

令和元年6月10日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K20427

研究課題名(和文) 高強度CAD/CAM材料の摩耗メカニズムの解明：咬耗予測システムの開発にむけて

研究課題名(英文) Mechanism of wear of dental CAD/CAM ceramics

研究代表者

村上 奈津子 (MURAKAMI, Natsuko)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教

研究者番号：80706995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：歯冠修復材料および補綴装置の摩耗に関して、そのメカニズムを解明するには至っていない。近年のCAD/CAM技術の発展により材料開発は多様化しているが、過度な摩耗が懸念される。本研究では、CAD/CAM用セラミックスを用いて、ボール側とディスク側にそれぞれ用いた時の、異なる組み合わせにおける摩耗試験を行った。有限要素解析で算出される材料間に発生する接触ひずみが、相互摩耗の相対的な量に大いに影響することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

摩耗を生じるメカニズムに基づく評価方法として、有限要素解析によって算出された接触部の歪み値が、摩耗動態を予測する上で重要な可能性が示唆された。急速に開発される新規補綴材料において、その咬耗特性の予測因子を考慮することで、より安全で望ましい材料選択を容易に行う事が可能であると考えられる。従って、本課題から得られる先駆的な知見は、歯科医療、特に歯科補綴治療の発展に寄与することが大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the influence of high-strength dental ceramics on the wear of opposing restorative materials. A ball-on-disk wear test in water was performed using CAD/CAM ceramics. The wear volume was optically measured using a digital scanner, and non-linear finite element analysis was performed to calculate the principal strain distributions of the contact surfaces.

The wear volume of the disks was significantly larger when they were opposed to the balls of hardness and the fracture toughness was higher than the disks. When the maximum principal strain of a ball was higher than that of a disk, the wear volume was larger in the ball than in the disk, and vice versa, indicating the elastic modulus as a promising predictive factor of wear. The prediction of the relative wear volume between opposing antagonists is possible if their mechanical properties are known.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：摩耗 有限要素解析 CAD/CAM材料

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

1. 研究開始当初の背景

近年、修復・補綴に用いられる材料が多様化すると同時に、高強度で破折しないことを目的としてより硬い材料が使用される傾向がある。これらの中には従来の歯冠修復材料よりも遙かに高い強度と硬度を持つものが含まれるため、対合エナメル質をはじめ、修復物や補綴物の摩耗を誘発する事が懸念されている。過度な摩耗は歯の移動や補綴物の破折等を誘発する要因となり得ることが懸念されており、慎重な材料選択が行われるべきである。

口腔内における摩耗の原因は他因子にわたり、特にセラミックス系の材料においては、表面性状や硬さ、破壊靱性が関係すると言われているが、未だに摩耗における明確な指標は確立されておらず、摩耗試験による摩耗量の評価が必要となる。歯科材料に対する摩耗試験として様々な方法が考案されており、臨床データと比較された報告もあるが、それぞれの試験方法がバリエーションに富むことから、システマティックレビューにおいても摩耗メカニズムの明確な結論は見出されていない。

また、材料の多くの場合エナメル質を基準とした比較が多く、歯冠修復に用いられる材料の組み合わせの違いが摩耗性に与える影響に関する報告は少ない。そこで、対合関係にある異なる機械的特性を持った歯冠部歯質と修復材料の多くの組み合わせを対象として、摩耗特性を評価するためには、摩耗を生じるメカニズムに基づく一般性のある評価方法を検討することが求められる。

2. 研究の目的

本研究では、多様な患者因子を除いた摩耗特性を評価する摩耗試験に加え、摩耗試験における材料間に発生する接触ストレスを算出する事で、接触ストレス、材料強度(機械的特性)、摩耗量の三者における関係性を見出す事を目的とする。

3. 研究の方法

試験材料として市販されている異なる4種類の歯科用CAD/CAMブロック(長石系セラミックス、ハイブリッドセラミックス、二ケイ酸リチウム、硬質レジン)を用いる。ディスク状の試験片と半球状の対合モデルを歯科用ミリングマシン(CEREC MC, Sirona)にて削り出しKootathapeらの方法に準じて摩耗試験を行い、経時的摩耗動態を記録した。摩耗試験の組み合わせとして、同一種類だけでなく、異なる種類の組み合わせでディスクと対合を交換した組み合わせでも行う。さらに、機械的特性の評価として、ナノインデンテーションおよび摩擦試験を行う。得られた物性値および摩耗データを用いて、有限要素解析を行い、材料間に発生する接触ストレスを算出し、材料の組み合わせ、形態および応力の変化の推移を元に、摩耗動態を分析する。

4. 研究成果

ディスクとボール各試料の摩耗量について、最も多く摩耗したディスク試料はハイブリッドセラミックディスク対長石系セラミックボールの組み合わせで、次いで長石系セラミックディスク対二ケイ酸リチウムボール、ハイブリッドセラミックディスク対二ケイ酸リチウムボールと長石系セラミックボールの順であった。この4つの組み合わせは他の組み合わせと比較して非常に大きな値であった。最も摩耗したボール試料は、ハイブリッドセラミックボール対長石系セラミックディスクで、次いで長石系セラミックボール対長石系セラミックディスクと二ケイ酸リチウムディスクであった。

摩耗試験後のディスク試料を電子顕微鏡で観察したところ、長石系セラミックスと二ケイ酸リチウムボールに対合する長石系セラミックスとハイブリッドセラミックスディスクにおいて、大きなクラックが摩耗痕に沿って観察された。

有限要素解析において、スライディング中はボールの先端に大きな圧縮歪みを認め、ディスク側の接触点に強い圧縮歪み、その周りを取り囲む様に進行方向の前方と後方それぞれに引張り歪みを認めた。この歪み分布はどの組み合わせにおいても同様であった。FPとHCの同種材料が対合する組み合わせを除き、ボールとディスクで最大主歪みの値が大きい側の試料がより大きな摩耗量を示した。

ディスクの摩耗量は硬さや靱性値がボールよりも低い場合に著しく大きく、同様に同じ材料の組み合わせを除き、ボールの機械的性質がディスクよりも弱い場合にボールが大きく摩耗した。この結果は機械的性質と歯科用セラミックスの摩耗量に相関があるという過去の報告と一致した。二ケイ酸リチウムはいずれの組み合わせにおいても摩耗量は低く抑えられた。硬質レジンに関しては、他のセラミックスとは異なり、摩耗しにくく、摩耗させにくい傾向を認めた。

有限要素法を用いて算出された歪みの値を参照すると、ボールとディスクの摩耗量の相対的な大小は、有限要素法を用いて算出された相対的な歪みの大小と一致する組み合わせは多くを示した。前述の様に、ボールの接触部は圧縮歪みが主体であり、ボールがスライドしても歪み分布の変化は小さいが、ディスク側の接触部分は運動に伴って移動し、ディスク表面では引張り歪みを生じた直後に大きな圧縮歪みを生じ、またその直後に引張り歪みに移行するという急激な変化を示す。このことは、柔らかいハイブリッドセラミックや硬質レジンに比べて摩耗中の動的な歪み量の変化に対する耐性が高く、逆に長石系セラミックは歪みの変動に対する耐性が低くディスクの摩耗が促進されたと推察することができる。さらに、摩耗の進行に伴う形態の変化、

特にボール表面が平坦化する事で、ボールとディスクの接触面が増加し、ディスク側の摩耗が抑えられたとも考えらえる。

また、本研究において、ボールとディスクの相対的な摩耗量の大小関係を部分的に予測する事は可能であったが、各材料の組み合わせにおける摩耗量自体の大きさを予想することができなかった。摩耗量自体を予測するためには、一部の機械的性質だけでなく、複合的な因子を含む予測式が必要と考えられ、このことは従来機械摩耗の予測式の多くが複数の因子を含む数式によって提起されていることから明らかである。つまり、セラミック修復物とその対合の摩耗量を正確に予想するためには、材料の様々な物性に加え、他の環境因子を含めたさらなる研究が求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Yamazaki T, Murakami N, Suzuki S, Handa K, Yatabe M, Takahashi H, Wakabayashi N. Influence of block-out on retentive force of thermoplastic resin clasps: an in vitro experimental and finite element analysis. Journal of prosthodontic research. 2019.01 査読あり DOI: 10.1016/j.jpor.2019.01.002.

Kazuyuki Handa, Natsuko Murakami, Toshiki Yamazaki, Hidekazu Takahashi, Noriyuki Wakabayashi. The ball-on-disk cyclic wear of CAD/CAM machinable dental composite and ceramic materials. J Oral Sci. 2017.12; 59 (4): 589-596. 査読あり DOI: 10.2334/josnusd.16-0833.

〔学会発表〕(計 5 件)

N. Murakami, T. Yamazaki, S. Suzuki, M. Yatabe, H. Takahashi, N. Wakabayashi. Influence of block-out on retention of thermoplastic non-metal resin clasps. 96th General Session & Exhibition of the IADR IADR/PAN European regional congress 2018.07.28 London, England

N. Wakabayashi, H. Inagawa, N. Suzuki, K. Aoki, T. Yamazaki, C. Watanabe, N. Murakami. Validity of Young's Modulus Estimated Based on Computed Tomography. 96th General Session & Exhibition of the IADR 2018.07.28 London, England

長山富治, 和田淳一郎, 村上奈津子, 渡邊知恵, 水谷幸嗣, 高草木謙介, 内田博文, 若林則幸. 部分床義歯の設計が残存歯に対する固定効果に及ぼす影響: 基礎的検討. 日本補綴歯科学会 第 127 回学術大会 2018.06.17 岡山

山崎俊輝, 村上奈津子, 鈴木静, 半田和之, 谷田部優, 高橋英和, 若林則幸. ブロックアウト領域がノンメタルクラスプデンチャーの維持力に及ぼす影響. 日本補綴歯科学会第 127 回学術大会 2018.06.17 岡山

半田和之, 村上奈津子, 高橋英和, 若林則幸. CAD/CAM 用セラミックスにおける相互摩耗の分析. 日本補綴歯科学会第 125 回学術大会 2016.07.09 金沢

〔図書〕(計 1 件)

Wakabayashi N, Murakami N, Takaichi A. Handbook of Mechanics of Materials. Chapter 37: Current Applications of Finite Element Methods in Dentistry. Springer Nature Pte Ltd, 2019.03 (ISBN : 978-981-10-6855-3)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:

権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

東京医科歯科大学部分床義歯補綴学分野

<http://www.tmd.ac.jp/pro/index.html>

東京医科歯科大学研究情報データベース

http://reins.tmd.ac.jp/html/100007816_ja.html

6．研究組織

(1)研究分担者

(2)研究協力者

研究協力者氏名：半田和之

ローマ字氏名：(HANDA, Kazuyuki)

研究協力者氏名：山崎俊輝

ローマ字氏名：(YAMAZAKI, Toshiki)

研究協力者氏名：高橋英和

ローマ字氏名：(TAKAHASHI, Hidekazu)

研究協力者氏名：若林 則幸

ローマ字氏名：(WAKABAYASHI, Noriyuki)

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。