオール・セラミックによる審美的補綴治療が可能になってきている。

従来ジルコニアの色調は天然歯よりも著しく明度の高い白色であったが、近年歯科材料としてのジルコニアの改良が進み、歯冠色のジルコニアが開発されてきている。ポーセレンの築盛を行わなくてもジルコニアで天然歯の色調を再現することが可能になってきており、ジルコニア単一材料でクラウン・ブリッジを製作する“オール・ジルコニアクラウンシステム”の臨床応用が提案されてきている。オール・ジルコニアクラウンは、メタルクラウンよりも優れた審美性と、従来のオール・セラミッククラウンよりも優れた強度を有する。さらに、オール・ジルコニアクラウンの補綴物製作工程は、メタル-セラミッククラウン、オール・セラミッククラウンの製作工程と異なってポーセレンの築盛が必要なく、ほぼすべての作業はCAD/CAMによって行われるため、品質の一定化および製作コスト低減が期待できる。

ジルコニアの曲げ強度は >1000 MPaと非常に高いため、従来のオール・セラミッククラウンと比較した場合、クラウンの厚みが薄くても十分に咬合力を負担し機能できると考えられる。従って、支台歯の形成量を最小限にとどめることが可能となるため、侵襲性の低い補綴治療法となりうる。しかしながら、どの程度の厚みまで許容されるのかを示す科学的データが不足しているのが現状である。従来の補綴材料と比較してオール・ジルコニアクラウンの場合にはどこまで薄くできるのかの許容限度について強度試験のデータに基づいて科学的に最適な臨床形態を提示することは非常に重要である。

また、口腔内のように水分が存在する環境下では、ジルコニアの結晶構造の変化に伴うエイジング(経年劣化)が促進され強度の劣化や表面粗さの増加などにつながる事が知られている。オール・ジルコニアクラウンでは、唾液への暴露、咬合力の負荷、色調調整のための微量添加物などの影響を受けて

エイジングが促進されることが予想される。

2. 研究の目的

本研究では、1) オール・ジルコニアクラウンの厚みがクラウン破折強度に及ぼす影響、2) 繰り返し荷重及びエイジングがクラウン破折強度に及ぼす影響、3) 歯冠色付与のために添加される添加物が強度とエイジング感度に及ぼす影響を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) クラウンの厚みがオール・ジルコニアクラウンの強度に及ぼす影響

下顎右側第一大臼歯の模型(A5A-500, Nissin)をシャンファー幅が0.5、0.7、1.0 mmとなるように形成を行った。テーパーは 5° とした。また、咬合面削除量は0.6、1.1、1.6 mmとなるように支台歯形成を行った。支台歯を歯科用CAD/CAM用光学スキャナー(LavaScan ST, 3M ESPE)で取り込み、削除量及びテーパーの評価を行なった。上記の条件の組み合わせにより合計9本の支台歯模型を作製し、以下の様にグループ名称を付与した; C0.5/00.5(シャンファー幅0.5 mm、クラウンを作製した際の咬合面厚み0.5 mmの意味)、C0.5/01.0、C0.5/01.5、C0.7/00.5、C0.7/01.0、C0.7/01.5、C1.0/00.5、C1.0/01.0、C1.0/01.5。支台歯模型のスキャンデータより、CAD/CAM用コンポジットレジン(Lava Ultimate, 3M ESPE)から強度試験用支台歯模型を作製した。Lava Ultimateの曲げ強度、弾性係数およびポアソン比を測定したところ、それぞれ196 MPa、10.7 GPa、0.43であった。

強度試験用支台歯模型および模型歯(支台歯形成なし)を光学スキャナーで取り込み、ダブルスキャン法でクラウンをデザインした。各支台歯に対してオール・ジルコニアクラウン(Lava Plus Zirconia, 3M ESPE)を6個ずつ作製した。オール・ジルコニアクラウンの厚みについてはマイクロCT(ScanX-mate-D225RSS270, Comscantecno)を用いて評価した。さらに、C1.0/01.5の支台歯に対してはコントロールとしてニケイ酸リチウムガラスセラミック・クラウン(IPS e.max press, Ivoclar Vivadent)を6個作製した。

すべてのクラウンをレジンセメント(Panavia F2.0, Kuraray Noritake)で強度試験用支台歯模型に合着した。合着後37度で24時間保管した後、クラウン破折強度試験を行った。クラウン破折強度試験は万能試験機(AI-GS, Shimadzu)を用いて行った。クラウンの中心窩に適合するように10 mmのステンレス製圧子の位置を調整した。圧子とクラウンの直接接触によるコンタクトダメージを防ぐために、ウレタンゴムシート(Shore A硬さ90、厚み2 mm)を介在させ、クロスヘッドスピード0.5 mm/minで荷重を

負荷し破折に至った時の荷重を評価した。

(2) 繰り返し荷重およびエイジングがクラウン破折強度に及ぼす影響

上記の実験(1)と同様の方法で C0.5/O0.5 の支台歯模型およびオール・ジルコニアクラウンを作製した。エイジングの影響を調べるためにセメント合着前にクラウンをオートクレーブで 0, 10, 50, 100 時間処理した。オートクレーブ処理後、レジンセメントで合着を行った。また、繰り返し荷重の影響を調べるためにオートクレーブ処理 0 時間および 100 時間のクラウンに 300 N、10 Hz で 24 万回の繰り返し荷重をかけた。その後、実験(1)と同様の方法でクラウン破折強度試験を行った。

(3) 歯冠色付与のために添加される添加物が強度とエイジング感度に及ぼす影響

本実験では、無色ジルコニア (NC; TZ-3YSB-E, Tosoh) 歯冠色ジルコニアの円板状試料 (直径 14 mm、厚さ 1.2 mm) を作製し、微細構造評価と強度試験を行った。歯冠色ジルコニア試料はカラーリングリキッド (Lava Plus Zirconia Dyeing Liquid, 3M ESPE) を用いた浸漬法 (IM) と、焼結前の粉末の状態ですでに着色剤が添加されているジルコニアパウダー (TZ-Yellow-SBE, Tosoh) を用いた方法 (PM) で作製した。蛍光 X 線分析で分析したところ、IM 法の添加物は Er_2O_3 と Fe_2O_3 であり、PM 法の添加物は Fe_2O_3 であった。

各試料をオートクレーブで 0, 10, 100 時間処理し結晶構造の変態 (エイジング) を惹起した。試料表面の結晶構造の変化を X 線回折 (XRD) 法で分析し、結晶構造変化の浸透については試料切断面を走査型電子顕微鏡 (SEM) で分析した。

ISO6872 に準拠した二軸曲げ試験によって、強度の評価を行なった。強度試験結果は Weibull 統計法によって分析した。

4. 研究成果

(1) ク라운の厚みがオール・ジルコニアクラウンの強度に及ぼす影響

マイクロ CT で撮影したオール・ジルコニアクラウンの断面が像を図 1 に示す。

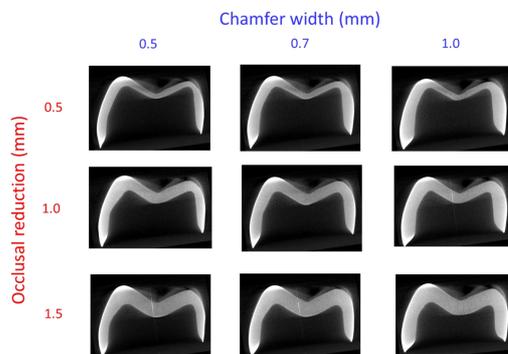


図1. マイクロCT撮影によるクラウンの断面画像

オール・ジルコニアクラウン咬合面厚みについて ± 0.05 mm 以内の誤差であることを確認した。

クラウン破折強度試験の結果を図 2 に示す。

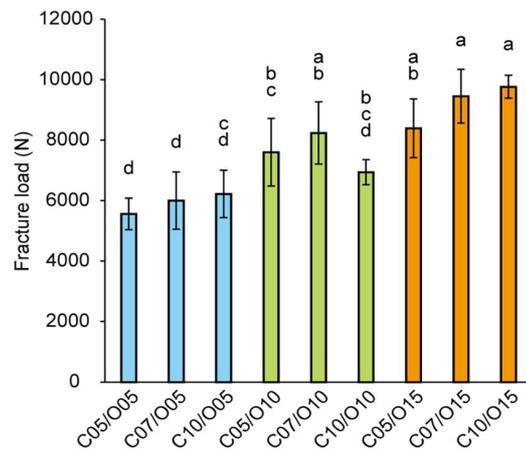


図2. オール・ジルコニアクラウンの破折荷重。各棒グラフ上の異なるアルファベットは有意差 ($p < 0.05$) を示す。

重回帰分析の結果、下記の回帰式が得られた；

$$F = 3295 + 657 \times A - 3465 \times O$$

ここで F はクラウン破折荷重 (N)、A は軸面厚み (mm)、O は咬合面厚み (mm)。

決定係数は 0.711 であった。また、統計解析の結果、咬合面厚みは有意にクラウン破折荷重に影響を及ぼすが軸面厚みの影響は有意でないことが示された。

オール・ジルコニアクラウンとニケイ酸リチウムクラウンの破折荷重を図 3 に示す。

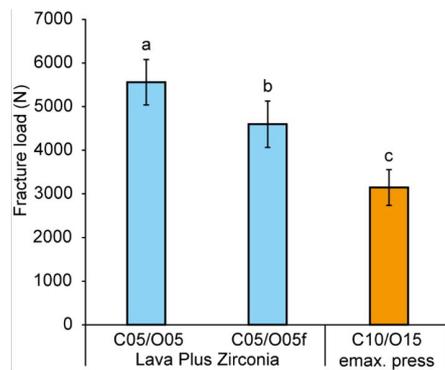


図3. オール・ジルコニアクラウンとニケイ酸リチウムクラウンの破折荷重の比較。各棒グラフ上の異なるアルファベットは有意差 ($p < 0.05$) を示す。

オール・ジルコニアクラウンは咬合面が 0.5 mm であっても、咬合面厚みが 1.5 mm のニケイ酸リチウムクラウンよりも高い破折荷重を示した。

以上の結果より、咬合面厚みを 0.5 mm としたオール・ジルコニアクラウンは、従来タ

イプのクラウンよりも高い破折強度を示し、最大咬合力（1000 N 程度）よりも高い破折荷重を示したため、大臼歯部で応用可能であることが示唆された。

(2) 繰り返し荷重およびエイジングがクラウン破折強度に及ぼす影響

オートクレーブ処理によりエイジングを引き起こしたオール・ジルコニアクラウンの強度を図 4 に示す。

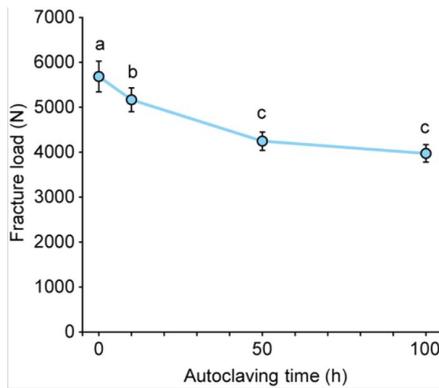


図4. オートクレーブによるエイジングがオール・ジルコニアクラウンの強度に及ぼす影響。

ポイント上の異なるアルファベットは有意差 ($p < 0.05$) を示す。

オートクレーブによる処理時間に依存した破折荷重の有意な低下が認められた。しかしながら、100 時間処理を行った場合でも 4000 N 程度の破折荷重が認められた。

繰り返し荷重がオール・ジルコニアクラウンの強度に及ぼす影響を図 5 に示す。

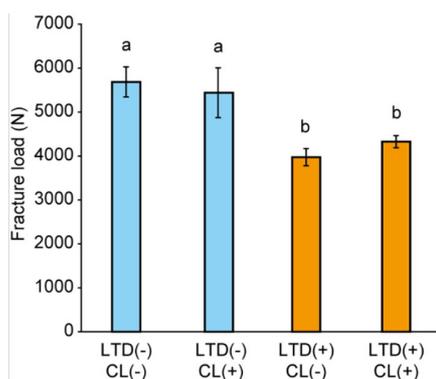


図5. 繰り返し荷重がオール・ジルコニアクラウンの強度に及ぼす影響。

各棒グラフ上の異なるアルファベットは有意差 ($p < 0.05$) を示す。

オートクレーブ 100 時間処理によるエイジング (LTD(+)) は有意にオール・ジルコニアクラウンの強度を低下させたが、300 N、24 万回の繰り返し荷重 (CL(+)) は強度低下につながらなかった。

以上の結果より、咬合面厚みを 0.5 mm と

したオール・ジルコニアクラウンは、エイジングの影響を受けたとしても 4000 N 以上の破折荷重を示すため、耐久性に関して問題ないと考えられる。また、繰り返しの荷重に対して高い抵抗性を有していることも示唆された。

(3) 歯冠色付与のために添加される添加物が強度とエイジング感度にも及ぼす影響

オートクレーブ処理によって生成した単斜晶を XRD で分析した結果を図 6 に示す。

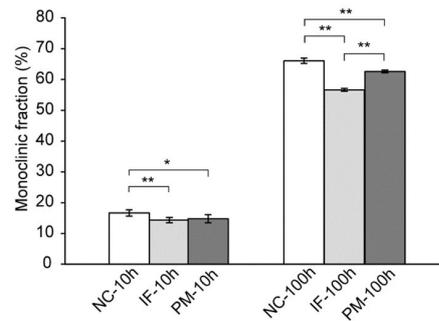


図6. 単斜晶生成の比較

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

歯冠色を付与されたジルコニア (IF と PM) では、無色ジルコニア (NC) よりも単斜晶生成が少ないことが分かった。

SEM の分析結果を図 7 に示す。

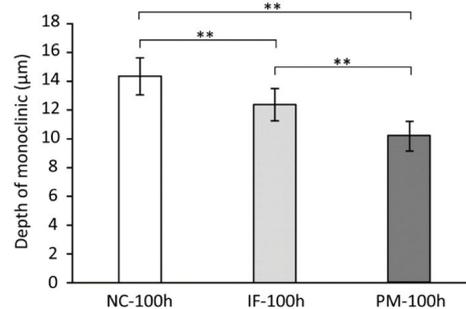


図7. 単斜晶浸透の比較

** : $p < 0.01$

歯冠色を付与されたジルコニア (IF と PM) では、無色ジルコニア (NC) よりも単斜晶生成の進展が遅い (単斜晶層が薄い) ことが分かった。

二軸曲げ強度の Weibull プロットを図 8 に示す。

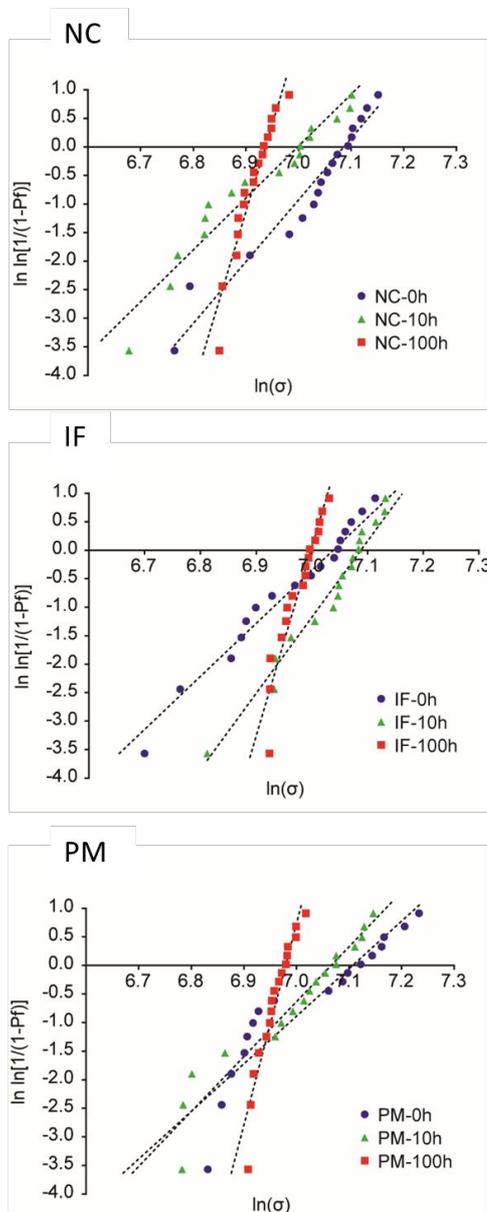


図8. 強度試験結果のWeibullプロット

NC, IF, PM において、X 軸とプロットの交点で表される Characteristic 強度 (Weibull 分布における代表値) が低下 (プロットの左方に移動) することが分かった。しかしながらオートクレープ処理 100 時間後の Characteristic 強度はいずれの試料でも 1000 MPa 以上を示した。また、プロットの傾きで表される Weibull 係数についてはオートクレープ処理無しの場合は約 10 であったのに対してオートクレープ処理 100 時間では約 30 に増加した。これは、オートクレープ処理によって強度の低下が起こると同時に、単斜晶生成により内在していた欠陥周辺で圧縮応力が生成されたことによって著しく低い強度を示す試料が減少したために、強度分布の範囲が狭くなったためと考えられる。

以上の結果より、歯冠色を付与するために添加される微量元素はジルコニアの強度に

はほとんど影響を及ぼさず、エイジング感受性を低下させる効果があることが分かった。

本研究では、in vitro 試験においてオール・ジルコニアクラウンが大白歯部に应用された場合、十分な耐久性をもって機能することが示唆する結果が得られた。今後、臨床研究を通して、本研究成果を検証する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

(1) Nakamura K, Harada A, Ono M, Shibasaki H, Niwano Y, Adolfsson E, Milleding P, Ortengren U. The effects of low-temperature degradation on the mechanical and microstructural properties of tooth-colored 3Y-TZP ceramics. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2016, 53, 301-311. (査読有) doi:10.1016/j.jmbbm.2015.08.031

(2) Nakamura K, Katsuda Y, Ankyu S, Harada A, Tenkumo T, Kanno T, Egusa H, Milleding P, Ortengren U. Cutting efficiency of diamond burs operated with electric high-speed dental handpiece on zirconia. *Eur J Oral Sci*, 2015, 123, 375-380. (査読有) doi: 10.1111/eos.12211

(3) Nakamura K, Harada A, Kanno T, Inagaki R, Niwano Y, Milleding P, Ortengren U. The influence of low-temperature degradation and cyclic loading on the fracture resistance of monolithic zirconia molar crowns. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2015, 47, 49-56. (査読有) doi: 10.1016/j.jmbbm.2015.03.007

(4) Harada A, Nakamura K, Kanno T, Inagaki R, Ortengren U, Niwano Y, Sasaki K, Egusa H. Fracture resistance of computer-aided design/computer-aided manufacturing-generated composite resin-based molar crowns. *Eur J Oral Sci*, 2015, 123, 122-129. (査読有) doi: 10.1111/eos.12173

(5) Nakamura K, Harada A, Inagaki R, Kanno T, Niwano Y, Milleding P, Ortengren U. Fracture resistance of monolithic zirconia molar crowns with reduced thickness. *Acta Odont Scand*, 2015, 73, 602-608. (査読有) doi:10.3109/00016357.2015.1007479

[学会発表](計 3 件)

(1) Harada A, Nakamura K, Kanno T, Inagaki R, Ortengren U, Niwano Y, Sasaki K, Egusa H. Fracture resistance of CAD/CAM-generated resin-based molar crowns. 2015 IADR General Session. March

11, 2015, Boston (USA)

(2) Nakamura K, Harada A, Inagaki R, Kanno T, Niwano Y, Milleding P, Ortengren U. Strength of monolithic zirconia molar crowns with reduced thickness. 2014 IADR/PER congress, September 10, 2014, Dubrovnik (Croatia)

(3) 原田章生、菅野太郎、稲垣亮一、佐々木啓一．CAD/CAM 法による大白歯硬質レジックラウンの強度試験．日本補綴歯科学会第 123 学術大会 平成 26 年 5 月 24 日（宮城）

6．研究組織

(1)研究代表者

稲垣 亮一 (INAGAKI, Ryoichi)
東北大学・大学院歯学研究科・講師
研究者番号：6 0 2 6 0 4 4 4

(2)研究分担者

中村 圭祐 (NAKAMURA, Keisuke)
東北大学・大学院歯学研究科・助教
研究者番号：3 0 4 3 1 5 8 9