

令和元年6月7日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11543

研究課題名(和文)  $\mu$ CT-3D Visualization法を用いたレジンの重合収縮挙動解析と対策

研究課題名(英文) Analysis of polymerization contraction behavior of resin composite using Micro-CT-3D visualization method and that clinical countermeasur

研究代表者

吉川 孝子 (YOSHIKAWA, Takako)

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：00182733

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：窩洞内の光重合型レジンの修復物の重合収縮挙動と窩壁適合性への光照射法とレジンのタイプの影響を色素浸透試験と $\mu$ CT-3D visualization法を用いて検討した。コントラスト比(重合時の不透明度)が増加するレジンの方が、Slow-start curing法を用いて重合すると窩壁適合性が向上した。さらに、Slow-start curing法でレジンを重合硬化すると、実際の接着材を使用した窩洞内の光重合型レジンの修復物の体積収縮量を半減できた。 $\mu$ CT-3D visualization法は、窩洞内のレジンの修復物の重合収縮挙動を3次元画像として可視化し解析できることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、光重合型接着性レジンの修復物の重合収縮応力緩和効果を有し、窩壁適合性、窩洞内各部象牙質への接着強さを同時に向上させる接着性材料の特性と重合法を解明した。さらに、tooth wear、radiation cariesなどの歯の新たな欠損病態に対する臨床術式を示唆することが可能となった。これにより、高齢者や摂食障害、逆流性食道炎、放射線治療を受けた頭頸部悪性腫瘍患者の口腔環境を改善し、有病者のQOLの向上に寄与するものである。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to evaluate the effects of the light curing methods and resin composite composition on composite polymerization contraction behavior and resin composite adaptation to the cavity wall using  $\mu$ CT-3D visualization analysis and dye penetration test. The light-cured resin composite, which had increased contrast ratio (increasing opacity) during polymerization, improved adaptation to the cavity wall using the slow-start curing method. In the  $\mu$ CT-3D visualization method, the slow-start curing method reduced polymerization shrinkage volume of resin composite restoration to half of that produced by the conventional curing method in the cavity with adhesive for both composites.  $\mu$ CT-3D visualization method can be used to detect and analyze resin composite polymerization contraction behavior and shrinkage volume as 3D image in the cavity.

研究分野：医歯薬学

キーワード：重合、重合収縮、Micro-CT、色素浸透試験、Slow-start curing法、窩壁適合性、コントラスト比、コン  
ポジットレジン

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

### 1. 研究開始当初の背景

近年の高齢化社会の進展と摂食障害、逆流性食道炎による咬摩耗症や酸蝕症を含む tooth wear の増加、悪性腫瘍の増加による、口腔領域への治療用放射線照射による radiation caries と呼ばれる歯頸部齲蝕などの、歯の新たな欠損病態が見受けられるようになった。これらの欠損は、従来の Black の窩洞に対する金属を用いた修復法では解決できず、本邦で開発された接着性コンポジットレジンによる直接修復によってのみ保存的治療が可能である。これにより残存歯質を極力保存することが可能になり、従来の保存修復の概念が大きく変わろうとしている。しかしながら、コンポジットレジンでは重合硬化に伴い収縮し、この重合収縮はレジン修復物の窩壁とのギャップや辺縁漏洩を生じさせ、修復歯の予後に重要な影響を与えている。特に、光重合型レジンでは重合が急激に進むため、重合収縮によりレジンが窩底から引き剥がされ、エナメル質に比べ接着に不利な条件を備えている象牙質窩壁に対しては、未だ完全な窩壁適合性を獲得するまでには至っていない。一方、重合収縮力よりもレジンの歯質への接着強さが大きい場合には、レジンと歯質との剥離は生じないが、修復物周囲の歯質、特にエナメル質に亀裂が生じたり、患歯に歪みが起こることが報告されている。また、レジンの重合収縮による応力は、 $C\text{-factor} = \frac{\text{レジンの接着面積}}{\text{レジンの自由面積}}$  と定義され、I 級や V 級の箱型窩洞で最大となる。

申請者はこれまでに、光重合型レジンの重合収縮応力緩和法についての研究を多数行って来たが、接着システムを使用した実際の窩洞内レジン全体の重合収縮挙動を非破壊的に可視化し解析し、さらに、窩洞内のレジン修復物の重合収縮量を体積として算出した研究は、未だ世界で見られない。

### 2. 研究の目的

高齢化社会、摂食障害、逆流性食道炎による tooth wear や悪性腫瘍の増加による放射線治療で起こる、歯の新たな欠損病態が見受けられるようになった。これらは、接着性レジンによる直接修復によってのみ治療が可能である。しかしながら、レジンでは重合硬化により収縮し、修復物の予後に重要な影響を与えている。そこで、各種窩洞に接着材、レジンの組成、光照射法の異なるレジン修復を行い、レジン全体の収縮挙動を Micro-focus X 線 CT を使用して、非破壊的に可視化して解析した結果と、レジン修復物の歯質への適合性、接着強さとエナメル質亀裂を同時に評価し、各種被着体に対するレジンの重合収縮応力緩和効果を有する臨床術式を確立することを目的としている。

### 3. 研究の方法

(1) コンポジットレジンの象牙質接着強さは、平坦面の象牙質被着体に対して評価されることが多く、窩洞内各面に対するレジンの接着強さについての報告はほとんど認められない。そこで、各種ボンディングシステムを使用したレジンの接着強さに及ぼす窩洞内象牙質各面の影響について検討した。ヒト大白歯咬合面エナメル質を削除し、1級窩洞を形成した後、トータルエッチングシステム、one-stepセルフエッチングシステム、two-stepセルフエッチングシステムの3種のボンディングシステムのいずれかで処理し、光重合型コンポジットレジンで充填硬化した。それら試料の窩底と側壁のレジン-象牙質界面の接着強さを微小引張接着試験を用いて測定した。

(2) ヒト大白歯咬合面エナメル質を削除し、象牙質I級窩洞を形成した後、半数の試料は、窩壁を取除いて、窩底平坦面と側壁平坦面の試片を作製した。それら、窩洞と平坦面試料をone-step

セルフエッチングシステムのClearfil tri-S Bondかtwo-stepセルフエッチングシステムのClearfil SE Bondで処理し、光重合型コンポジットレジンで充填もしくは築盛し、硬化した。それら試料のレジン-象牙質界面の接着強さを微小引張試験を用いて測定した。

(3) ウシ下顎前歯の健全歯と60Gyの $\gamma$ 線照射歯を使用し、象牙質平坦面と象牙質円柱窩洞を作製した後、two-stepセルフエッチングシステムのClearfil SE Bondを使用して、光重合型コンポジットレジンのClearfil AP-Xを築盛もしくは充填し硬化した。それら試料の象牙質平坦面に対するレジンの微小引張接着強さと象牙質円柱窩洞のレジン修復物の窩壁適合性を評価した。

(4) ウシ下顎前歯の半数に60Gyの $\gamma$ 線を照射した。それら健全象牙質と $\gamma$ 線照射象牙質のnanohardnessと弾性率をnanoindentation testerを使用して測定した。また、健全歯と60Gyの $\gamma$ 線照射歯に象牙質円柱窩洞を作製し、one-stepセルフエッチングシステムのClearfil tri-S Bondかtwo-stepセルフエッチングシステムのClearfil SE Bondで処理した後、Clearfil AP-Xのレジンを充填硬化し、半数の試料に5,000回のサーマルストレスをかけた。サーマルストレス負荷ありと無しの試料の象牙質円柱窩洞のレジン修復物の窩壁適合性を評価検討した。

(5) ウシ下顎前歯唇側歯頸部に円柱窩洞を形成し、one-stepセルフエッチングシステムのClearfil tri-S Bond ND Quickを用い、重合に伴いコントラスト比が減少するタイプのClearfil AP-Xかコントラスト比が増加するタイプのClearfil Photo Brightの光重合型コンポジットレジンで充填した。通常照射法とSlow-start curing法(通常出力の45%の光の強さで照射した後、100%の光の出力で照射する)で重合硬化させた後、色素浸透試験を行い、辺縁封鎖性ならびに窩壁適合性を測定した。レジンの照射による重合前後のデータを3D Visualization Frameworkソフトウェアを用いて解析検討した。

#### 4. 研究成果

(1) I級窩洞の窩底と側壁のレジン-象牙質界面の微小引張接着強さの結果から、Single BondとClearfil tri-s Bondは、窩底面におけるレジンの接着の方が側壁面より有意に低い接着強さを示した。一方、Clearfil SE Bondでは、窩底面、側壁面に対する接着強さに有意差は認められなかった。

(2) C-factorのI級窩洞窩底と側壁に対する影響を検討した結果、どの被着面に対してもtwo-stepセルフエッチングシステムのClearfil SE Bondの方がone-stepセルフエッチングシステムのClearfil tri-S Bondより高い接着強さを示した。窩底、側壁共に、窩洞面より、各々の平坦面に体する接着強さの方が高かった。C-factorの影響は窩底よりも側壁象牙質に対する方が強いことを明らかにした。

(3) 健全歯と $\gamma$ 線照射歯を使用し、象牙質に対するレジンの接着強さと窩壁適合性を評価した結果、健全象牙質と $\gamma$ 線照射象牙質の接着強さに差は認められなかったが、象牙質円柱窩洞におけるレジン修復物の窩壁適合性は $\gamma$ 線を照射した群の方が健全象牙質よりも低下することが明らかとなった。さらに、SEM観察により、 $\gamma$ 線を照射した象牙質の破断面のみにコ

ラーゲン繊維が観察され、線照射は象牙質のコラーゲ繊維に何らかのダメージを起こすことが示唆された。

(4)健全象牙質とγ線照射象牙質の硬さと弾性率を測定した結果、60Gyのγ線照射を行うと、象牙質の硬さと弾性率が低下することが明らかになった。また、60Gyのγ線を照射すると、Clearfil SE bondを使用し、サーマルストレスの負荷が無い群で、レジン修復物の窩壁適合性が健全象牙質より有意に低下することが判明した。

(5)窩洞をコントラスト比の異なる光重合型コンポジットレジンで修復し、通常照射法とSlow-start curing法を用いて重合硬化し、色素浸透試験で評価した結果、コントラスト比が増加する光重合型レジンの方が、コントラスト比が減少するレジンよりも、Slow-start curing法を用いて重合すると、窩壁適合性が向上することが明らかとなった。また、臨床と同様に、接着システムを使用し、窩洞に填塞した光重合型レジンの重合前後の試料を、Micro-focus X線CTを用いて断層撮影を行い、その変位前後のデータを3D visualization frameworkソフトウェアを用いて再構築することにより、レジンの重合収縮を3次的に画像として可視化できる方法を見出した。この方法により、窩洞内のレジン修復物の重合収縮量を体積として算出する方法を確立した。さらに、このμCT-3D visualization法を使用して、Slow-start curing法によりレジン重合硬化すると、実際の窩洞内の光重合型レジン修復物の重合収縮量を半減でき、窩壁適合性が向上することも明らかにし、世界に先駆けて報告した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5件)

Takako YOSHIKAWA, Makoto ARAKAWA, Junji TAGAMI. Effect of radiotherapy on resin composite adaptation to the cavity wall and elastic modulus of dentin. Asian Pac J Dent, 19: 39-44, 2019. 査読有 <http://www.kssfp.jp/>

Takako YOSHIKAWA, Alireza SADR, Junji TAGAMI. μCT-3D visualization analysis of resin composite polymerization and dye penetration test of composite adaptation. Dental Materials Journal, 36 (1): 71-77, 2018. 査読有 DOI:10.4012/dmj.2016-323

Takako YOSHIKAWA, Alireza SADR, Junji Tagami. Effect of radiotherapy on resin composite bond strength and adaptation to dentin. Asian Pacific Journal of Dentistry, 17: 49-54, 2017. 査読有 <http://www.kssfp.jp/>

Takako YOSHIKAWA, Alireza SADR, Junji TAGAMI. Effects of C-factor on bond strength to floor and wall dentin. Dental Materials Journal, 35 (6): 918-922, 2016. 査読有 DOI:10.4012/dmj.2016-111

Takako YOSHIKAWA, Alireza SADR, Mamoto ARAKAWA, Junji TAGAMI. Bond strength of resin composites to cavity floor and cavity wall dentin. Asian Pacific Journal of Dentistry, 16: 23-26, 2016.

査読有 <http://www.kssfp.jp/>

〔学会発表〕(計 5件)

吉川孝子、SADR Alireza、田上順次. 光重合型レジン修復物の窩壁適合性への光照射法、接着システムとレジンタイプの影響. 第149回 日本歯科保存学会秋季学術大会、京都市勧業館みやこめっせ(京都府京都) 2018年11月1、2日

T. Yoshikawa, A. Sadr, J. Tagami. Dye Penetration Test and Micro-CT Observation of Resin Composite/Cavity-Wall Adaptation. 96th, IADR, London, England, July 25-28, 2018.

吉川孝子、SADR Alirez. 光重合型レジン修復物の窩壁適合性と $\mu$ CTによる重合挙動解析. 第147回 日本歯科保存学会秋季学術大会、盛岡地域交流センター(岩手県盛岡市) 2017年10月26、27日

T. Yoshikawa, A. Sadr, J. Tagami. Dye Penetration Test and Micro-CT Observation of Composite/Cavity-Wall Adaptation. 95th, IADR, San Francisco, CA USA, March 22-25, 2017.

吉川孝子、SADR Alireza、田上順次. 光重合型レジン修復物の窩壁適合性への光照射法とレジンタイプの影響. 第144回 日本歯科保存学会春季学術大会、栃木県総合文化センター(栃木県宇都宮市) 2016年6月9、10日

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: Alireza SADR

ローマ字氏名 SADR, Alireza

所属研究機関: 東京医科歯科大学

部局名: 大学院医歯学総合研究

職名: 非常勤講師

研究者番号: 20567755