

令和 4 年 5 月 12 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K10158

研究課題名(和文) バイオメカニカル曲げ疲労試験を応用したマイクロクラック進展機序の解明

研究課題名(英文) Study on tooth micro crack using biomechanical fatigue bending strength test

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：衝突摩耗試験を応用することで口腔内環境をシミュレートしたエナメル質マイクロクラックモデルの構築とともにマイクロクラック進展機序の解明を試みた。牛歯エナメル質試片に対して衝突摩耗試験機の荷重回数とともに動作条件(タッピング、グライディング)を変更して、エナメル質に生じた変化を摩耗量の測定および亀裂進展状態から観察した結果、ファセットの出現は、衝突摩耗5000回で出現し、タッピングパターンの摩耗量はグライディングパターンのもものと比較して有意に高い摩耗量を示した。また、マイクロクラックは、初期の段階で生じるとともに、その進展はタッピングとグライディングパターンによって異なることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果から、咬合様式の違いはエナメル質の摩耗深さに影響を及ぼすとともにマイクロクラックの発生および進展に密接に関与することが判明した。特に、タッピングパターンの咬合様式は、エナメルマイクロクラックの起点となるとともにその摩耗の進行もグライディングパターンに比較して大きいところから、Tooth wearの進行にはタッピングパターンが深く関与していることが示唆された。これらの研究結果から、エナメル質に生じるマイクロクラックの発生およびtooth wearの進行は、タッピングモーションを有するブラキシターにおいて過度に進行する可能性を示唆し、今後の予防法にエビデンスを与えるものとなった。

研究成果の概要(英文)：Sliding and impact wear simulations were performed using bovine enamel specimens to determine wear behavior and generation of microcracks. Different chewing patterns, tapping and grinding, were simulated. Specimens were profiled using confocal laser scanning microscopy, and the mean maximum depth were measured. Scanning electron microscopy was also performed. The mean maximum depth of wear values differed according to the number of mastication cycles, with a higher number of cycles producing higher depths of wear. The facet wear depth was significantly greater with the tapping pattern than with the grinding pattern. SEM observation of the wear facets revealed that surface textures at the edges were rougher than those at the center of all facets. The results of this study indicated that the patterns and number of cycles of mastication affected the wear progression of enamel.

研究分野：歯科保存学

キーワード：マイクロクラック tooth wear 衝突摩耗 タッピングモーション

1. 研究開始当初の背景

エナメル質に生じたマイクロクラック(微小亀裂)は、自覚症状なく進展し、近年注目されている tooth wear の起点としてその進行に関与し、歯の破折、象牙質知覚過敏症、齲蝕あるいは審美障害を引き起こすものと考えられている。しかし、その発症に関する基礎研究は少なく、マイクロクラック進展のメカニズムについての詳細は不明な点が多い。また、実験室環境で規格化された再現性のあるマイクロクラックモデルの確立が求められているものの、いまだ検討されていないのが現状である。

歯冠部に生じた亀裂が多様な不快事項を誘発することについては、これまでも多くの指摘があった。すなわち、歯冠に生じた亀裂と歯髄炎あるいは歯の破折との関連性については、1950年代から報告がされている。また、マイクロクラックから派生する歯科疾患を Cracked-tooth syndrome あるいは Dental compression syndrome などと命名し、詳述している。しかし、これらの論文は肉眼で観察可能な亀裂が生じた歯に対する補綴学的治療法に関する総論的なものである。このように、歯冠部のマイクロクラックに関する研究は疫学調査あるいは臨床研究が主であり、実験室環境で亀裂の発生および進展機序などに焦点をあてた研究は、内外の文献を渉猟した範囲においても少ない。

近年、拡大視野下での歯科治療の広がりとともに光学特性を利用した診査・診断機器の進歩によって、亀裂の起始点となるマイクロクラックの存在が重要視されるようになってきている。このマイクロクラックは、tooth wear の起点や進行に関連し、歯の破折や象牙質知覚過敏症あるいは審美障害につながるものとされている(図1, 2)。また、マイクロクラックの拡大は、エナメル質表面の連続性を損なうため齲蝕の発生リスクが高くなる。しかし、マイクロクラックの進展メカニズムについては不明な点も多く、予防法および処置法も確立していないのが研究開始当初の背景である。

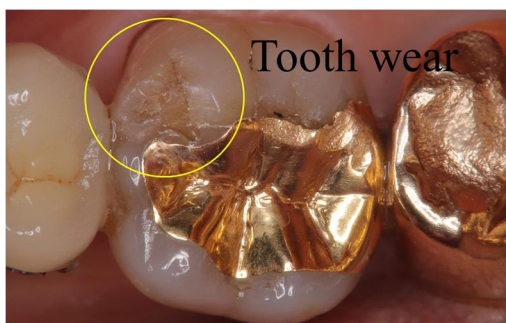


図 1.



図 2.

2. 研究の目的

歯冠に生じた亀裂に関する疫学調査からは、加齢に伴ってその発生頻度が増加する傾向を示し、通院する患者の 14,000 本の白歯のうち、ほとんどの歯にクラックが観察されている。これを鑑みると、多くの国民が自覚症状なくマイクロクラックが進展する可能性が考えられ、超高齢化社会にある本邦においては、医療経済的観点からも早急に解決すべき課題である。したがって、本研究の目的は口腔内環境をシミュレートしたエナメル質マイクロクラックモデルの構築とともにこのモデルを利用したマイクロクラック進展機序の解明にある。これによって、マイクロクラック進行抑制材あるいは簡易で効果的な予防法の確立が可能となる。

3. 研究の方法

(1) マイクロクラックモデルの構築

ウシ歯下顎前歯からエナメル質および象牙質の厚みが 1:1 となり、中央部にエナメル-象牙質境が位置する棒状試片を採取する。耐水性 SiC ペーパーの #1200 を用いて各面を研磨、最終的に 10×1×1 mm の 3 点曲げ試験用試片を製作する(図 3)。試片に対して 3 点曲げ応力を負荷し、破断までの応力-歪曲線を分析する(図 4)。破断後の試片について、亀裂の進展様式をレーザー顕微鏡(LSM)および走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて観察する。とくに、マイクロクラックの発生部位とエナメル質表層との関係あるいは亀裂進展方向および破断面性状におけるストライエーションなどについて分析する。

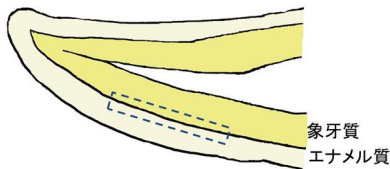


図 3 . 試験用試片の採取

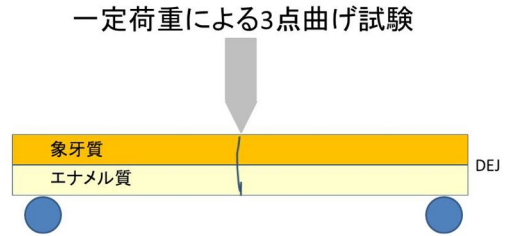


図 4 . 3 点曲げ試験

(2) 3 点曲げ疲労試験

申請者がこれまで行ってきた、接着疲労耐久性試験 (Takamizawa et al., Influence of frequency on shear fatigue strength of resin composite to enamel bonds using self-etch adhesives. J Mech Behav Biomed Mater 62, 291-298, 2016) の手法を応用する。すなわち、3 点曲げ試験用試片を製作し、試片に周波数 10 Hz の正弦波を 50,000 回負荷する (図 5)。荷重条件としては、3 点曲げ試験から得られた最大荷重の約 50% を最初の試片に負荷し、規定回数まで生存した場合は次の試片に 10% 増加した荷重を、破断した場合は次の試片に荷重を 10% 減ずる stair case method を用いる。3 点曲げ疲労強さの算出は、規定の回数に達する前に破断した試片の個数および破断時の荷重から 3 点曲げ疲労強さ (MPa) を求める。また、破断試片に関しては、亀裂進展の様相について観察するとともに破断に至らずに生存した試片のマイクロクラックについても同様に観察する。得られた 3 点曲げ疲労強さとマイクロクラックの観察から、エナメル質内にマイクロクラックを発生させる荷重を応力およびその分布について明らかにすることで口腔内におけるマイクロクラックの進展状況を解明する。

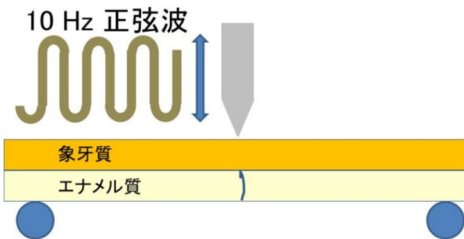


図 5 . 3 点曲げ試験疲労試験

(3) 衝突摩耗試験

咬合を原因とするマイクロクラックの発生機序を解明するために、衝突摩耗試験機を応用したモデルを構築するとともにマイクロクラックの発生が咬合状態とどのように関連しているかを検討した。すなわち、アンタゴニストとしてジルコニアスタイラスを用いて、牛歯エナメル質試片に対して摩耗試験機の荷重負荷および回数とともに負荷条件 (タッピング、グライディング) を変更して、エナメル質に生じた変化を摩耗量の測定および亀裂進展状態から観察する。

(4) マイクロクラック進行抑制材の評価

マイクロクラック進行抑制材の性能評価を行う。これまでの研究から、歯質と化学的な接着系を形成可能な機能性モノマー含有試作アドヒーズは、対照とした市販のユニバーサルアドヒーズに比較して優れた浸透性を示すことを明らかとしたものの、進行抑制効果の持続性については不明である。とくに、マイクロクラック修復後の耐久性についての評価が必要である。そこで、エナメル質内に留まるマイクロクラックを発生させた後、マイクロクラック進行抑制材を塗布、再度 3 点曲げ疲労強さを求めその効果を検討する。また、得られた結果から効果的な臨床術式について評価、検討する。

4 . 研究成果

口腔内環境をシミュレートしたエナメル質マイクロクラックモデルの構築を目的にその基礎となるデータ収集を行った。すなわち、牛歯を用いてエナメル質と象牙質が 1 mm 厚径となるように調整した試片を 10 mm × 2 mm × 2 mm の棒状に整形して、3 点曲げ試験片を製作し、試片の曲げ強さを求めた。求めた、曲げ強さの 50%、25% および 10% の加重を同じように調整した試片に負荷した後、レーザー顕微鏡観察からエナメル質に生じたマイクロクラックの進展を観察した。その結果、加重 10% から 25% の加重によって生じたマイクロクラックは、エナメル質内に留まっていることを確認した。この結果を基に、マイクロクラック進展の解析および繰り返し荷重応力の影響を検討するために疲労試験を共同研究機関であるクレイトン大学 (米国、ネブラスカ州) で行う予定であったものの、新型コロナウイルスの蔓延に伴い、渡米ができなかったことから、実験計画の変更を行った。

そこで、咬合を原因とするマイクロクラックの発生機序を解明するために、衝突摩耗試験機を

応用したモデルを構築するとともにマイクロクラックの発生が咬合状態とどのように関連しているかを検討した。すなわち、アンタゴニストとしてジルコニアスタイラスを用いて、牛歯エナメル質試片に対して摩耗試験機の荷重負荷および回数とともに負荷条件(タッピング, グライディング)を変更して、エナメル質に生じた変化を摩耗量の測定および亀裂進展状態から観察した。その結果、ファセットの出現は、衝突摩耗 5000 回で出現し、タッピングパターンの摩耗量はグライディングパターンのもものと比較して有意に高い摩耗量を示した(図 6)。

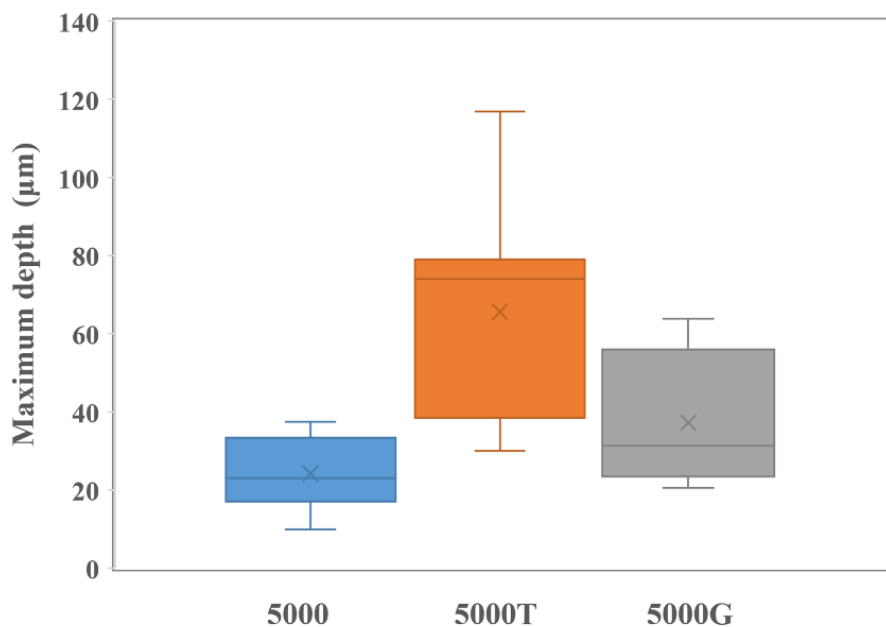


図 6. 最大摩耗深さ

また、SEM 観察からファセットの中央部に比較して辺縁部でマイクロクラックが多数観察された。マイクロクラックは、初期の段階で生じるとともに、その進展はタッピングとグライディングパターンによって異なることが判明した。すなわち、タッピングを主体とした衝突摩耗はグライディングを主体としたものと比較して、エナメル質の摩耗量も有意に高く、亀裂が深部まで達するとともに劈開による損耗パターンが顕著であった(図 7)

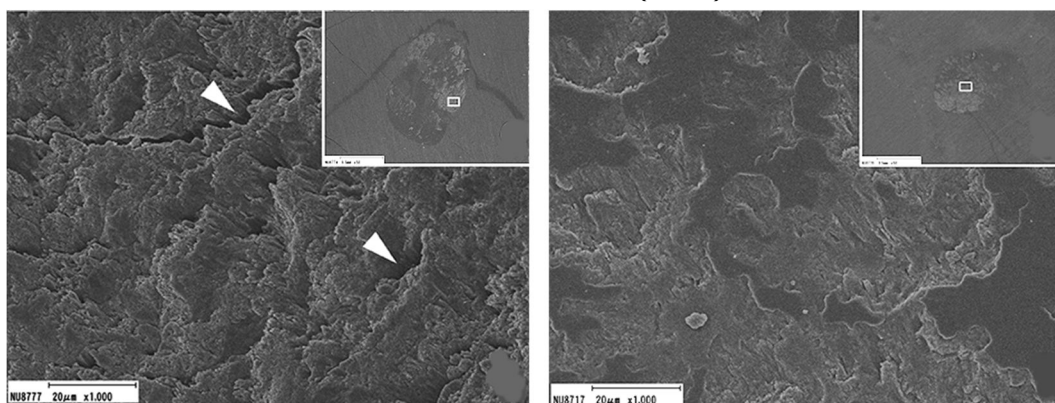


図 7. (タッピングモーション)

(グライディングモーション)

現在、このモデルを使用してバイオアクティブ材料のクラック進展抑制効果を検討することを今後の研究目的とした。すなわち、近年バイオアクティブ材料として注目されている亜鉛含有ガラスイオノマーセメントのクラック抑制効果とともに亜鉛の含有量を変更することで亜鉛とクラック進展抑制効果の関係性について検討している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takamizawa T, Imai A, Hirokane E, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Erickson RL, Latta MA, Miyazaki M	4. 巻 35
2. 論文標題 SEM observation of novel characteristic of the dentin bond interfaces of universal adhesives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dent Mater	6. 最初と最後の頁 1791, 1804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2019.10.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Takaeda M, Takamizawa T, Imai A, Suzuki T, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M	4. 巻 127
2. 論文標題 Immediate enamel bond strength of universal adhesives to unground and ground surfaces in different etching modes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Eur J Oral Sci	6. 最初と最後の頁 351, 360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/eos.12626	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kasahara Y, Takamizawa T, Hirokane E, Tsujimoto A, Ishii R, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M	4. 巻 37
2. 論文標題 Comparison of different etch-and-rinse adhesive systems based on shear fatigue dentin bond strength and morphological features the interface.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 e109, e117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2020.11.006. Epub 2020 Nov 25.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hirokane E, Takamizawa T, Kasahara Y, Ishii R, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M	4. 巻 25
2. 論文標題 Effect of double-layer application on the early enamel bond strength of universal adhesives.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Clinical Oral Investigation	6. 最初と最後の頁 907, 921
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00784-020-03379-1. Epub 2020 May 30.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tamura T, Takamizawa T, Ishii R, Hirokane E, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M	4. 巻 22
2. 論文標題 Influence of a primer resembling universal adhesive on the bonding effectiveness of an experimental two-step self-etch adhesive.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Adhesive Dentistry	6. 最初と最後の頁 635, 646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3290/j.jad.a45519.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wakamatsu K, Kurokawa H, Okuwaki T, Takamizawa T, Tsujimoto A, Shiratsuchi K, Ishii R, Miyazaki M	4. 巻 79
2. 論文標題 Ultrasonic measurement of dentin remineralization effects of dentifrices and silver diamine fluoride	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Odontol Scand	6. 最初と最後の頁 528, 535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00016357.2021.1906442.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Namura Y, Uchida Y, Inaba M, Kaetsu R, Utsu A, Takamizawa T, Miyazaki M, Motoyoshi M	4. 巻 130
2. 論文標題 Influence of masticating cycles and chewing patterns on inadvertent enamel wear caused by zirconia brackets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Eur J Oral Sci	6. 最初と最後の頁 e12831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/eos.12831	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shoji M, Kurokawa H, Takahashi N, Sugimura R, Takamizawa T, Iwase K, Katsuki S, Miyaki M	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of the effect of a glass ionomer cement containing fluoro-zinc-silicate glass on dentin remineralization using the ultrasonic pulse-echo method.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dent Mater	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2021-318.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takamizawa T, Ishi R, Tamura T, Hirokane E, Miyazaki M
2. 発表標題 Dentin bond durability of a two-step adhesive utilizing universal adhesives as a primer
3. 学会等名 KACD-JSCD Joint Meeting (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------