

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月21日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11565

研究課題名(和文) マイクロクラックの進行機序解析に基づくTooth wear予防法の確立

研究課題名(英文) Prevention for tooth wear from the perspective of micro-crack propagation analysis

研究代表者

高見澤 俊樹 (TAKAMIZAWA, Toshiki)

日本大学・歯学部・准教授

研究者番号：60373007

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)：実験室環境でTooth wearモデルを構築し、酸蝕因子および機械的因子の影響を検討することで、tooth wear進行に関する酸蝕因子と機械的因子との相互作用を解明とともにTooth wearの進行抑制および効果的予防法の確立を目的とした。
実験に際しては、pHサイクルおよび衝突摩耗試験を応用したTooth wearモデルを製作することで、その進展にはpH環境および衝突回数に関与していることを明らかとした。また、試作のマイクロクラック進行抑制材を用いた検討では、その進展抑制には歯質接着性および高い浸透性が望まれ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

歯の摩耗について実験モデルを製作してその摩耗の進行機序を解明することを目的とした。その結果、歯の摩耗の進行には口腔内のpH環境が関連し、pHが低い環境によって進行することが判明した。また、エナメル質に発生する細かい亀裂も摩耗の進行に関与するため、これを抑制する接着剤についても研究したところ、微小な亀裂への浸透と歯に接着する能力が求められることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to establish a tooth wear model, and to determine the influence of the factors of erosion and mechanical stress on the progression of tooth wear. Further, the research investigated the inhibition effect of an experimental agent on tooth wear. Bovine enamel specimens were subjected to sliding-impact wear testing with lactic acid solution or artificial saliva. Wear depth and volume loss were measured using a LSM. In addition, SEM observations were conducted when an experimental bonding agent was applied on enamel microcracks after simulated tooth wear model.

Tooth wear at 1,500 wear cycles with low pH solution showed 5 times volume loss and wear depth seen with artificial saliva. In the results of SEM observation, the experimental bonding agent showed superior infiltration ability to other commercially available bonding agents. When considering the inhibition of microcrack propagation, superior penetration and tooth adhesion capability may be required.

研究分野：保存修復学

キーワード：tooth wear 酸蝕 機械的ストレス マイクロクラック 浸透性 歯質接着

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

1. 研究開始当初の背景

Tooth wear は、機能障害、審美障害あるいは象牙質知覚過敏症状などの問題を引き起こすものの、世界的にも発症機序を含めた基礎的研究は少なく、特に予防法は確立していないのが現状である。Tooth wear の進行に関わる因子の一つである酸蝕は、増加傾向にある胃食道逆流症あるいは摂食障害などによる胃酸の口腔内への逆流と、スポーツドリンクや柑橘系飲食物あるいは薬剤などの過剰摂取によるものとの区別できる。いずれも口腔内の pH 環境の低下を招き、歯質のミネラル成分の損失を急速に生じることで Tooth wear が進行する。一方、咬合あるいはブラキシズムなどの機械的疲労因子によって発生した歯質のマイクロクラックは、Tooth wear の起点や進行に関与すると考えられているものの、その相互作用については不明な点が多い。Tooth wear の罹患者は社会環境あるいは食習慣の変化から、高齢者のみならず若年者を含めた世代にも広がっている。そのため、この疾患について広く国民に喧伝するとともに安全な処置法あるいは予防法が早急に必要とされる。

2. 研究の目的

実験室環境で Tooth wear モデルを構築することで Tooth wear への酸蝕因子および機械的因子の影響を検討する。この検討から、Tooth wear の進行に関与する酸蝕因子と機械的因子との相互作用を解明するとともに Tooth wear の進行抑制および効果的予防法の確立を目指すことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) Tooth wear モデルの構築

日常的に生じる酸蝕を考慮に入れた口腔内の pH サイクルを再現するとともに Impacting-sliding (衝突摩耗) 応力を併用することによって、歯質に生じる咀嚼・咬合などによる機械的疲労因子を考慮した Tooth wear モデルを製作した。すなわち、ウシ下顎前歯のエナメル質を 10×10×4 mm のブロックとして切り出し、エナメル質表層を温存するように調整し、これを衝突摩耗試験用試片とした。衝突摩耗試験機の治具に試片を装着し、エナメル質と同等の硬さを有するステンレスロッドをアンタゴニストとして、落下距離 5 mm、水平往復距離 2 mm、荷重 2.5 kgf の条件で、1 回の落下と 1 回の水平往復を 1 サイクルとする衝突摩耗試験を 0, 500, 1,000, 1,500 回行った。衝突摩耗試験中の試片の浸漬溶液は、37 の人工唾液 (pH 7.0) あるいは 0.1 M 乳酸緩衝液 (pH 4.75) に調整したリン酸水溶液を使用した pH サイクルを設定した。得られた試片を Tooth wear モデル試片とした。

(2) マイクロクラックの発生および進展機序の解明

所定の衝突摩耗回数を施した試片についてレーザー顕微鏡を用いて歯質に生じた状態変化を表面粗さ Ra (μm)、最大摩耗深さ (μm)、摩耗量 (mm^3) および表面性状のプロファイルから解析した。また、試片に生じたマイクロクラックについては、荷重に対する亀裂の伝播方向、亀裂深度および幅などの特徴について光干渉断層装置を用いて観察した。

(3) 歯質強化材および機能性モノマー含有ボンディング材の Tooth wear 抑制効果

上述の方法から製作した人工マイクロクラックに対してマイクロクラックの進行抑制材として機能性モノマー含有の試作マイクロクラック抑制材 (MCT-150) を用いた。対照として、象牙質知覚過敏抑制材である MS Coat Hys Block Gel (MS, サンメディカル) および接着システムである Scotchbond Universal (SU, 3M ESPE) を用いた。これらを製作したマイクロクラックモデルに塗布した後、試片をエポキシ樹脂に包埋、クラックに対して垂直方向に試片を割断し、走査電子顕微鏡 (SEM) 観察用試片とした。

(4) 3 点曲げ試験を応用したマイクロクラックの製作

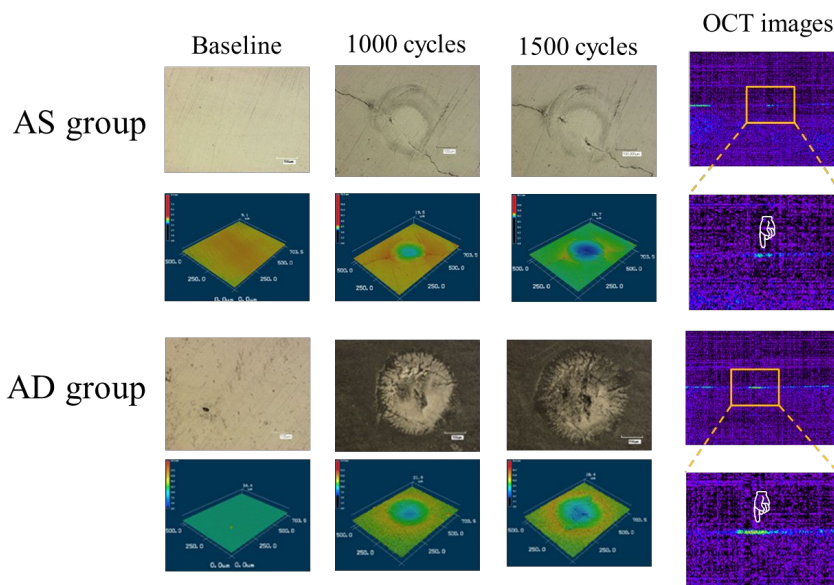
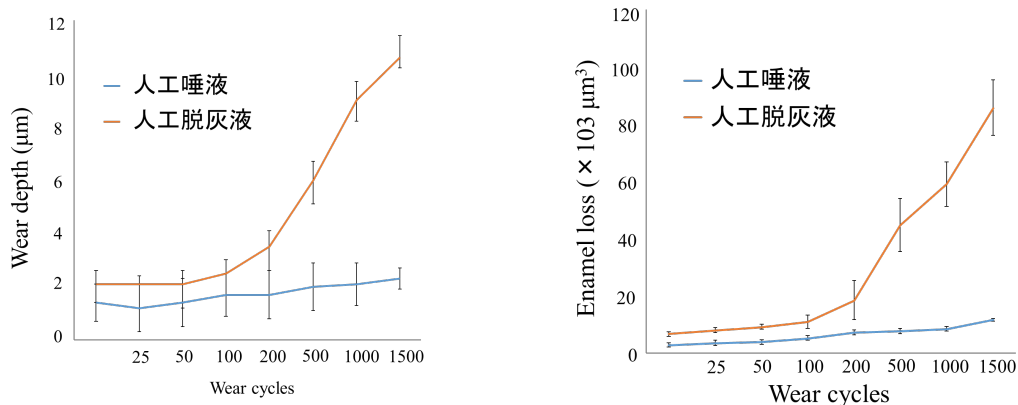
ウシ下顎前歯にエナメル質平坦面を形成、象牙質歯髄側を削合して厚さ 4 mm の試験用試片を作製した。製作した試片に万能試験機を用いて 3 点曲げ負荷を加え、マイクロクラックモデルを製作した。試片表面に製造者指示条件に従って材料を塗布した後、クラックに対して垂直方向に試片を縦切し、観察用試片とした。観察用試片は、LSM および SEM を用いて材料の浸透性について観察した。

4. 研究成果

(1) Tooth wear モデルの構築から得られた成果

摩耗量および摩耗深さは、浸漬溶液によって異なる傾向を示した。すなわち、人工唾液

(AS)および人工脱灰液(AD)浸漬群での摩耗量は $2.7 \sim 11.6 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ および $6.6 \sim 85.6 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ であった。一方、摩耗深さは、 $1.4 \sim 2.3 \mu\text{m}$ および $2.1 \sim 10.6 \mu\text{m}$ であった。いずれの浸漬溶液においても衝突回数500回以上で有意に大きくなる傾向を示した。LMS観察からは、初回の衝突による大小の衝撃亀裂が全試片に認められ、そのうち約半数に衝突によって生じた圧痕内に放射状に走る大きな亀裂を認めた。これらの亀裂は、摩耗回数の増加に伴ってエナメル小柱に沿った方向に拡大伸展し、マイクロクラックを引き起こすことが示された。また、衝突回数1,500回のOCTイメージにおいては、ASと比較してADの衝突部位のシグナルが強くなる傾向を示した。これは、ADの摩耗量がASと比較して大きく、衝突部位の形態変化が大きかったために、光線の反射散乱状態が変化したためと考えられた。その結果、クラックの発生は衝突摩耗の初期段階で発生し回数の増加とともにエナメル質の実質欠損が増加することが明らかとなった。また、浸漬溶液のpHにその摩耗量は依存することも判明した。



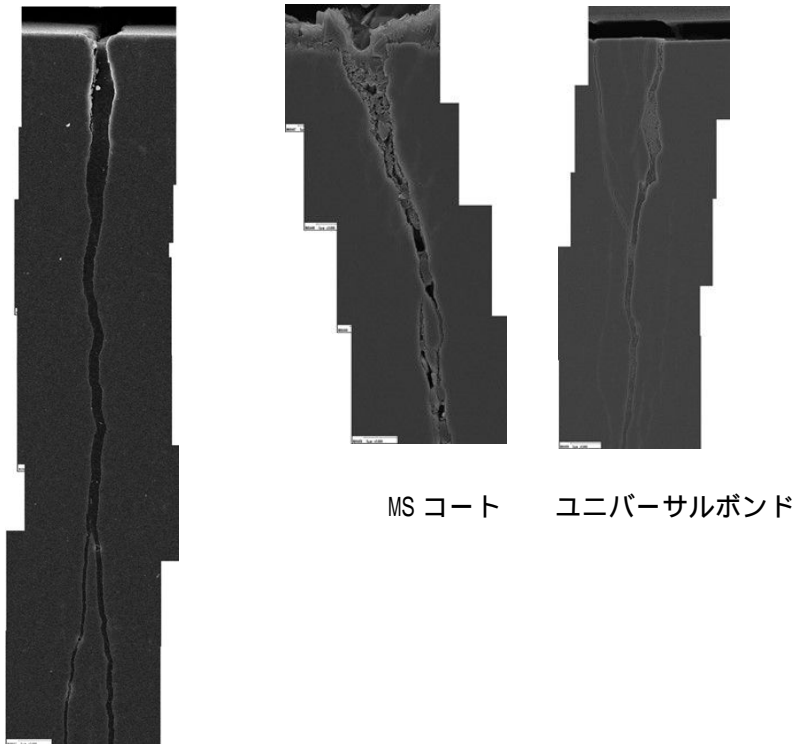
(2) 歯質強化材および機能性モノマー含有ボンディング材の Tooth wear 抑制効果

マイクロクラックの進行抑制材として機能性モノマー含有の試作マイクロクラック抑制材 (MCT-150), 象牙質知覚過敏抑制材である MS Coat Hys Block Gel (MS) および接着システムである Scotchbond Universal (SU) を人工的に製作したマイクロクラックに用いた際の、効果について SEM 観察から検討した。その結果、用いた材料の違いによってその浸透性は異なるものであった。特に試作マイクロクラック抑制材 (MCT-150) は、他の材料に比較して優れた浸透性を示した。

(3) 3点曲げ試験を応用したマイクロクラックの製作

これまでの Tooth wear モデルに更なる改良を加えてマイクロクラックの発生に焦点を絞った実験モデルを製作した。すなわち、ウシ下顎前歯にエナメル質平坦面を形成、象牙質歯髄側を削合して厚さ 4 mm の試験用試片を作製した。製作した試片に象牙質側から万能試験機を用いて 3 点曲げ負荷を加え、試片が破断する前に形成される人工マイクロクラックを得た。この人工マイクロクラックに異なる材料を塗布した際の浸透性およびその性状

について検討した。その結果，Tooth wear モデルと同様に用いた材料の違いによってその浸透性は異なるものであり，特に深さ方向およびマイクロクラックの幅によってその浸透程度は異なるものであった。



試作マイクロクラック抑制材

以上，3 かに渡る Tooth wear に関する基礎的研究から，その進展メカニズム，影響因子あるいは予防法について検討を行った。今後は，マイクロクラックの発生，進展に焦点を当てた研究に着手する予定である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- 1) Imai A, Takamizawa T, Sugimura R, Tsujimoto A, Ishii R, Kawazu M, Saito T, Miyazaki M (2019) Interrelation among the handling, mechanical, and wear properties of the newly developed flowable resin composites. J Mech Behav Biomed Mater 89, 72-80. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.09.019 査読有
- 2) Moritake N, Takamizawa T, Ishii R, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2019) Effect of active application on bond durability of universal adhesives. Oper Dent 44, 188-199. doi: 10.2341/17-384-L. 査読有
- 3) Suzuki S, Takamizawa T, Imai A, Tsujimoto A, Sai K, Takimoto M, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2018) Bond durability of universal adhesive to bovine enamel using self-etch mode. Clin Oral Investig 22, 1113-1122. doi: 10.1007/s00784-017-2196 査読有
- 4) Sai K, Takamizawa T, Imai A, Tsujimoto A, Ishii R, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M. (2018) Influence of application time and etching mode of universal adhesives on enamel adhesion. J Adhes Dent 20, 65-77. doi: 10.3290/j.jad.a39913 査読有
- 5) Takamizawa T, Barkmeier WW, Sai K, Tsujimoto A, Imai A, Erickson RL, Latta MA, Miyazaki M (2018) Influence of different smear layers on bond durability of various types of self-etch adhesive. Dent Mater 34, 246-259. doi: 10.1016/j.dental.2017.11.002. Epub 2017 Nov

13. 査読有

- 6) Fujiwara S, Takamizawa T, Barkmeier WW, Tsujimoto A, Imai A, Watanabe H, Erickson RL, Latta MA, Miyazaki M, Nakatuka T (2018) Effect of Double-Layer Application on Bond Quality of Universal Adhesive and Comparison with Conventional Single-Step or Two-Step Self-Etch Adhesives. *J Mech Behav Biomed Mater* 77, 501-509. doi: 10.1016/j.jmbbm.2017.10.008. Epub 2017 Oct 3. 査読有
- 7) Shibasaki S, Takamizawa T, Nojiri K, Imai A, Tsujimoto A, Endo H, Suzuki S, Suda S, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2017) Polymerization behavior and mechanical properties of high viscosity bulk fill and low shrinkage resin composites. *Oper Dent* 42, E177-E187. doi: 10.2341/16-385-L. Epub 2017 Oct 4. 査読有
- 8) Imai A, Takamizawa T, Sai K, Tsujimoto A, Nojiri K, Endo H, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2017) Influence of application method on surface free energy and bond strength of universal adhesive systems to enamel. *Eur J Oral Sci* 125, 385-395. doi: 10.1111/eos.12361. Epub 2017 Jul 27 査読有
- 9) Shibasaki S, Takamizawa T, Suzuki T, Nojiri K, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2017) Influence of different curing-modes on polymerization behavior and mechanical properties of dual-cured provisional resins. *Oper Dent*, 42, 526-536. doi: 10.2341/16-335-L. Epub 2017 Jun 12 査読有
- 10) Sai K, Shimamura Y, Takamizawa T, Tsujimoto A, Imai A, Endo H, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2016) Influence of degradation conditions on dentin bonding durability of three universal adhesives. *J Dent*, 54, 56-61 査読有

〔学会発表〕(計9件)

- 1) 古市哲也, 高見澤俊樹, 鈴木崇之, 杉村留奈, 森竹宣之, 宮崎真至, 日野浦 光 (2018) 新たなモデルを用いたマイクロクラック進行抑制材料の浸透性評価 . 第 37 回日本接着歯学会学術大会
- 2) 高見澤俊樹, 今井亜理紗, 細矢由美子, 廣兼栄造, 辻本暁正, 宮崎真至, 川本 諒, 日野浦 光 (2018) MDP がユニバーサルアドヒーズの象牙質接着耐久性に及ぼす影響 . 第 149 回日本歯科保存学会秋季学術大会
- 3) Takamizawa T, Imai A, Hosoya A, Tsujimoto A, Nojiri K, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2018) Handling, mechanical, and wear properties of recent flowable resin composites. 96th General session & Exhibition of the IADR
- 4) Takamizawa T, Imai A, Hosoya M, Sai K, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2018) Influence of smear layers on bond durability of self-etch adhesives. 47th Annual meeting & Exhibition of the AADR, Fort Lauderdale
- 5) 古市哲也, 高見澤俊樹, 秋葉俊介, 鈴木崇之, 陸田明智, 宮崎真至 (2017) SEM 観察による試作エナメルマイクロクラック進行抑制材料の浸透性評価 . 第 36 回日本接着歯学会学術大会
- 6) 高見澤俊樹, 辻本暁正, 今井亜里紗, 野尻貴絵, 鈴木崇之, 崔 慶一, 宮崎真至 (2017) スミヤー層の違いがセルフエッチングアドヒーズの象牙質接着耐久性に及ぼす影響 . 第 69 回日本歯科理工学会学術講演会
- 7) Takamizawa T, Endo H, Tsujimoto A, Imai A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2017)

Influence of different smear layers on dentin bond durability of self-etch adhesives. 10th World congress of International Federation of esthetic Dentistry

- 8) Takamizawa T, Shimamura Y, Hosoya Y, Sai K, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M (2017) Degradation of universal adhesive dentin bonds under different simulation condition. 95th General session & Exhibition of the IADR
- 9) 島村 穰, 安藤 進, 今井亜里沙, 田村ゆきえ, 高見澤俊樹, 宮崎真至, 日野浦 光, 宮 直利 (2016) 衝突摩耗試験を応用した Tooth Wear 挙動の解析. 日本歯科保存学会 2016 年度秋季学術大会 (第 145 回)

〔図書〕(計 0 件)

〔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

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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。