

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25462950

研究課題名(和文) Micro X線CT画像を用いた光重合型レジンの重合収縮挙動解析とその臨床対策

研究課題名(英文) Analysis of polymerization contraction behavior of resin composite using micro X-ray CT image, and that clinical countermeasure

研究代表者

吉川 孝子 (YOSHIKAWA, Takako)

東京医科歯科大学・医歯(薬)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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：光重合形コンポジットレジンの重合収縮挙動と窩壁適合性についてMicro-focus X線CT、環境SEMと色素浸透法を使用して検討した。その結果、重合に伴いコントラスト比が増加する光重合型コンポジットレジンを使用し、Slow-start curing法により光照射を行い重合硬化させると、重合収縮が減少し、窩壁適合性が良好となることが判明した。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to evaluate polymerization contraction behavior of resin composites and composite adaptation to the cavity wall using micro-focus X-ray CT, environmental SEM and dye penetration test. The light-cured resin composite, which exhibited increased contrast ratios during polymerization, decrease polymerization contraction volume, and improve resin composite adaptation to the cavity wall using the slow-start curing method.

研究分野：医歯薬学

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

## 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、 $C\text{-factor} = \frac{\text{レジン接着面積}}{\text{レジン自由面積}}$  と定義され、I 級や V 級の箱型窩洞で最大となる。また、近年ランプ寿命が長く照射器を軽量化できる、青色発光ダイオード (青色 LED) 照射器が開発され、既に臨床に使用されている。しかしながら、青色 LED 照射光の波長の範囲は狭く、低波長の光に反応するアシルフォスフィンオキサイド類の光増感剤を含有する接着材やレジンに使用すると、重合が不完全となり接着が低下すると考えられるが、詳細な研究は認められないまま臨床使用されて

いるのが現状である。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、レジン全体の重合収縮挙動を Micro-focus X 線 CT を使用して、試料を半切することなく非破壊的に可視化し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の四者を同時に評価した研究は、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の四者を同時に評価し、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) 深さ 2 mm のテフロンモールドに、Clearfil AP-X、Clearfil Photo Bright Palfique Estelite の Vita シェードの A3 と B4 に対応するおのおの 2 種類のシェードのレジンを充填し、Slow-start curing 法と通常の光照射法により重合硬化させた。硬化物をモールドから取り出し、その表面と底面のヌーブ硬さを光照射終了直後に測定を行い、底面の硬さを表面の硬さで割った Hardness ratio を求めた。

(2) ヒト抜去大白歯の咬合面エナメル質を削除し、スチールバーで仕上げた象牙質平

坦面を作製した。3種の接着システムで処理した後、光重合型レジンで築盛し、重合硬化させた。試片を切り出し残存象牙質厚さ(RDT)を測定した後、微小引張り接着強さを測定した。

(3) ヒト大臼歯頬舌側歯頸部に、円柱状窩洞を形成した。このエナメル質象牙質窩洞に、Clearfil Liner Bond Σを用い、光重合型レジンのClearfil Photo BrightとPalfique Esteliteを填塞した。これらレジン通常照射法とSlow-start curing法で重合硬化させた後、これら試料にサーマルストレスを与え、色素浸透試験を行った。これらの辺縁封鎖性ならびに窩壁適合性を測定評価した。

(4) ヒト大臼歯頬舌側歯頸部に、円柱状窩洞を形成した。このエナメル質象牙質窩洞に、Clearfil Liner Bond Σを用い、光重合型レジンのClearfil Photo BrightとPalfique Esteliteを填塞した。通常照射法とSlow-start curing法で重合硬化させた後、試料にサーマルストレスを与え、色素浸透試験を行った。辺縁封鎖性ならびに窩壁適合性を測定した。その後、同一試料の、レジン-歯質接合界面とエナメル質の亀裂を環境SEM(環境制御型電子顕微鏡)により観察評価した。

(5) ウシ下顎前歯唇側歯頸部に円柱窩洞を形成した。Clearfil tri-S Bond ND Quickを用い、Clearfil AP-XとClearfil Photo Brightのレジンで填塞した。通常照射法とSlow-start curing法で重合硬化させた後、試料にサーマルストレスを与え、色素浸透試験を行った。辺縁封鎖性ならびに窩壁適合性を測定した。この際、Micro-focus X線CTを用いて、硬化前後のレジン修復物の断層撮影を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 通常の光照射法で光重合型コンポジットレジン硬化すると、レジン材料、シェー

ドにかかわらず、全ての群で重合直後のレジン試片の表面が底面に比べ有意にヌーブ硬さが高くなった。Slow-start curing法により重合すると、窩底部レジンの重合促進効果が認められることが確認された。Clearfil Photo Brightの様にレジンの重合に伴いコントラスト比が増加する(レジンの重合に伴い不透明度が増す)光重合型レジンやPalfique Esteliteの様にレジンの重合の際のコントラスト比がほぼ変化しないレジンの方が、Clearfil AP-Xの様にレジンの重合に伴いコントラスト比が大きく減少する(レジンの重合に伴い透明度が大きく増す)レジンよりも窩底部レジンの重合促進効果が高く、重合収縮応力を緩和する可能性が示唆された。

(2) 全ての群でClearfil Mega Bondが最も高い接着強さを示した。Clearfil Mega BondとClearfil tri-S Bondの接着強さはRDTと相関があり、Single Bondの接着強さはRDTの影響を受けないことが明らかとなった。レジンの象牙質接着強さへ及ぼすRDTの影響は、ボンディングシステムにより異なる傾向を示すことが判明した。

(3) 色素浸透試験の結果から、Slow-start curing法を用いるとClearfil Photo Bright、Palfique Esteliteどちらのレジン修復物においても、窩壁適合性が通常照射法に比べ有意に向上した。また、Clearfil Photo Brightでは、Slow-start curing法を用いると辺縁封鎖性も通常照射法に比べ有意に向上した。辺縁封鎖性はコントラスト比が増加する光重合型レジンの方が、コントラスト比の減少するレジンよりも重合収縮応力を緩和し良好となることが明らかとなった。

(4) 環境SEMの観察の結果から、コンポジットレジン修復物周囲に発生するホワイトマージンと呼ばれる現象が、レジンの重合

収縮による修復物辺縁から 30-200 μm 周辺部のエナメル質の亀裂であることが判明した。また、色素浸透試験の結果から、Slow-start curing 法を用いると窩壁適合性は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重合収縮応力を緩和し良好となることが明らかとなった。環境 SEM の観察からも同様の結果が確認された。色素浸透試験と環境 SEM の観察結果には高い相関が認められた。

( 5 ) Micro-focus X 線 CT の画像解析と色素浸透試験の結果から、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、重合収縮量が減少し、さらに、窩底部レジンの重合促進効果により重合収縮応力を緩和して、窩壁適合性が向上することが明らかとなった。しかしながら、エナメル質の辺縁欠陥は全ての群に認められた。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

Takako YOSHIKAWA, Makoto MORIGAMI, Alireza SADR, Junji TAGAMI. Environmental SEM and dye penetration observation on resin-tooth interface using different light curing method. Dental Materials Journal, 35 (1): 89-96, 2016. 査読有

Takako YOSHIKAWA, Makoto MORIGAMI, Alireza SADR, Junji TAGAMI. Environmental observation of enamel crack and resin-tooth cavity gap formation. Asian Pacific Journal of Dentistry, 15: 13-19, 2015. 査読有

Takako YOSHIKAWA, Makoto MORIGAMI,

Alireza SADR, Junji TAGAMI. Effects of light-curing method and resin composite composition on composite adaptation to the cavity wall. Dental Materials Journal, 33(1): 499-503, 2014. 査読有

Takako YOSHIKAWA, Makoto MORIGAMI, Alireza SADR, Junji TAGAMI. Effects of light curing method and resin composite composition to the enamel and dentin cavity wall. Asian Pacific Journal of Dentistry, 14: 13-18, 2014. 査読有

Takako YOSHIKAWA, Makoto MORIGAMI, Alireza SADR, Junji TAGAMI. Acceleration of curing of resin composite at the bottom surface using slow-start curing methods. Dental Materials Journal, 32(6): 999-1004, 2013. 査読有

吉川孝子, SADR Alireza, 田上順次. 大白歯咬合面窩洞の残存歯質厚さとレジン接着性の影響. 日本歯科保存学雑誌, 57(1): 67-72, 2013. 査読有

〔学会発表〕(計 4 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

T. Yoshikawa, M. Morigami, A. Sadr. Effects of Light-Curing Method and Bonding on Different-Type Composite / Wall Adaptation. ADM, Maui, HI, USA, Oct 7-10, 2015.

T. Yoshikawa, M. Morigami, A. Sadr. Effects of Light-Curing Method and Resin Composite Composition on Composite / Wall-Adaptation. 93rd, IADR, Boston, MA, USA, March 11-14, 2015.

吉川孝子、趙 永哲、田上順次. 光重合型コンポジットレジンの窩底部重合促進効果. 第138回 日本歯科保存学会秋季学術大会、福岡国際会議場(福岡県福岡市)、2013年6月、27、28日

## 6 . 研究組織

### (1)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

### (2)研究分担者

Alireza SADR ( SADR, Alireza )  
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・非常勤講師  
研究者番号 : 20567755