

ONLINE ISSN 2188-0808

日本歯科保存学雑誌

*THE JAPANESE JOURNAL OF
CONSERVATIVE DENTISTRY*

日歯保存誌 Jpn J Conserv Dent

特定非営利活動法人

日本歯科保存学会

<https://www.hozon.or.jp>

2026

April Vol. 69 No. 2



J-STAGE <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikahozon/-char/ja>

Bioceramic material

バイオセラミックスが
封鎖性と生体親和性を向上

根管充填シーラとして

充填法

- ・シングルポイント法*
- ・側方加圧法
- ・垂直加圧法



誰が練っても
いつも同じ仕上がり

歯科用覆髄材料・
歯科用根管充填シーラ

ニシカキャナルシーラー[®] BGmulti

覆髄材として

ペーストにパウダーを
混ぜると覆髄にも
使いやすい性状に。



[包装・標準価格]

ペースト：1本 [A材 4.5g(2.5mL)、B材 4.5g(2.5mL)]・13,000円 / パウダー：1個 [2g]・10,200円 / セット：ペースト1本、パウダー1個・22,000円

管理医療機器 一般の名称：歯科用覆髄材料・歯科用根管充填シーラ 医療機器認証番号：302ADBZX00055000 製造販売元：日本歯科薬品株式会社

*シングルポイント根管充填用ツール「BG-JR」を販売しています。詳しくは、特設サイトをご覧ください。

【特設サイト】



KENDA

2026年2月新発売 シリコンポリッシャー

- ・コンポジットレジン用
- ・すべてのジルコニア・セラミック類用
- ・すべてのメタル類用



コンポジットをスピーディーに
ジルコニアやチタンに確実なツヤを



- 1 スイス製で1本250円から
- 2 研磨ペースト不要
- 3 シリコン印象材メーカーから生まれたシリコンポリッシャー

- 4 滅菌可能



@COLTENE.JP



FOLLOW US

お問い合わせ コルテンジャパン合同会社 042-595-6945

販売名:シリコンポリッシャー 届出番号:13B1X10231000133

 **COLTENE**

GC友の会70周年記念

第6回国際歯科シンポジウム

東京国際フォーラム(東京都千代田区丸の内3-5-1)

2026.10.3 SAT ▶ 4 SUN

大変お得な
早割申込受付中

2026年6月末まで



THE 6TH INTERNATIONAL
DENTAL SYMPOSIUM

英知の結集

80億人の笑顔を育む歯科医療
Gather Knowledge, Create "8 billion" Smiles!



60を超えるセッション
※2026年1月現在
約200名の登壇講師



instagram



NEO DENTAL CHEMICAL
PRODUCTS CO., LTD.

RENEW



素材の品質も
性能の一部です。

1本で覆髄から裏層まで！

DirectCapping+BaseLiner CAVIOS with MTA

トドイデ タレナイ

新黒Sチップ標準添付



MTA成分「ネオホワイトピュア®」を配合したスムーズで切れの良い、歯質へのなじみが高い直接覆髄裏層材です。MTAの効果発現を促す処方により光重合裏層材としての工学的性質に加え、直接覆髄材としての性能を有します。1本で覆髄にも裏層にも使える2in1製材です。従来のMサイズチップに代わり新たにSサイズ遮光チップを標準添付しました。微細な部分への到達性が高まっただけでなく、適量がより細かくコントロール可能となり、同時にペーストの垂れも低減されました。

光重合 覆髄+裏層材

D-Cavios® MTA

ネオホワイトピュア®配合

1.5g入シリンジ 1本
先端チップ 15本 (Sサイズ)
標準価格 6,500円

補充用 ネオ ブラックチップ(S) 30本 **NEW**
一般医療機器
医療機器届出番号 13B1X00154000013 標準価格 2,000円

※従来のMサイズは単品でお求めいただけます。

覆髄+裏層 2in1
D-キャビオス®MTA

医療機器認証番号 304ADBZX00054000
歯科用覆髄材料(歯科裏層用高分子系材料)
管理医療機器

製造販売業者

ネオ製薬工業株式会社

〒150-0012 東京都渋谷区広尾3丁目1番3号
Tel. 03-3400-3768(代) Fax. 03-3499-0613

「ネオホワイトピュア」は太平洋セメント株式会社の登録商標第 6125963 号です。

LA2507

日本人の歯根と根管，上下顎骨，上顎洞，下顎管，形態異常歯…
形態学の豊富なデータを“やさしく”ビジュアルにまとめた決定版！



エンド・ペリオ・外科に役立つ

日本人の 歯根・根管形態 ビジュアルブック

小川 淳 編著

- A4 判変 / 152 頁 / 2 色刷り
- 定価 8,800 円 (本体 8,000 円 + 税 10%)
- ISBN978-4-263-44760-4
- 注文コード : 447600

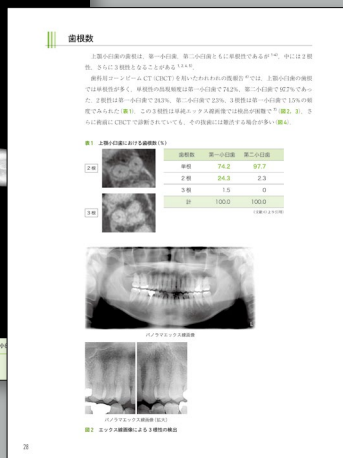


詳しい内容は
二次元コードの
リンク先から！

- ❖ 形態学の臨床研究を長年ライフワークとしてきた著者がまとめた“令和のビジュアルブック”です
- ❖ あらゆる歯科臨床の基礎を支え，歯科医師・歯科衛生士の診断，治療技術向上のための一助となる一冊です



ビジュアルで
わかりやすい!



臨床に役立つ
詳細なデータ!



シン・歯科保存学—美しき挑戦 新・真・深



日本歯科保存学会 2026 年度秋季学術大会（第 165 回）大会長
松本歯科大学歯科保存学講座（歯内）
増田 宜子

令和 8（2026）年 11 月 19 日（木）、11 月 20 日（金）の 2 日間にわたり日本歯科保存学会秋季学術大会（第 165 回）、第 27 回日韓歯科保存学会学術大会を松本市のキッセイ文化ホールで開催いたします。今回の大会テーマは、「シン・歯科保存学—美しき挑戦 新・真・深」です。イメージは、GODZILLA ではなく SWAN、白鳥です。松本市にほど近い安曇野犀川には毎年、白鳥が飛来します。2025 年は、500 羽を超える白鳥が飛来しました。白鳥は、4,000 km 離れたシベリアから飛来し生後 3 か月の幼い鳥も一緒にやってきます。白鳥の美しく柔らかな白、しなやかで強い飛翔、幼鳥を含めた一団をリーダーが導き目的地に到着する姿は、歯科保存学と重なるところが多いため、今回ポスターにも掲載し、シン・歯科保存学のイメージといたしました。

大会プログラムでは、日韓歯科保存学会共催のため若手セッション、韓国特別講演がございます。特別講演 1 に米国 UCLA 歯内治療学教授の Nadia Chugal 先生をお招きし、最新の研究・臨床・教育についてご講演いただきます。特別講演 2 では、塚崎雅之先生（昭和医科大学）に「シン・骨代謝学—細胞達の美しい世界」と題してご講演をいただく予定です。新たな時代の風を感じていただけたらと思います。シンポジウム 1 は、「骨からみたシン・歯科保存学」と題し、自見英治郎先生（九州大学）、森本泰宏先生（九州歯科大学）、門倉弘志先生（明海大学）にご講演いただきます。シンポジウム 2 は、「次世代によるシン・歯周治療への挑戦！」と題し、芝 多佳彦先生（東京科学大学）、倉治竜太郎先生（日本歯科大学）、尾崎 聡先生（尾崎歯科医院）に最新のトピックをご講演いただく予定です。

教育講演は、弁護士で歯科医師の小幡 真先生にご講演いただきます。本講演は、日本歯科専門医機構共通研修として申請予定です。

学会主導型シンポジウムは、日本歯科審美学会と連携し、最新のトピックを高見澤俊樹先生（日本大学）、椋 由理子先生（むくのき歯科医院）、品川淳一先生（上野品川歯科・矯正歯科）にご講演いただく予定です。そのほか、認定研修会、歯科衛生士シンポジウム、認定歯科衛生士教育講演、ランチョンセミナー、一般口演、ポスター発表などのプログラムもご用意しています。詳細につきましては大会ホームページでご案内させていただきます。

秋の松本は、紅葉が美しく、澄んだ空気と空、北アルプスからの光を浴びて絵画のような美しさです。思い切り深呼吸して信州の美味を堪能し、明日への活力を養っていただけたらと存じます。

医局員一同全力で準備に取り組んでまいります。皆様のご参加を心よりお待ちしております。

日本歯科保存学会 2026 年度秋季学術大会（第 165 回）案内

日本歯科保存学会 2026 年度秋季学術大会（第 165 回）は、2026 年 11 月 19 日（木）・20 日（金）、長野県松本市（担当校：松本歯科大学歯科保存学講座（歯内）、大会長：増田宜子教授）において、下記のとおり開催（現地開催およびオンデマンド配信）することとなりました。多数の会員の皆様方の発表とご参加をお願い申し上げます。

2026 年 4 月
特定非営利活動法人 日本歯科保存学会
理事長 北村知昭

1. 会 期 2026 年 11 月 19 日（木）・20 日（金）
本学術大会では、2026 年 12 月 3 日（木）正午～16 日（水）正午の期間、オンデマンド配信を予定しております。
2. 会 場 キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）
〒390-0311 長野県松本市大字水汲 69-2
TEL：0263-34-7100
3. 発表形式選択

下記、7つの中から選択ください。

- ・一般発表（口演）
- ・一般発表（ポスター）
- ・一般発表（ポスター）※『優秀発表賞（優秀ポスター賞）』の選考対象（事前エントリー制）
- ・歯科保存専門医・上級医症例発表（ポスター）※『歯科保存専門医・上級医優秀症例発表賞』の選考対象（事前エントリー制）
- ・認定医症例発表（ポスター）※『認定医優秀症例発表賞』の選考対象（事前エントリー制）
- ・歯科衛生士発表（一般/症例）（口演）
- ・歯科衛生士発表（一般/症例）（ポスター）

筆頭発表者は本学会会員に限りますが、共同発表者に非会員を含む場合は、演題 1 件につき抄録掲載料として 1 名当たり 5,000 円を徴収します。なお、学術大会参加時には別に参加費が必要となります。発表形式の要領は以下のとおりです。臨床家の先生方の参加に配慮するよう、口演およびポスター発表においても、症例報告や検査・診断・治療テクニック・新材料・新技術の紹介など、臨床に即した内容の発表も歓迎します。

また、本学術大会におけるポスター発表では、これまでの事前エントリー制の『優秀発表賞（優秀ポスター賞）』に加え、歯科保存専門医・上級医および認定医による事前エントリー制のポスター症例発表演題を対象とする『歯科保存専門医・上級医優秀症例発表賞』と『認定医優秀症例発表賞』の選考と表彰を行いますので、奮って登録願います。

1) 口 演

- ◆現地発表または動画発表となります。
- ◆発表時間は 8 分、質疑応答が 2 分です。円滑な会の進行と討論を実現させるため、発表時間は厳守してください。
- ◆発表は液晶プロジェクターを使用します。プロジェクターは 1 台しか使用できません。
- ◆発表に使用するスライド中の図表およびその説明・注釈は英文で表記してください。
- ◆動画ファイルは、Microsoft PowerPoint ファイルに音声を書き込んだ mp4 データをお送りいただきます。
- ◆オンデマンド配信期間中は、専用ホームページにて口演発表として公開されます。
- ◆会場発表に使用するファイルを記録した CD-R の事前送付は不要です。学会当日、ファイルを記録した USB メモリ（または CD-R）をご持参ください。当日は「PC 受付」にて、口演開始 1 時間前までに必ずファイルの確認と修正を終えてください。
- ◆詳細は、後日ホームページにてご案内いたします。

2) ポスター発表

- ◆ポスター発表は、現地発表用（印刷版）とオンデマンド配信用（PDF ファイル）を作成いただきます。
- ◆オンデマンド配信期間中は、専用ホームページにてポスター発表として公開されます。
- ◆ポスターの掲示形式の詳細は「6. ポスター発表掲示形式」をご覧ください。

◆詳細は、大会ホームページにてご案内いたします。

4. 発表の申込み

学術大会ホームページ (<https://shikahozon.jp/165>) による受付となります。

1) 演題申込方法

- ・一般発表における筆頭発表者には、演題登録時に COI (conflicts of interest) に関する自己申告書の提出が求められます。様式等の詳細については学術大会ホームページをご参照ください。
- ・演題発表には、本会機関誌と同等の倫理規程が適用されます。詳細については、学会ホームページ (https://www.hozon.or.jp/member/ethics_code.html#meeting_ethics) をご確認ください。

2) 演題申込期間

2026年6月4日(木) 正午～2026年8月3日(月) 14:00

学術大会ホームページよりご登録ください。

演題申込期間の延長はいたしませんので、期間内に奮ってお申し込みください。

一般演題の登録は、すべて学術大会ホームページ内の「演題登録システム」にて受付いたします。

「演題登録システム」以外の受付は一切できませんのでご注意ください。

3) 登録項目

演題登録画面にて、以下の項目を入力してください。

- ・発表形式区分: 「口演」「ポスター」「歯科衛生士口演」「歯科衛生士ポスター」から選択ください。
- ・筆頭発表者: ①氏名 ②ふりがな ③英文氏名 ④会員番号
- ・所属: ①所属名(日本語・英語) ②住所 ③電話 ④FAX ⑤E-mail アドレス
- ・共同発表者: ①氏名(日本語・ふりがな・英語) ②会員資格の有無 ③会員番号 ④所属
- ・発表内容: 分野(「修復」「歯内」「歯周」「その他」から選択ください。)
- ・図表・写真の有無: 図表・写真を掲載する場合は、グレースケールでご作成ください。図表についての説明・注釈は英文表記となります。ご協力をお願いいたします。
- ・『優秀発表賞(優秀ポスター賞)』へのエントリーの有無について登録願います。
- ・『歯科保存専門医・上級医優秀症例発表賞』または『認定医優秀症例発表賞』へのエントリーの有無について登録願います。

備考: 患者国民が期待する質の高い治療法や機器等の活用法についての情報共有化を図るために、本学術大会では「ポスター」発表において、『歯科保存専門医・上級医優秀症例発表賞』と『認定医優秀症例発表賞』を設け、それぞれ1演題の選考と表彰を行いますので、奮って登録願います。

4) 演題・抄録提出時の注意点

- ・2026年8月3日(月) 14:00の抄録提出期限まで、ホームページ上で何度でも更新・変更が可能です。
- ・演題・抄録の申込方法の詳細はホームページ上で公開いたしますので、ご確認ください。
- ・ご登録いただきました際には、受信確認のE-mailが自動送信されます。
- ・締切直前はアクセスが集中し回線の混雑が予想されますので、余裕をもってご登録ください。
- ・以下の研究発表および国内未承認薬・未承認治療法の使用を含む症例報告の場合は、所属機関の倫理委員会・動物実験委員会、未承認新規医薬品等審査委員会等、あるいは日本歯科保存学会臨床・疫学倫理審査委員会等の適切な審査機関による承認を得ている研究であることを抄録に明記してください。
 - (1) ヒトを対象とした研究発表
 - (2) 動物を対象とした研究発表
 - (3) 臨床試料(ヒト抜去歯など)を用いた研究発表
 - (4) 適応外使用の薬剤・機器あるいは国内未承認薬・未承認治療法の使用を含む研究発表および症例報告
 - (5) 再生医療等安全性確保法に定められている再生医療等技術を含む研究発表および症例報告なお、承認済の適応材料を用いた症例報告は大変貴重ですので、奮ってお申し込みください。
- ・採択の段階で、ご希望の形式以外での発表をお願いする場合があります。最終的な決定は、大会長にご一任ください。

5) その他

- ・学会開催期間中の演者による抄録訂正は認められておりません。
- ・筆頭発表者は日本歯科保存学会の会員に限ります。学会入会希望者は下記の学会事務局までお申し込みください。学術大会運営事務局ではございませんのでご注意ください。

【入会問合せ先】 〒170-0003 東京都豊島区駒込 1-43-9

(一財) 口腔保健協会内 日本歯科保存学会事務局

TEL : 03-3947-8891 FAX : 03-3947-8341

5. 第165回学術大会に関する問い合わせ先

日本歯科保存学会 2026年度秋季学術大会(第165回)運営事務局

(一財) 口腔保健協会コンベンション事業部

TEL : 03-3947-8761 FAX : 03-3947-8341 E-mail : jscd165@kokuhoken.jp

ホームページ : <https://shikahozon.jp/165>

6. ポスター発表掲示形式

- 1) ポスターパネル(現地発表用)は、掲示可能なスペースが横90cm、縦210cmで、そのうち最上段の縦20cmは演題名等用のスペースとし、本文の示説用スペースは横90cm、縦190cmとします。
- 2) 最上段左側の横20cm、縦20cmは演題番号用スペースで、演題番号は大会事務局が用意します。
- 3) 最上段右側の横70cm、縦20cmのスペースに、演題名、所属、発表者名を表示してください。なお演題名の文字は、1文字4cm平方以上の大きさとし、また共同発表の場合、発表代表者の前に○印を付けてください。演題名を英文で併記することとなりました。ご協力をお願いいたします。
- 4) ポスター余白の見やすい位置に、発表代表者が容易にわかるように手札判(縦105mm、横80mm)程度の大きさの顔写真を掲示してください。
- 5) ポスターには図や表を多用し、見やすいように作成してください。3mの距離からでも明瞭に読めるようにしてください。図表およびその説明・注釈は英文で表記してください。研究目的、材料および方法、成績、考察、結論などを簡潔に記載してください(※症例報告の場合は、緒言、症例、経過、予後、考察、結論)。
- 6) ポスター掲示用の押しピンは、大会事務局にて用意します。
- 7) ポスターを見やすくするために、バックに色紙を貼ることは発表者の自由です。
- 8) オンデマンド配信用のPDFファイルについては、学術大会ホームページをご確認願います。



7. 事前登録について

本学術大会では事前登録を採用します。事前登録の詳細は学術大会ホームページ等にてご案内いたします。

8. 会員懇親会について

実施を予定しております。詳細は学術大会ホームページ等にてご案内いたします。

9. 抄録集について

冊子体としての抄録集発行は行いません。ホームページ上で公開いたしますので、各自必要箇所を事前に保存もしくはプリントアウトしてご用意ください。

日本歯科保存学雑誌

第 69 巻第 2 号

令和 8 年 4 月

目 次

2026 年度秋季学術大会大会長挨拶・案内

総 説

- 歯内療法における材料概念と生体調和封鎖：生体適合性の視点から……………宮治 裕史 (95)
ペイシェントハラスメント対策と対応……………栗原慎太郎 (100)

誌上シンポジウム「マイクロスコープで挑む一歯内・修復・歯周治療の新たな展開」

- マイクロスコープで挑む一歯内・修復・歯周治療の新たな展開……………和田 尚久, 増田 宜子 (102)
根尖性歯周炎に対する新たな治療アプローチ：蛍光補助根管治療……………北村 和夫 (103)
マイクロスコープを用いたマトリックスフリー隣接面コンポジットレジン修復の新提案
—Surface Tension Control Technique と Kyu-Shu Technique の臨床応用—……………樋口 惣 (109)
ペリオドンタルマイクロサージェリーによる低侵襲歯周外科治療
—歯周組織再生療法への応用—……………山口 文誉 (114)

原 著

- 切削実習における Er：YAG レーザーとエアタービンの効果の比較
……………加藤 邑佳, 市村 葉, 門倉 弘志, 和田 恵
土屋 隆子, 磯 英介, 阿部 俊人, 荒井 謙
龍田 将秀, 西田 伊織, 石山 元基, 横瀬 敏志 (120)
- 新規自己接着性コンポジットレジンの矯正用アタッチメントとしての機能評価
……………井上 剛, 陳 雪霏, FAN Lin, 島田 康史 (127)
- ヒト乳歯由来不死化歯根膜線維芽細胞からのアポリポタンパク質 E 分泌に対する
Porphyromonas gingivalis 由来リポ多糖の影響
……………佐藤 遥香, 長谷川智一, 鄭 且均
郷 鷗, 佐藤 聡, 道川 誠 (135)
- 健全歯質および脱灰歯質におけるフッ化ジアミン銀による歯質変色に対する
ヨウ化カリウムの抑制効果—線形混合モデルによる多要因解析—
……………津田 優香, 高橋 礼奈, 高橋 基
湊 洋祐, 島田 康史 (144)
- ダイオードレーザー照射におけるインドシアニングリーン併用下の
組織透過性および温度変化……………赤羽根広大, 平石 典子, 湊 洋祐
橋高 領, 島田 康史 (152)
- 市民公開フォーラム…………… (159)
投稿規程…………… (161)

発 行

特定非営利活動法人 日本歯科保存学会
〒170-0003 東京都豊島区駒込 1-43-9 (一財)口腔保健協会内

THE JAPANESE JOURNAL OF CONSERVATIVE DENTISTRY

Vol. 69, No. 2

APRIL 2026

CONTENTS

Reviews

Material Concepts for Bioharmonized Sealing in Endodontic Therapy:

- A Biocompatibility Perspective.....MIYAJI Hirofumi (95)
Strategies and Responses for Addressing Patient Harassment.....KURIHARA Shintaro (100)

Symposium in the Journals

Challenging with the Microscope

—New Frontiers in Endodontic, Restorative, and Periodontal Treatment—

-WADA Naohisa and MASUDA Yoshiko (102)
A Novel Treatment Approach for Apical Periodontitis:
Fluorescence-aided Root Canal Treatment.....KITAMURA Kazuo (103)
A Novel Matrix-Free Approach for Proximal Composite Resin Restoration
Using a Dental Operating Microscope
—Clinical Application of Surface Tension Control Technique and Kyu-Shu Technique—.....HIGUCHI So (109)
Minimally Invasive Periodontal Surgery Using Periodontal Microsurgery
—Application to Periodontal Tissue Regeneration Therapy—.....YAMAGUCHI Fumiyo (114)

Original Articles

A Comparative Study on the Use of Er: YAG Laser and Air Turbine

in Cavity Preparation Training.....KATO Yuka, ICHIMURA Yoh, KADOKURA Hiroshi, WADA Kei,
TSUCHIYA Takako, ISO Eisuke, ABE Toshihito, ARAI Ken,
TATSUTA Masahide, NISHIDA Iori, ISHIYAMA Genki and YOKOSE Satoshi (120)

Functional Evaluation of a Novel Self-adhesive

Resin Composite as an Orthodontic Aligner.....INOUE Go, CHEN Xuefei, FAN Lin and SHIMADA Yasushi (127)

Porphyromonas gingivalis Lipopolysaccharide Suppresses Apolipoprotein E Secretion from
Immortalized Periodontal Ligament Fibroblasts Derived from Human Deciduous Teeth

.....SATO Haruka, HASEGAWA Tomokazu, JUNG Cha-Gyun,
ZOU Kun, SATO Soh and MICHIKAWA Makoto (135)

Inhibitory Effect of Potassium Iodide on Tooth Discoloration Induced by Silver Diamine

Fluoride in Sound and Demineralized Tooth Substrates:

A Multifactorial Analysis Using a Linear Mixed Model

.....TSUDA Yuka, TAKAHASHI Rena, TAKAHASHI Motoi,
MINATO Yousuke and SHIMADA Yasushi (144)

Fundamental Investigation of Optical Transmittance, Temperature Rise, and Tissue Heating Effects

Induced by Diode Laser Irradiation.....AKABANE Kodai, HIRAISHI Noriko, MINATO Yosuke,
KITAKA Ryo and SHIMADA Yasushi (152)

Published

by

THE JAPANESE SOCIETY OF CONSERVATIVE DENTISTRY (JSCD)

c/o Oral Health Association of Japan (Kōkūhoken kyōkai)

1-43-9, Komagome, Toshima-ku, Tokyo 170-0003

Japan

歯内療法における材料概念と生体調和封鎖：生体適合性の視点から

宮 治 裕 史

北海道大学大学院歯学研究院 口腔総合治療学教室

Material Concepts for Bioharmonized Sealing in Endodontic Therapy:
A Biocompatibility Perspective

MIYAJI Hirofumi

General Dentistry, Faculty of Dental Medicine, Hokkaido University

キーワード：歯内療法，生体適合性，水酸化カルシウム，根管シーラー，バイオセラミック，生体調和封鎖

はじめに

歯内療法は、感染の制御と根管の封鎖を通じて根尖周囲組織の治癒を達成し、歯の長期的機能を維持することを目的とする^{1,2)}。すなわち、「根管内環境の制御」「根尖周囲組織の治癒誘導」「歯の長期機能維持」という三要素の統合が歯内療法の本質である。近年、根管貼薬剤や根管シーラー、仮封材の改良に加え、Mineral Trioxide Aggregate (MTA) やバイオセラミック系材料の登場により、歯内療法材料は著しく多様化している³⁾。一方で、多様化した材料を適切に理解し選択することは容易ではなく、知識と臨床技術を統合して治癒を設計する姿勢が臨床家に求められている。

しかし実際には、生体反応や材料挙動を十分に踏まえた材料選択・操作が徹底されているとはいえない。とりわけ根尖開大症例では、貼薬剤やシーラーが根尖外へ溢出しやすく、根尖部歯周組織に影響を与える。したがって材料を単なる「使いやすさ」や「封鎖性」のみで選択するのではなく、生体適合性・分解性・残留性を含む生体内挙動を理解し、治癒に有利な材料戦略を構築する必要がある。

本稿では、感染根管治療における貼薬剤の意義、水酸化

カルシウム製剤の位置づけと限界、根管シーラーの生体反応、MTA/バイオセラミック系材料の役割を整理し、歯内療法材料を生体との接触界面という視点から再整理する。さらに、無菌化 (infection control) と生体反応を含めた封鎖を統合する材料概念として「生体調和封鎖 (bioharmonized sealing)」を提案する。

感染根管治療における貼薬剤の意義と課題

感染根管治療において、根管拡大形成と洗浄は根管感染制御の中心となる処置である。しかし根管系は解剖学的に複雑であり、側枝、イスマス、フィン、象牙細管など、機械的清掃が到達しにくい領域が存在する。象牙細管の直径は約1~3 μm 程度とされ⁴⁾、細菌が侵入・残存しうることから、洗浄や機械的清掃のみで根管を完全に無菌化することは困難である^{1,5)}。貼薬剤はこの限界を補う手段であり、①機械的清掃や洗浄で除去しきれない細菌・バイオフィルムの化学的制御、②洗浄後の再汚染や残存細菌の増殖抑制 (抗菌環境の維持)、③根尖病変における炎症反応の鎮静化と治癒促進環境の整備、という三つの役割を担う。

従来、根管貼薬剤にはフェノール系・ホルムアルデヒド系・ヨード系薬剤などが用いられてきた。フェノール系

薬剤はタンパク変性による殺菌作用を有するが、刺激性や粘膜障害の懸念がある。ホルムアルデヒド系薬剤はタンパク凝固・固定作用により強い殺菌効果を示す一方、組織毒性がきわめて強く、根尖外漏出による壊死や疼痛のリスクが高い。また発がん性や全身毒性の懸念も指摘されており、現在では使用が推奨されていない。ヨード系薬剤は酸化型殺菌剤として広い抗菌スペクトルを有するが、刺激性やヨード過敏症などのアレルギー反応に注意を要する。これらの背景から、現在の根管貼薬の標準は水酸化カルシウム製剤であり、毒性が比較的低下し生体親和性に優れることから、国際的に広く用いられている⁶⁾。

水酸化カルシウム製剤：特性と臨床的限界

1. 製剤形態と基材

水酸化カルシウム製剤は従来、粉末と蒸留水を練和して使用されてきたが、操作の煩雑さや気泡混入などの問題があった。現在では練和を必要としないペーストタイプ製剤が主流となっており、基材としてグリセリンやプロピレングリコールなどの親水性基材が用いられることで、填入性や操作性が向上している。

2. 薬理作用と臨床的意義

水酸化カルシウムは約 pH12 の強アルカリ環境を形成し、多くの細菌に対して殺菌作用を示す⁷⁾。また、高アルカリ性による有機質溶解作用を有し、壊死組織や細菌由来成分の分解を促進する（ただし次亜塩素酸ナトリウムほど強力ではない）。さらに、グラム陰性菌外膜成分であるリポポリサッカライド（LPS）の変性・加水分解による不活化作用を有し⁸⁾、炎症性サイトカインの誘導を抑制することで根尖周囲組織の炎症軽減に寄与する。加えて硬組織形成誘導能を有し⁹⁾、露髄時の覆髄材や根末完成歯のアペキシフィケーションなどにも応用される。

3. 抗菌効果の限界：耐アルカリ菌

水酸化カルシウム貼薬は感染根管治療における基本的な手段であるが、その抗菌効果には一定の限界がある。*Enterococcus faecalis* や *Candida albicans* などの耐アルカリ性を示す微生物では、抗菌効果が限定的となる場合がある^{10,11)}。また、長期間の貼薬では pH の低下（pH10～11 程度）により殺菌作用が減弱する可能性がある¹⁰⁾。ただし、水酸化カルシウムは依然として感染根管治療における標準的貼薬剤であり、多くの細菌に対して有効な抗菌環境を形成する。

4. 除去性・操作性：根管充填への影響

臨床上的重要な課題として、操作性と除去性が挙げられる。水酸化カルシウムのペーストタイプ製剤はシリンジによる注入が可能で利便性が高い一方、根尖部や側枝

へ十分に到達しない場合があり、空隙や気泡が残存する可能性がある。さらに、貼薬後の洗浄・除去が困難であり、根尖 1/3、特に根尖 0～1 mm 領域に残留しやすいことが報告されている¹²⁾。クエン酸や EDTA などのキレート剤の併用や、超音波洗浄などの活用により除去効率の向上が報告されているものの、完全な除去は困難である¹³⁾。

残留した水酸化カルシウムは根管シーラーの硬化機構や封鎖性に影響を及ぼす可能性がある。特に酸化亜鉛ユージノール系シーラーでは硬化反応に影響し、封鎖性の低下やマイクロリークのリスクとなることが指摘されている¹⁴⁾。したがって、最終的な根管封鎖を行う前には、貼薬剤を可能なかぎり除去することが望ましい。

5. 根尖外漏出と生体反応：基材差という新たな視点

水酸化カルシウムは比較的毒性が低いとされるが、根尖外への過剰な押し出しにより疼痛や炎症反応を誘発する可能性がある。さらに臨床的には、根尖外に溢出した水酸化カルシウムが時間の経過とともに「吸収されたように見える」所見が観察されることがあるが、これは必ずしも生体に対する安全性を意味するものではない。ラットモデルを用いた根尖部埋植実験では、水酸化カルシウム製剤であっても基材の違いにより、マクロファージによる貪食、線維化、肉芽形成、および残留の程度に差が生じることが示されている¹⁵⁾。すなわち、「吸収される＝安全」とは必ずしもいえず、残留した材料が治癒過程に影響を及ぼす可能性もある。また臨床的に消失したように見える場合でも、実際には視認できない形で残存している可能性を否定できない。したがって、水酸化カルシウム製剤においても基材差を含めた生体反応を理解するとともに、根尖外への溢出を可能なかぎり回避することが重要である（Fig. 1）。

根管充填用シーラー：生体組織と直接接触する主要な界面として捉える

1. 根管充填の目的

根管充填の目的は、感染根管を封鎖して再感染を防止することである。すなわち、根管内および根尖部への細菌やその代謝産物の侵入経路を遮断することにより、治療後の組織治癒を促進し、根尖病変の再発を防止することを目的とする。また、根管系を安定的に閉鎖することで再汚染のリスクを低減する点でも重要である。

一般に根管充填は、ガッタパーチャポイントとシーラーの組合せにより行われる。しかし、根尖最端部や側枝などの微細な領域に到達しうるのは主としてシーラーであり、実際に生体組織と接触するのもシーラー層である。すなわちシーラーは単なる隙間充填材ではなく、根

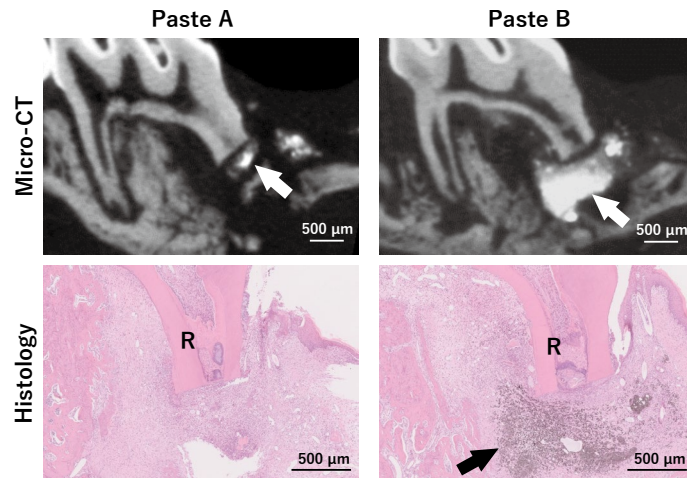


Fig. 1 Micro-CT and histological evaluation of bone cavities implanted with calcium hydroxide pastes¹⁵⁾

Micro-CT images (upper row) and histological sections (H & E staining, lower row) obtained 3 weeks after implantation of calcium hydroxide pastes A and B (white arrows) into bone cavities created at the apical region of rat molars. Differences in the vehicle of the calcium hydroxide paste resulted in variations in cellular responses and the extent of material resorption. In paste B, dark granular residual materials derived from the vehicle were observed in the surrounding tissues (black arrow). R: root.

管系を三次元的に密封し、治癒環境の維持に重要な役割を担うバリア材料である¹⁶⁾。したがって、その材料特性の理解と適切な操作は、歯内療法の長期的成功を左右する重要な要素となる。

2. シーラーの種類と特徴

現在使用されている根管シーラーには、酸化亜鉛ユージノール系、非ユージノール酸化亜鉛系、レジン系（エポキシ樹脂系、4-META 含有系など）、カルシウム水酸化物系、バイオセラミック系など多様な種類が存在する¹⁷⁾。酸化亜鉛ユージノール系シーラーは歴史が古く抗菌作用を有する一方、溶解性や刺激性が課題となる場合がある。レジン系シーラーは封鎖性や寸法安定性に優れるが、再治療時の除去に操作を要する場合がある。カルシウム水酸化物系シーラーは生体親和性が高く硬組織形成誘導能が期待されるが、可溶性があるため長期的な封鎖性には留意が必要である。バイオセラミック系シーラーは湿潤環境下でも硬化し、生体親和性に優れることから、近年では single-cone technique への適応も拡大している^{18,19)}。

3. 生体内挙動：溢出と異物反応

根尖開大症例では、シーラーが根尖外へ溢出しやすい。溢出したシーラーは炎症性細胞浸潤や異物反応を引き起こす可能性があるが、その生体反応や治癒経過は材

料の硬化状態、分解性、残留性などにより左右される²⁰⁾。実際に、バイオセラミック系とレジン系など材料間で生体反応の差が報告されており、特に硬化が不十分な状態での残留や、分解されない異物としての持続的残存は治癒を阻害する要因となりうる (Fig. 2)。したがってシーラーの選択においては、封鎖性のみならず、化学的安定性、刺激性・毒性、吸収性などを含めた生体適合性の評価が不可欠である。

MTA/バイオセラミック系材料の役割と適応

MTA はトリカルシウムシリケートなど三酸化カルシウム系セメントを主成分とし、高い生体親和性、硬組織形成誘導能、湿潤環境下での硬化による優れた封鎖性、さらにアルカリ性環境による抗菌作用を有する材料として歯内療法領域に広く応用されている²¹⁾。水酸化カルシウムが主として抗菌作用や LPS 不活化を目的とする「薬剤」として用いられるのに対し、MTA は生体封鎖と硬組織誘導を兼ね備えた「修復材料」として位置づけられる。

一方で MTA には硬化時間の長さ、操作性、歯質着色などの課題があり、それらを改善したカルシウムシリケート系の次世代材料、いわゆるバイオセラミック系材

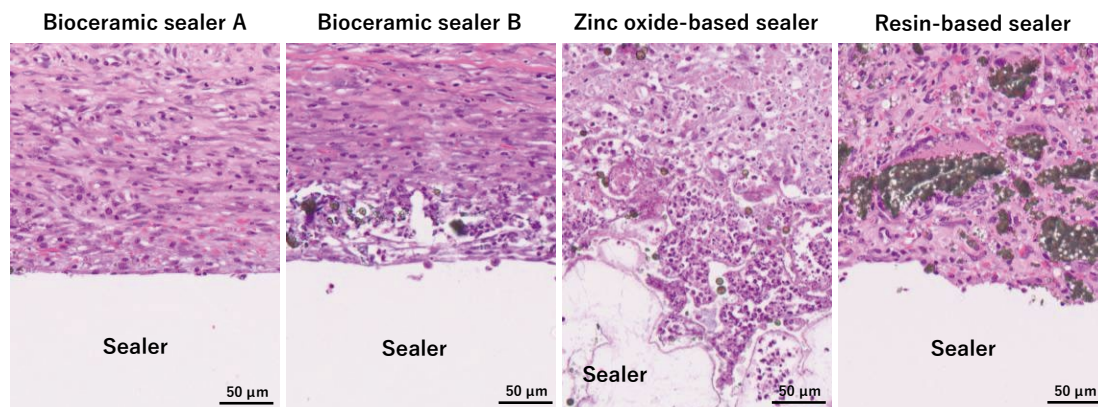


Fig. 2 Histological evaluation of tissue responses to different endodontic sealers.

Histological images (H & E staining) showing the tissue-sealer interface of various endodontic sealers implanted in the rat dorsal subcutaneous tissue for 35 days, including bioceramic sealers (A, B), a zinc oxide-based sealer, and a resin-based sealer. Differences in sealer degradation, indicated by dark deposits, and cellular responses were observed among the sealers.

料が近年臨床応用されている。バイオセラミック系材料は、生体親和性、封鎖性、湿潤下硬化、カルシウムイオン放出による抗菌作用や硬組織形成誘導能など、歯内療法における理想的特性を複合的に備える材料として注目され、貼薬剤やシーラーとしての応用が期待される。しかしながら、材料特性が優れていても根尖外への過剰な溢出は異物反応や治癒遅延を引き起こす可能性があり、適応の判断および溢出管理は重要な臨床的課題である。特に根尖開大症例では慎重な操作が求められる。

おわりに

感染根管治療の成功は、(1) 感染制御 (infection control), (2) 封鎖 (sealing), (3) 組織治癒 (healing) の三要素の成立に依存する。したがって歯内療法材料の使用は、単に「どの材料を用いるか」ではなく、「なぜその材料を選択するのか」という治療戦略の一部であり、材料特性の理解に基づいた臨床判断が求められる。特に、生体適合性を考慮した材料選択と根尖外溢出の適切な管理は、根尖周囲組織の治癒および歯の長期的機能維持に重要である。

以上より、歯内療法材料は生体組織との接触界面において感染制御と組織治癒を調整する材料として理解する必要がある。本稿ではこの観点から、無菌化と封鎖に生体反応を含めた材料概念を「生体調和封鎖 (bioharmalized sealing)」として提示した。今後、この視点に基づいた材料理解が、より予知性の高い歯内療法戦略につながると考えられる。

本論文に関して、開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) Nair PN. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J* 2006; 39: 249-281.
- 2) Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008; 34: 1291-1301.e3.
- 3) Camilleri J, Atmeh A, Li X, Meschi N. Present status and future directions: Hydraulic materials for endodontic use. *Int Endod J* 2023; 56: 402.
- 4) Mjör IA, Nordahl I. The density and branching of dentinal tubules in human teeth. *Arch Oral Biol* 1996; 41: 401-412.
- 5) Nair PN. Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004 Nov 1; 15 (6): 348-381.
- 6) Siqueira JF Jr, Lopes HP. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *Int Endod J* 1999; 32: 361-369.
- 7) Estrela C, Holland R. Calcium hydroxide: study based on scientific evidences. *J Appl Oral Sci* 2003; 11: 269-282.
- 8) Safavi KE, Nichols FC. Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide. *J Endod* 1993; 19: 76-78.
- 9) Holland R, de Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabé PF, Dezan Júnior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod* 1999; 25: 161-166.
- 10) Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D. Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide. *Int Endod J* 2002; 35: 221-228.
- 11) Waltimo TM, Sirén EK, Orstavik D, Haapasalo MP. Sus-

- ceptibility of oral *Candida* species to calcium hydroxide in vitro. *Int Endod J* 1999; 32: 94-98.
- 12) Wang Y, Guo LY, Fang HZ, Zou WL, Yang YM, Gao Y, Yang H, Hu T. An in vitro study on the efficacy of removing calcium hydroxide from curved root canal systems in root canal therapy. *Int J Oral Sci* 2017; 9: 110-116.
 - 13) Rödiger T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M. Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J* 2010; 43: 519-527.
 - 14) Margelos J, Eliades G, Verdellis C, Palaghias G. Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: a potential clinical problem. *J Endod* 1997; 23: 43-48.
 - 15) 田中佐織, 宮治裕史, 加藤昭人, 金本佑生実, 菅谷 勉. ラット骨窩洞内に埋植した水酸化カルシウム系根管充填剤に対する組織反応. 日本歯科保存学会2023年度春季学術大会(第158回), プログラムおよび講演抄録集, 2023; 84.
 - 16) Barakat RM, Almohareb RA, Aleid N, Almowais H, Alharbi A, Al-Sharafa M, Alrahlah A. Impact of cone system compatibility on single cone bioceramic obturation in canals prepared with variable taper NiTi rotary files. *Sci Rep* 2025 Sep 2; 15(1): 32272.
 - 17) Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J* 2020 Sep 29; 39(5): 703-720.
 - 18) Sabeti MA, Karimpourtalebi N, Shahravan A, Dianat O. Clinical and radiographic failure of nonsurgical endodontic treatment and retreatment using single-cone technique with calcium silicate-based sealers: A systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2024; 50: 735-746.e1.
 - 19) Washio A, Morotomi T, Yoshii S, Kitamura C. Bioactive glass-based endodontic sealer as a promising root canal filling material without semisolid core materials. *materials (Basel)* 2019 Nov 29; 12(23): 3967.
 - 20) 加藤昭人, 宮治裕史, 金本佑生実, 薮 佳奈子, 岡本一絵, 吉野友都, 浜本朝子, 西田絵利香, 菅谷 勉, 田中佐織. 酸化亜鉛ユージノール系ペースタイプ根管充填シーラーの材料特性ならびに生体親和性評価. *日歯保存誌* 2023; 22: 114-123.
 - 21) Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview—part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J* 2018; 51: 284-317.

ペイシエントハラスメント対策と対応

栗原 慎太郎

長崎大学病院安全管理部

Strategies and Responses for Addressing Patient Harassment

KURIHARA Shintaro

Department of Medical Safety, Nagasaki University Hospital

キーワード：ハラスメント，社会通念，応招義務

はじめに

カスタマーハラスメントのなかで，病院あるいは診療と関連する場合にはペイシエントハラスメントやホスピタルハラスメントと呼称することがある。ペイシエントハラスメントという用語は，必ずしも正式な用語ではないが，単にカスタマーハラスメントという場合，どうしてもカスタマー側が加害者という印象が強い。診療の過程では，患者の生命に関わる事象であり，医療側の対応一つで患者側の対応が大きく変化することは容易に理解できる。つまりペイシエントハラスメントなどと別に呼称する理由には，医療側に原因がある場合といわゆるカスタマーハラスメントが混在していることがあると考えられる。

ペイシエントハラスメント

ペイシエントハラスメントには，①医療側と患者側の理解の齟齬があり，ボタンの掛け違いを修復できていない場合と，②医療側には瑕疵がないとしても患者側の要求が過大で着地点を見つけられない場合がある。医療側に明らかな過失がある場合には，対象とならない。①の場合には，個々の関係性は破綻していることが多いが，

病院全体で対話を推進していくことで解決が期待できる。しかし②の場合には，病院としての対応には限界があり，社会として対応しなければ取まらないことが多い。一般的には，ハラスメントという用語を用いた段階で②のみを対象としている印象を受けるが，ペイシエントハラスメントという用語には，①の場合も含まれることが前提である。

ハラスメントの判断基準

ハラスメントの判断基準として長く信じられてきたものは被害側の不快感であって，そのみでは客観性に欠けている基準である。客観性に欠けているがために，ハラスメントハラスメントが存在し，なんでもハラスメントだと断ずることへの違和感が同時に存在していた。ただし，各種ハラスメントによる，社会的または経済的損失が多大であることが認識されるなかで，判断基準も法を通して整備されてきている。

労働政策総合推進法の令和2年6月の改正において，パワーハラスメントとは「職場において行われる優越的な関係を背景とした言動であって，業務上必要かつ相当な範囲を超えたものによりその雇用する労働者の就業環境が害されること」と定義され，「業務上必要かつ相当な範囲」との判断基準が示された。労働政策総合推進法は，

令和7年6月の改正において、カスタマーハラスメント対策の強化も義務付けている。

令和7年1月の厚生労働省の審議会においてカスタマーハラスメントの判断基準が「職場において行われる顧客、取引の相手方、施設の利用者その他の当該事業主の行う事業に関係を有する者の言動であって、その雇用する労働者が従事する業務の性質その他の事情に照らして社会通念上許容される範囲を超えたものにより当該労働者の就業環境が害されること」と示された。

つまり、「相当な範囲」は「社会通念上許容される」範囲であり、今後さらに具体的な事例を検討し、例示される基準となると考えられる。

カスタマーハラスメントの具体的な例

ペイシエントハラスメントへの対策を考えると、カスタマーハラスメントと判断された例示は重要な基準となる。判例などに基づきハラスメントとされた例は、①全く関係ない要求、②想定されているサービスを超える要求、③身体的あるいは精神的な攻撃、④執拗な行動、⑤居座りや監禁などの拘束的行動、⑥威圧的な言動などであり、実際に患者相談の現場で遭遇する患者側の行動パターンとして経験されるものばかりである。

これらの行動はすでにハラスメントとして認定されており、患者相談の職員による対応から全病院的対応へ即座に移行することが求められるため、病院職員がこれらの例示について認識しておく必要がある。

応招義務について

歯科医師法第十九条にある「診療に従事する歯科医師は、診察治療の求があつた場合には、正当な事由がなければ、これを拒んではならない」といういわゆる応招義務への対応も、ハラスメント対策を混乱させている。

そもそも応招義務の規定では、正当な事由があれば拒むことが可能であり、歯科医師が危害を加えられる環境や迷惑行為などの場合が当たることはおおむね理解されている。しかし実際の診療環境では、明らかに危害が想定されないかぎり拒むことはなかったため、ハラスメント環境が維持されたまま診療することが、医療側の職員の疲弊が進んだ背景と考えられている。

令和元年12月25日医政発1225第4号では、「応招義務をはじめとした診察治療の求めに対する適切な対応の在り方等について」として、応招義務を負わなくてもよい状況として、①緊急対応が必要ではない場合、②診療

時間外の場合、③患者との信頼関係が患者側の問題行動によって築けない場合として示されている。

ここに示した数字の順番に対応が必要であり、つまり信頼関係が構築できない場合には、緊急対応が必要でないかぎりは、応招義務を負わないと示されている。

ペイシエントハラスメント対策と対応の考え方

医療行為を実施する際の最も重要な法律である医療法の第一章「総則」には当然医療側が備えておくべき規範が示されているが、一方で医療行為は、医療側と患者側の双方向の信頼関係がある場合のみ実施可能であると示されており、一方的に患者側の意見を取り入れることは許されていない。さらに医療法には、科学的な根拠に基づくことや患者側が健康保持のための努力をすること、医療機関個々の機能の範囲内で医療を実施することが明記されている。

医療行為は、医療法の範囲外で実施された場合には単なる傷害罪の適応となる行動であるので、患者側の同意が重要であることはすぐに理解できるが、医療側も科学的な根拠の範囲内での診療に限定されているだけでなく、医療側の同意がなければ実施できないものであるという基本的理解が、社会的コンセンサスを得られるよう努力しなければならない。

ペイシエントハラスメントは、カスタマーハラスメントなど病院以外の領域の対応を参照しながら、より具体的な例示の下、整備を進める必要がある。ただし、医療側が原因を作っている場合について層別化しなければならず、単にカスタマーハラスメントとして整備することは危険を伴う。

また、同一の医療圏内で異なった対策を実施すると、問題行動をもつ患者が偏在することになりかねないため、地域内での連携も必要である。

おわりに

ペイシエントハラスメント対応は、病院の運営において重要な位置を占めている。しかし、単なる苦情処理として職員を配置すると、たとえ卓越したスキルをもつ職員であっても疲弊し、早々に退場しかねない。

病院は、本当に対応が必要な場合と単なる過大な要求とを区別し、後者に対しては担当職員の負担をなくす対策を用意しなければ、患者対応のスキルがいつまでも上達しないことを理解すべきであり、また社会全般にも理解してもらう努力が必要である。

マイクロSCOPEで挑む—歯内・修復・歯周治療の新たな展開—

和田 尚久^{1,2} 増田 宜子^{3,4}

¹一般社団法人日本顕微鏡歯科学会会長, ²九州大学大学院歯学研究院 総合診療歯科学分野,
³特定非営利法人日本歯科保存学会 学術委員会, ⁴松本歯科大学歯科保存学講座 (歯内)

Challenging with the Microscope

—New Frontiers in Endodontic, Restorative, and Periodontal Treatment—

WADA Naohisa^{1,2} and MASUDA Yoshiko^{3,4}

¹The President, Japan Association of Microscopic Dentistry, ²Department of General Dentistry, Faculty of Dental Science, Kyushu University, ³The Academic Committee, The Japanese Society of Conservative Dentistry, ⁴Department of Cariology, Endodontology, Periodontology, Matsumoto Dental University

キーワード：歯科用マイクロSCOPE, 歯内, 保存修復, 歯周

医療の成否は正確な診断と治療に依存するが、歯科治療においては、術者の経験や技術がことさら重視される傾向にある。その理由の一つに、口腔内の治療対象部位に対し光が届きにくく、また直視を妨げる要因が多いにもかかわらず、きわめて精緻な処置を求められることがあるといえる。こうした課題を克服するツールとして、1990年代以降、歯科用マイクロSCOPEが歯内治療や外科的歯内療法に導入され、拡大視野下での精密治療が発展してきた。近年ではその応用はさまざまな歯科治療領域へと広がり、高精度・低侵襲を志向する現代歯科医療において重要な役割を担っている。顕微鏡を活用した診療技術は、歯科医療の精度を飛躍的に高め、患者にとっても治療の安心と納得をもたらす重要な手段となっている。

本シンポジウムは、日本歯科保存学会2025年度秋季学術大会(第163回)において、「マイクロSCOPEで挑む—歯内・修復・歯周治療の新たな展開—」をテーマに開催された。歯内、修復、歯周の3領域から顕微鏡歯科を専門とするシンポジストを招聘し、マイクロSCOPEを用いた新たな歯科保存治療法と将来展望が示された。

北村和夫先生は、根尖性歯周炎に対する蛍光ライブイメージングに基づく光線力学的診断法と根管治療の研究

成果について講演された。根管内残存感染を客観的に評価する指標が未確立である現状において、本手法は歯科用マイクロSCOPE下で感染をリアルタイムに可視化しうる可能性を示し、新たな診断法構築への期待を抱かせた。

樋口 惣先生は、マトリックスフリーによる隣接面修復法を提示された。II級窩洞(Black分類)に対するコンポジットレジン修復症例を通して、拡大視野下操作による適合性向上や形態再現性の高さなど、保存修復領域における歯科用マイクロSCOPE活用の有用性や具体的利点が具体的に示された。

山口文誉先生は、低侵襲歯周外科治療について講演され、近年発展著しい歯周組織再生療法および歯周形成外科治療における低侵襲テクニックの要点を、多数の症例とともに提示された。歯科用マイクロSCOPE下手術の臨床的価値と将来性が明確に示された内容であった。

本シンポジウムを通じて、歯科用マイクロSCOPEは診断精度の向上と治療の低侵襲化を支える重要なツールであり、歯科保存治療の高度化と標準化の推進に寄与することが再認識された。今後の歯科保存臨床および研究の発展に向け、大きな示唆を与えるシンポジウムとなった。

— マイクロスコープで挑む一歯内・修復・歯周治療の新たな展開 —
根尖性歯周炎に対する新たな治療アプローチ：蛍光補助根管治療

北村 和夫

日本歯科大学附属病院総合診療科1

A Novel Treatment Approach for Apical Periodontitis:
Fluorescence-aided Root Canal Treatment

KITAMURA Kazuo

Division of General Dentistry 1, The Nippon Dental University Hospital

キーワード：蛍光補助根管治療，マイクロスコープ，プロトポルフィリンIX，赤色蛍光

はじめに

著者が歯内療法に実体顕微鏡（以下，マイクロスコープ）を取り入れた1998年は，マイクロスコープは医科用であった（OPMI Pro Magis, Carl Zeiss, Germany, Fig. 1）。歯科用と比較するとアームが短いため，器械をより患者に近づける必要があり，術者が12時の位置に入った場合，アシストが3時の位置に入るのが困難であった。そのため，術者が9時から10時の位置に入ることもあり，ポジショニングに苦勞することも多かった（Fig. 1）。一方で使用機器は，破損やトラブルは少なく，録画システムを更新して，現在も使用し続けている。

1990年代に行っていた，マイクロエンドドンティックスの1例を紹介する（Fig. 2）¹⁾。患者は上顎左側第一大臼歯起因の歯性上顎洞炎で来院した。感染根管治療を実施し，側方加圧充填法で根管充填を行った。根管充填後3カ月のX線検査で左側上顎洞のX線透過性の亢進を認め，炎症は治まっていた。当時，ハロゲンランプ，ICCDカメラ，ブラウン管モニターなどを使用し，ポラロイドカメラで撮影しながら診療を行っていた。デンタルエックス線検査には，デンタルX線フィルムを使用し現像を

行っていた。口腔内写真も写真フィルムを使用して撮影し，現像していた。マイクロスコープ下の映像も静止画をポラロイドカメラで撮影していたため，解像度は現在と比べ物にならないほど低かった（Fig. 2）。

一方，近年の歯内療法では，歯科用コーンビームCT（以下，CBCT），マイクロスコープ，ニッケルチタン製ロータリーファイル（以下，Ni-Ti ファイル）の歯内療法三種の神器に加え，機械的根管洗浄やバイオマテリアル，超音波チップなどを頻用して治療を行っていることが多く認められ，これらの必要性が広く浸透してきている（Fig. 3）²⁻⁴⁾。

現在の歯内療法は，二次元のX線検査から三次元のCBCT検査へ，肉眼による手探りの治療からマイクロスコープ下での観察しながらの治療へ，ハンドファイルからNi-Tiファイルへと変化した。2020年の根管充填に関する一般開業医と歯内療法専門医へのオンラインでの国際アンケート調査の結果，複数回答可ではあるが，シングルコーン法が63.3%と最も多かった⁵⁾。著者は，現在の歯内療法は以前に比べて簡単・確実・時短になったと考えている。現在の歯内療法の1症例を紹介する（Fig. 4）⁶⁾。

本症例では，下顎第二大臼歯と臼傍歯が融合し，歯髓



Fig. 1 Microscopes of the 1990s

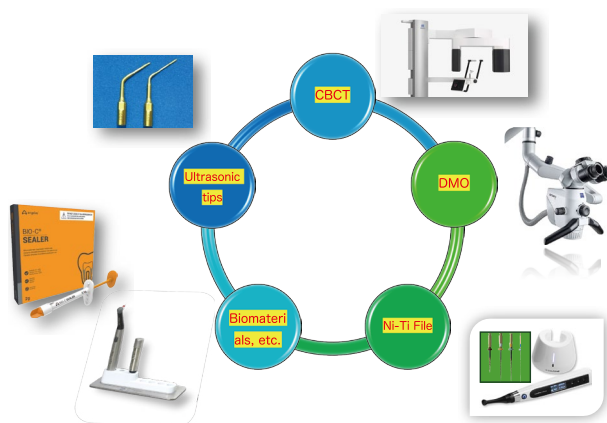


Fig. 3 Current endodontic treatment utilizing the three sacred treasures and other techniques

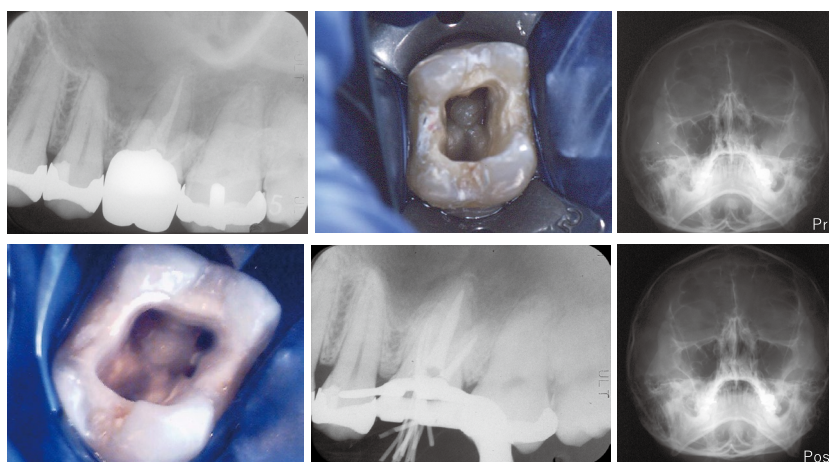


Fig. 2 A case of microendodontic treatment in the 1990s (Modified from reference 1)

腔は複雑な形態を呈していた。デンタル X 線検査では、歯根外形と根管の形態を確認することは困難であったため、複雑で特殊な歯髓腔の形態を正確に三次元的に把握できるよう CBCT を撮像した。融合歯は歯髓腔を複雑に共有しているため、アクセスキャビティの概形は咬合面の輪郭にとられることなく、CBCT のセメントエナメル境の水平断面像を参考にして設計した (Fig. 4)。根管治療は、前述の歯内療法の三種の神器などを駆使し、根管充填はマッチドテーパースングルコーン法で行い、良好に経過している。

蛍光と医科領域での応用の現状

蛍光は、吸収光 (励起光) や他の電磁放射線などの曝露により物質から発せられる光として定義されている。それらの光は吸収光 (励起光) よりも長い波長を有する。

蛍光のメカニズムは、オワンクラゲを例にして説明することが多い⁷⁾。オワンクラゲは発光と蛍光を行う生物である。オワンクラゲは、外界から弱い刺激を受けると透明から青色に体色を変化させる。これはイクオリンというタンパク質が、外来の刺激を受けて上昇した細胞内のカルシウムイオンと反応することで青色に変化する (Fig. 5 左)。この光は、化学的な励起を介して光を放つ、発光と呼ばれる現象に基づく光である。さらに、オワンクラゲは強い刺激を受けたときや興奮時に青色から緑色に体色を変化させる (Fig. 5 右)。これがまさに蛍光に基づく光である。これはイクオリンにより発せられた青色光を吸収することで、緑色を放つタンパク質 (Green Fluorescence Protein: 以下, GFP) が連鎖的に蛍光反応を示すことで生じる。これら一連の原理は、Shimomura らによって 1962 年に報告された⁸⁾。GFP は、他の動物種の遺伝子型や表現型に影響を与えずに、蛍光の機能のみ

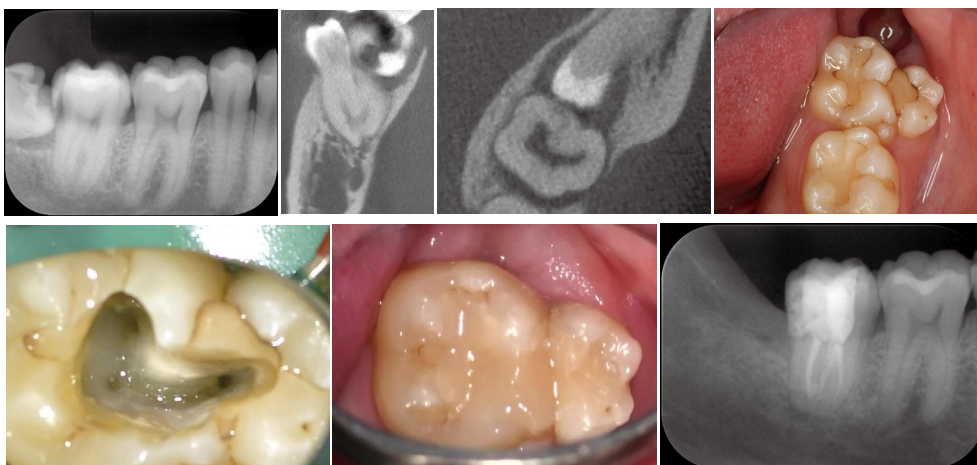


Fig. 4 A current endodontic case using the three sacred tools of endodontics (Modified from reference 6)

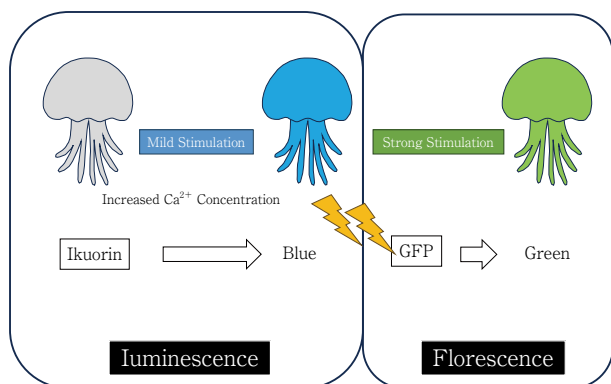


Fig. 5 The jellyfish can produce both bioluminescence and fluorescence (Modified from reference 7)

を遺伝子導入することで付与できることが明らかになった⁹⁾。その後、現代医学の基盤となる蛍光クロニングの礎となり、悪性腫瘍や脳血管疾患など数多くの疾患の原因究明と治療法の確立に貢献する偉大な研究成果となったことは、周知の事実である。

しかし、生殖細胞系列に対する遺伝子導入は倫理的に困難であるため、GFP に変わる標的指標を検討する必要がある。そこで、注目されているのが5-アミノレブリン酸（以下、5-ALA）代謝産物であるプロトポルフィリンIX（以下、PpIX）である。PpIXは細胞増殖や血液中の酸素の運搬に関連するヘムやクロフィルなどの前駆体として機能する中間生成物である（Fig. 6）。

また、PpIXは、405 nmの紫色光波長による励起によって、620~650 nmの赤色蛍光を自家蛍光する特性をもつ。正常なヒト細胞では、5-ALAと呼ばれる特定のアミノ酸が細胞質に取り込まれる。その後、5-ALAはコプロポルフィリノーゲンIII（以下、CPG3）に変換される。そ

してCPG3はミトコンドリア内に取り込まれる。CPG3はPpIXに変換されるが、細胞増殖を維持するために、すぐにヘムやビリルビンに変換される。したがって、PpIXは正常なヒト細胞ではただちに消費されるため、正常なヒト細胞では自家蛍光を検出することが困難である¹⁰⁾。一方、細胞増殖のスピードが速い癌細胞や齲蝕病原細菌を含む細菌では、使用するヘムの量も増加するため、PpIXの供給量は正常なヒト細胞と比較して多量に生成し貯蔵する必要がある（Fig. 7）。したがって、元となる5-ALAがより多く細胞内に供給されることで、ミトコンドリア内のPpIXは必要以上に貯蔵される。結果として、PpIXによる自家蛍光が検出可能な状態となる¹¹⁾。

歯科領域における蛍光応用の現状

近年、歯科領域において、齲蝕病原細菌の5-ALA代謝産物であるPpIXに対する自家蛍光の検出を基礎とするFluorescence aided caries excavationが、感染象牙質を選択的に除去し、非感染象牙質を保存することができる方法として注目されている¹²⁾。齲蝕検知液は汚染領域を選択的に可視化するために開発された。しかしながら、最近の論文では不可逆性の感染象牙質（irreversibly denatured dentine）を特定するために、一部の齲蝕検知液が正確ではない可能性があることが示されている¹³⁾。齲蝕とは異なるエナメル象牙境などの低石灰化部位の過剰切削、脱灰を伴っていない箇所齲蝕病原細菌の取り残しを生じるリスクなどが懸念される。一方、5-ALA蛍光ライブイメージングは、病原細菌が局在する汚染領域を選択的に可視化することが可能であることが示された¹⁴⁾。齲蝕治療においては確立されつつある蛍光を用いた診断手法であるが、最も顕微鏡歯科治療が普及してい

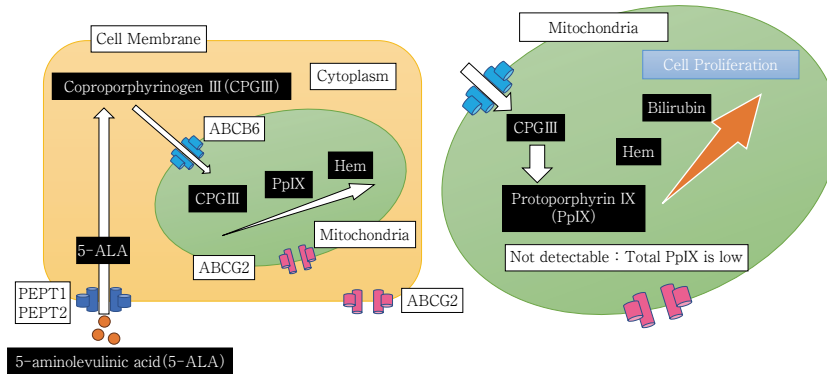


Fig. 6 PpIX metabolic pathway in normal cells: PpIX is rapidly metabolized (Modified from reference 7)

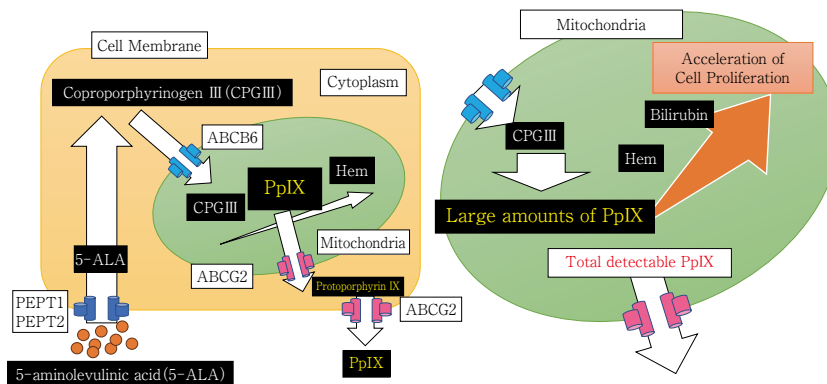


Fig. 7 PpIX metabolic pathway in rapidly proliferating cells: Large amounts of PpIX accumulate (Modified from reference 7)

る歯内療法分野においては、これらの蛍光イメージング技術が確立されていないのが現状である。

歯内療法領域における蛍光応用の現状

軟化象牙質除去において、除去すべきか否かの判断基準に、一般的には齶蝕検知液やダイアグノドントが使用されている。しかし、染色液は脱灰した齶蝕象牙質外層を染色しているが、細菌を染色しているわけではない。一方、歯内療法の感染根管においては、根管壁に脱灰を伴わない感染歯質が存在するため、それらの使用は困難で感染歯質除去の客観的な判断ができないのが現状である。実際、感染根管では細菌の90~95%が根管内に、5%が根尖孔外に存在し、根尖付近の細菌は根管内に浮遊しているとの報告がある¹⁵⁾。

根管内の感染歯質の有無の判断は、PCR検査のようなリアルタイムでの定量的尺度や客観的指標がなく、定性的または主観的指標に依存している。そのため、過剰切削を引き起こし、将来的に垂直性歯根破折につながるリスクがある。これらの状況はこれまでの再根管治療の成

功率に関する文献をみても明らかであり、初回治療と比較した予知性の低下に裏付けられている¹⁶⁾。

根尖性歯周炎は、感染した根管と宿主の免疫系との複雑な相互作用によって引き起こされる炎症性疾患である。したがって、細菌数を宿主の免疫で処理できる範囲内まで減少させることができれば、根尖性歯周炎を治療に導くことができる¹⁷⁾。槌状根管やイスマス、フィンなど複雑な根管系を有する症例では、顕微鏡下で残存する細菌感染領域を明確に可視化し、それらを過不足なく除去し、再感染しないように根管系を確実に封鎖することで、治療の成功率がさらに向上すると考える。しかし、根管内に残存する細菌感染の程度を評価する臨床パラメーターは、いまだ確立されていない。そこで、われわれは、顕微鏡下での根管治療中に細菌感染領域をリアルタイムで同定するための蛍光ライブイメージングに基づく光線力学的診断法とそれに基づく新たな治療法の確立を目指している^{7,18,19)}。

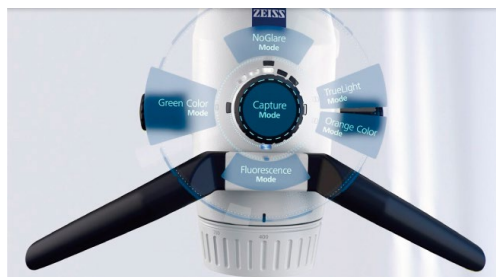


Fig. 8 The world's first dental microscope with a built-in fluorescence observation module

蛍光補助根管治療

その第一段階として、根管治療時における蛍光領域の同定と蛍光の発現に関連する因子を特定するための臨床研究（承認番号：NDU-T2021-41）を行ったため、その一部を紹介する。適格基準として、歯内治療のため日本歯科大学附属病院総合診療科を受診した患者のうち、本研究の趣旨に同意を得ることができた50名を対象とした。アクセスオープニング直後に、マイクロスコープに内蔵された蛍光観察モジュール（EXTARO300FV, Carl Zeiss, Fig. 8）を使用して、標準化された条件下でマイクロスコープ画像を撮影した。EXTARO300FVは、オプションも含めるとマイクロデンティストリーに役立つ最大5つの視覚化モード（Fluorescence Mode（以下、FL Mode）、No Glare Mode、True Light Mode、Orange Color Mode、Green Color Mode）を備えることができる。今回使用したFL Modeは、拡大視野下にて齶蝕感染の疑いがある箇所は赤色蛍光（ $\lambda =$ 約635 nm）、健全な歯質は緑色蛍光（ $\lambda =$ 約500 nm）として判断できる²⁰⁾。また、操作はスイッチのすべてをマイクロスコープの中心部に集約することにより（Fig. 8）、ハンドルから手を放すことなく、モードコントロール、照度、倍率やピント調整も片手のみでの操作が可能である（シングルハンドオペレーション）。治療中はスイッチ一つで、通常の画像からFL Modeに切り替えて確認することができる。

そこで、細菌代謝で生じたPpIXの発現に関連する因子を特定するため、5つの変数（年齢、治療タイプ（初回治療または再治療）、過去の自発痛の有無、瘻孔の有無、病変の大きさ）を二項ロジスティック回帰分析で解析した。PpIXの局在と細菌感染の関係を確認するため、共焦点レーザー顕微鏡（LSM700, Carl Zeiss）による組織学的解析も行った。

結果として、PpIXは56%の症例で検出され、特にイスマス、フィン、汚染されたガッタパーチャで検出された。

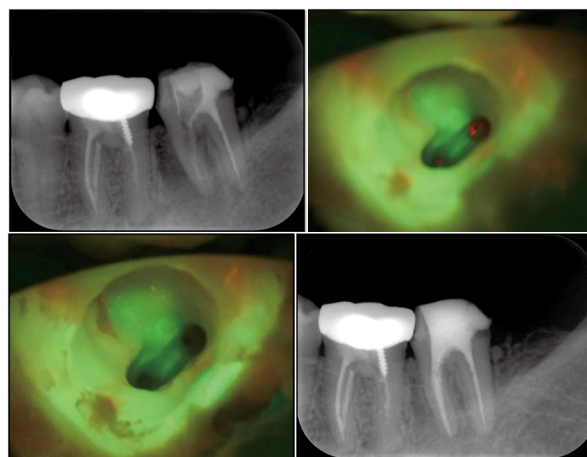


Fig. 9 A case of fluorescence-aided root canal treatment

また、再治療症例と2 mm以上の根尖病変を有する歯に有意に認められることが示された。組織学的解析からPpIXはグラム陽性菌の象牙細管の浸潤範囲に一致することが確認された。蛍光補助根管治療の1例をFig. 9に示す。根管の上部1/3にFL Modeで赤い自己蛍光を発する汚染領域が観察された。拡大形成後、FL Modeで赤い自己蛍光を発する汚染領域が除去されたのを確認して根管充填を行い、9カ月後の経過観察では、デンタルX線画像上において根尖周囲の病変は治癒し、歯槽硬線の連続性が完全に回復していた。

蛍光補助根管治療の利点と今後の展望

今回使用した蛍光補助根管治療は、根管系内の細菌代謝物をマイクロスコープ下でリアルタイムに識別可視化できる大きな利点を有する。視覚支援をマイクロエンドドンティックスに応用することで、根管系の細菌代謝産物の残存リスクの大幅な改善が見込まれ、PpIXの赤色蛍光をモニターで示しながら感染根管治療の必要性を説明することで、患者の理解を容易に得ることができる。また、術後に赤色蛍光を発する箇所がなくなったことを患者自身が目視することで、今まで曖昧であった根管治療の効果を確認することができる。将来的には従来の視覚強化のみならず、化学的ナビゲーションによる別角度での視覚支援を術者に与えることで、蛍光観察モジュール内蔵マイクロスコープを用いた歯内療法の子知性がさらに向上することが期待されている²¹⁾。

本研究は令和5年度科学研究費補助金（基盤研究（C）No. 23K09188）により行った。

文 献

- 1) 北村和夫. 顕微鏡を用いた歯内療法. 住友雅人, 秋山仁志, 北村和夫. 若き歯科医師に引き継ぐ臨床の知恵とコツ. クインテッセンス出版: 東京; 2006. 37-39.
- 2) 北村和夫. 歯内療法の“三種の神器”. 北村和夫. 歯内療法の三種の神器. デンタルダイヤモンド社: 東京; 2016. 6-7.
- 3) 北村和夫. 歯内療法の三種の神器とバイオマテリアル+ α . 北村和夫. 歯内療法の三種の神器 2023 \gg 2024. デンタルダイヤモンド社: 東京; 2022. 10-11.
- 4) 北村和夫. 歯内療法の三種の神器と根管洗浄. 北村和夫. 歯内療法の三種の神器 2025 \sim 2026. デンタルダイヤモンド社: 東京; 2025. 10-11.
- 5) Guivarc'h M, Saliba-Serre B, Le Coz P, Bukiet F. An international survey on the use of calcium silicate-based sealers in non-surgical endodontic treatment. *Clin Oral Investig* 2020; 24: 417-424.
- 6) Kitamura K, Hasegawa T, Koyanagi K, Koizumi H, Moritake N, Kuroda K, Maruno R, Ohnishi K, Okamoto H, Hamada Y. Endodontic treatment for a mandibular second molar fused with a paramolar under the skillful use of cone beam computed tomography and dental operative microscope. *Int J Microdent* 2022; 13: 100-106.
- 7) 長谷川達也, 北村和夫. 蛍光指向性根管治療—蛍光モードを応用したマイクロエンドドンティクス—. 北村和夫. 精密歯科治療 ここまで来たか! マイクロスコープいろいろ活用術. デンタルダイヤモンド社: 東京; 2023. 60-65.
- 8) Shimomura O, Johnson FH, Saiga Y. Extraction, purification and properties of aequorin, a bioluminescent protein from the luminous hydromedusa, *Aequorea*. *J Cell Comp Physiol* 1962; 59: 223-239.
- 9) Chalfie M, Tu Y, Euskirchen G, Ward WW, Prasher DC. Green fluorescent protein as a marker for gene expression. *Science* 1994; 263: 802-805.
- 10) Hayashi M, Fukuhara H, Inoue K, Shuin T, Hagiya Y, Nakajima M, Tanaka T, Ogura S. The effect of iron ion on the specificity of photodynamic therapy with 5-aminolevulinic acid. *PLoS One* 2015 Mar 30; 10 (3): e0122351.
- 11) Hagiya Y, Endo Y, Yonemura Y, Takahashi K, Ishizuka M, Abe F, Tanaka T, Okura I, Nakajima M, Ishikawa T, Ogura S. Pivotal roles of peptide transporter PEPT1 and ATP-binding cassette (ABC) transporter ABCG2 in 5-aminolevulinic acid (ALA)-based photocytotoxicity of gastric cancer cells in vitro. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2012; 9: 204-214.
- 12) Blumer S, Kharouba J, Kats L, Schachter D, Azem H. Visual examination, fluorescence-aided caries excavation (FACE) technology, bitewing X-ray radiography in the detection of occlusal caries in first permanent molars in children. *J Clin Pediatr Dent* 2021; 45: 152-157.
- 13) Hosoya Y, Tay FR, Miyazaki M, Inoue T. Hardness and elasticity of sound and caries-affected primary dentin bonded with one-step self-etch adhesive. *Dent Mater J* 2007; 26: 493-500.
- 14) Lennon AM, Buchalla W, Rassner B, Becker K, Attin T. Efficiency of 4 caries excavation methods compared. *Oper Dent* 2006; 31: 551-555.
- 15) Ricucci D, Bergenholtz G. Bacterial status in root-filled teeth exposed to the oral environment by loss of restoration and fracture or caries—a histobacteriological study of treated cases. *Int Endod J* 2003; 36: 787-802.
- 16) Ng YL, Mann V, Gulabivala K. Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. *Int Endod J* 2008; 4: 1026-1046.
- 17) Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008; 34: 1291-1301.
- 18) 長谷川達也, 北村和夫. EXTARO 300FV の特徴と臨床. 北村和夫. 歯内療法の三種の神器 2023 \gg 2024. デンタルダイヤモンド社: 東京; 2022. 34-39.
- 19) 長谷川達也, 北村和夫. 蛍光を応用した根管治療. 北村和夫. 続・日常臨床のレベルアップ&ヒント 67. デンタルダイヤモンド社: 東京; 2025. 43-49.
- 20) König K, Flemming G, Hübner R. Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 1998; 44: 1293-1300.
- 21) Steier L, Figueiredo JAP, Blatz MB. Fluorescence-enhanced diagnosis: A novel approach to visualize, detect, and remove caries. *Compend Contin Educ Dent* 2021; 42: 460-465.

— マイクロスコープで挑む一歯内・修復・歯周治療の新たな展開 —
マイクロスコープを用いた
マトリックスフリー隣接面コンポジットレジン修復の新提案

— Surface Tension Control Technique と Kyu-Shu Technique の臨床応用 —

樋口 惣

樋口歯科

A Novel Matrix-free Approach for Proximal Composite Resin Restoration
Using a Dental Operating Microscope

— Clinical Application of Surface Tension Control Technique and Kyu-Shu Technique —

HIGUCHI So

Higuchi Dental Clinic

キーワード：マイクロスコープ，隣接面修復，コンポジットレジン，表面張力，歯間離開

はじめに

コンポジットレジン修復は日常臨床において最も頻度の高い処置の一つであるが，特にII級窩洞における隣接面修復は，歯肉側マージンの適合性および隣接面コンタクトの回復といった点で多くの臨床家が困難を感じる処置である¹⁻³⁾。マージン不適合やコンタクトロスによるプラーク停滞を招き，二次う蝕のリスク因子となる可能性があるため⁴⁾，隣接面形態の適切な再現は長期的予後に大きく影響する重要な要素である。近年，歯科用マイクロスコープの普及により，拡大視野下における精密な処置が可能となり^{5,6)}，診査から接着操作にいたるまでの基本的処置の精度向上が期待されている。本稿では，アイボリー型セパレーターでわずかに歯間離開した後，マイクロスコープ下においてフロアブルレジンの表面張力を応用した充填手技(Kyu-Shu Technique)について報告する。

マイクロスコープ下で
コンポジットレジン修復を行うメリット

マイクロスコープを用いて術野を拡大し明視下にすることで，歯質の削除量を最小限に抑えることができ，う蝕の診査，う蝕除去，接着操作，充填といった各ステップの精度は向上する。特にフロアブルレジンの流動性および表面張力を利用した充填手技，Surface Tension Control Technique⁷⁾は，マイクロスコープの拡大視野下で行うことで可能となる。

ルーペでも拡大視野下の処置は可能であるが，マイクロスコープの「動画の記録機能」を活用することで，診査から充填，研磨，さらには術後説明にいたる一連の臨床プロセスを可視化するツールとして機能する。術中の動画を用いて術直後に患者へ説明を行うことで，治療内容の理解およびモチベーションの向上を得られる。この

ような記録機能は、患者教育のみならず術者自身のフィードバックやスタッフ教育にも応用可能であり、保存修復治療の質の向上に寄与する可能性がある。

マトリックスフリー隣接面コンポジットレジン修復の充填手技

本術式では、アイボリー型セパレーター (Fig. 1) を用いて歯間を一時的に離開させることで、マトリックスを使用せずに隣接面修復を行う。歯間離開量の目安としては、根管治療で使用する #6 ファイル (先端径約 0.06 mm) が余裕をもって通過する程度とし、およそ 80~100 μm の離開量を確保する。

以下に充填手技を解説する (Fig. 2)。

①接着操作後、窩洞底に High フロータイプのフロアブルレジンを 1 層塗布し、十分に光重合を行う。

②窩洞のアンダーカット部を High フロータイプのフ

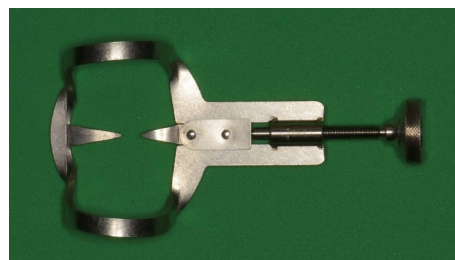


Fig. 1 Ivory-type separator (YDM, Tokyo, Japan)

This device is used to achieve temporary tooth separation during proximal composite restoration. Although originally designed for anterior teeth, it can also be used in posterior regions in most cases.

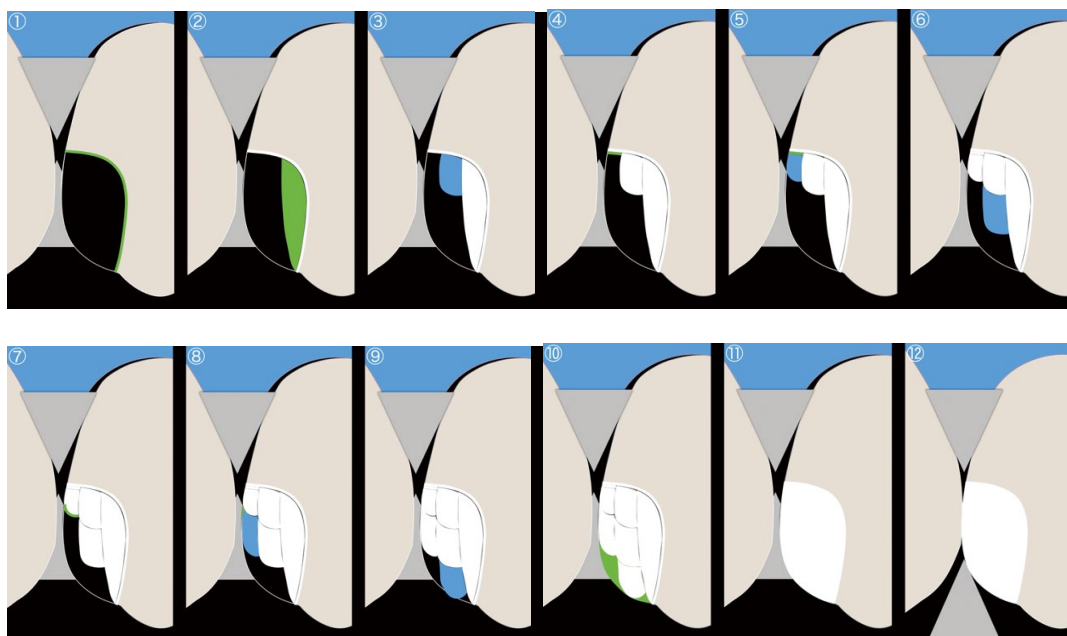


Fig. 2 Filling procedure

①After adhesion steps, a layer of high-flow flowable composite resin is applied on the floor of the cavity and light cured completely. ②Fill the undercut of the cavity with high-flow flowable composite resin. ③Low-flow flowable composite resin is applied to fabricate the backside. ④High-flow flowable composite resin is applied on the margin. ⑤Low-flow flowable composite resin is placed without curing, and then built up to the crown side. ⑥Once again the backside is created by low-flow flowable composite resin. ⑦High-flow flowable composite resin is applied. ⑧Low-flow flowable composite resin is placed on top of it without curing and built up so that it did not contact the adjacent tooth. ⑨Low-flow flowable composite resin is applied on the marginal ridges. ⑩High-flow flowable composite resin is applied around the marginal ridges and sent with an endodontic file to the contact point, then filled transitionally from the marginal ridges to the contact point. ⑪Polishing strips are used to shape the form. ⑫After confirming the marginal adaptation, separator is loosened and we need confirm the proper contact restored.



Fig. 3 Preoperative intraoral photograph and dental radiograph showing carious lesions between teeth #24-25 and #25-26

ロアブルレジジンで充填する。

③Low フロータイプのフロアブルレジジンを用いて裏打ちを形成する。

④歯肉側マージンに High フロータイプのフロアブルレジジンを塗布する。

⑤光重合せずに Low フロータイプのフロアブルレジジンを追加し、歯冠側へ向かって築盛する。

⑥再度、Low フロータイプのフロアブルレジジンを用いて裏打ちを形成する。

⑦High フロータイプのフロアブルレジジンを塗布する。

⑧光重合せずに Low フロータイプのフロアブルレジジンを上に乗せ、隣接歯と接触しないよう注意しながら立ち上げる。

⑨Low フロータイプのフロアブルレジジンで辺縁隆線を作る。

⑩High フロータイプのフロアブルレジジンを辺縁隆線周囲に塗布し、根管治療用ファイルを用いてコンタクトポイント方向へ送り、辺縁隆線からコンタクトポイントへ移行的に充填する。

⑪研磨用ストリップスを用いて形態修正を行う。

⑫辺縁適合性を確認後、アイボリー型セパレーターを緩めて撤去し、適切な隣接面コンタクトが回復していることを確認する。

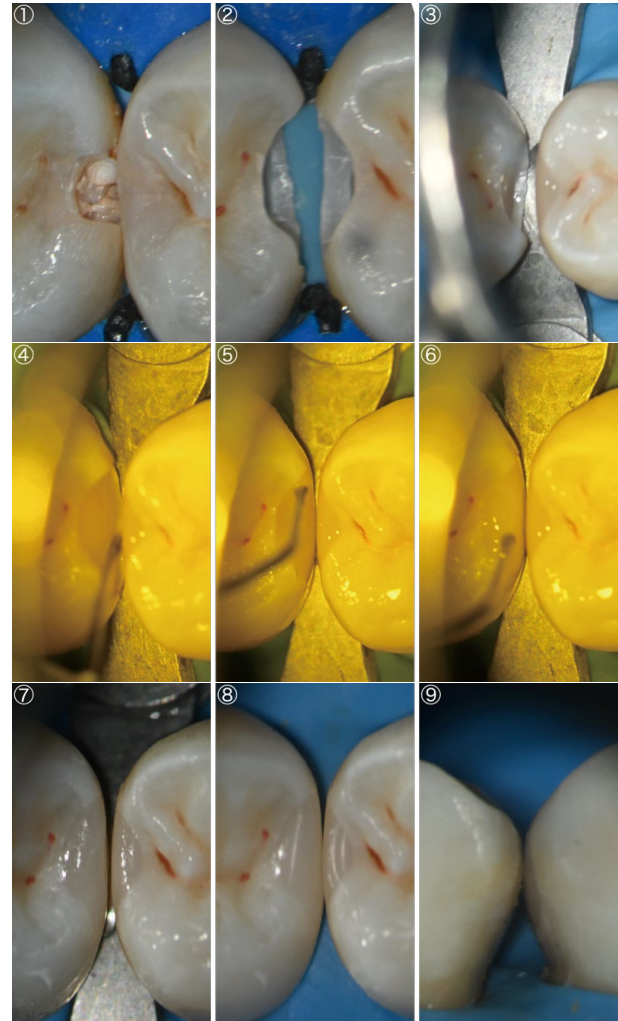


Fig. 4

①-③: After caries removal, an Ivory-type separator was placed to achieve temporary tooth separation.

④-⑥: Following adhesive procedures, a high-flow flowable composite resin was used for lining. After creating a base with a low-flow flowable composite resin, a thin layer of high-flow flowable composite resin was applied to the gingival margin without light curing. Subsequently, low-flow flowable composite resin was carefully added, and the proximal wall was gradually built up while avoiding contact with the adjacent tooth.

⑦-⑨: With the teeth still separated, the proximal surface was finished using polishing strips. Good marginal adaptation between the tooth structure and composite resin was observed. After removal of the Ivory-type separator, appropriate proximal contact with the adjacent tooth was restored.



Fig. 5 Immediate postoperative intraoral photograph and dental radiograph showing good marginal adaptation between the composite resin and gingival tooth structure



Fig. 6 Intraoral photograph and dental radiograph at 3-year follow-up showing no fractures or debonding and an uneventful clinical course

症 例

患者は 28 歳，女性。術前の口腔内写真とデンタル X 線写真から，#24-25 間，#25-26 間にう蝕を認めた (Fig. 3)。#24 遠心辺縁隆線のエナメル質を開削していくと，象牙質内でう蝕は拡大していた。#24，#25 窩洞形成終了後，先に窩洞の小さな #25 を充填した。その後，アイボリー型セパレーターを装着し，わずかに歯間を離開した。接着操作を行った後，High フロータイプのフロアブルレジンでできるだけ薄くライニングした。咬合面から観察して窩洞のアンダーカットを High フロータイプのフロアブルレジンで充填し，Low フロータイプのフロアブルレジンで仮想の象牙質をイメージしながら裏打ちを充填した。裏打ちは，最終的な隣接面形態とできるだけ相似形になるようにした。歯肉側のマージン部に High フロータイプのフロアブルレジンで薄く塗布し，光照射せずに Low フロータイプのフロアブルレジンに乗せ，フロアブルレジンの表面張力を利用して，隣接歯に接触しないよう慎重にゆっくりと立ち上げていった。隣接歯との接触となるポイントを越えたところで，Low フロータイプのフロアブルレジンで辺縁隆線を充填した。辺縁隆線と隣接面の接触ポイントまでの

段差に High フロータイプのフロアブルレジン を #6 ファイルで送り込むことで移行的な形態となった。アイボリー型セパレーターで歯間を離開したまま，研磨用ストリップスで隣接面を研磨した後，歯質とコンジットレジンとの辺縁適合性を確認した。セパレーターを緩め，隣接歯との接触を確認した。咬合面を咬合調整，研磨し，終了した (Fig. 4)。術後の口腔内写真とデンタル X 線写真から，良好な辺縁適合性は得られていることが確認できた (Fig. 5)。現在 3 年経過しているが，臨床症状もなく，良好に経過している (Fig. 6)。

まとめ

マイクロスコープ下に歯間を離開させ，フロアブルレジンの表面張力を応用した充填，Kyu-Shu Technique は，適切な接触および辺縁適合性の獲得に有用であり，長期的予後の向上に寄与する可能性があると考えられた。

文 献

- 1) Nedeljkovic I, Teughels W, De Munck J, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL. Is secondary caries with composites a material-based problem? Dent Mater 2015; 31: e247-277.

- 2) Loomans BA, Opdam NJ, Roeters FJ, Bronkhorst EM, Burgersdijk RC, Dörfer CE. A randomized clinical trial on proximal contacts of posterior composites. *J Dent* 2006; 34: 292-297.
- 3) Loomans BA, Opdam NJ, Roeters FJ, Bronkhorst EM, Plasschaert AJ. The long-term effect of a composite resin restoration on proximal contact tightness. *J Dent* 2007; 35: 104-108.
- 4) Bhaty B, Ye Q, Misra A, Sene F, Spencer P. Posterior composite restoration update: Focus on factors influencing form and function. *Clin Cosmet Investig Dent* 2013; 5: 33-42.
- 5) Bud M, Jitaru S, Lucaciu O, Korkut B, Dumitrascu-Timis L, Ionescu C, Cimpean S, Delean A. The advantages of the dental operative microscope in restorative dentistry. *Med Pharm Rep* 2021; 94: 22-27.
- 6) Mitsuhashi J. Replacement of class II composite resin restoration by microscope-aided restoration with good conformity and cleaning characteristics. *J Micro Dent* 2014; 5: 20-24.
- 7) Mitsuhashi J. Possibility of composite resin restoration using microscope. *Nihon Dental Review* 2015; 75: 99-104.

マイクロスコープで挑む一歯内・修復・歯周治療の新たな展開—
ペリオドンタルマイクロサージェリーによる低侵襲歯周外科治療

—歯周組織再生療法への応用—

山口 文 誉

山口歯科医院

Minimally Invasive Periodontal Surgery Using Periodontal Microsurgery

—Application to Periodontal Tissue Regeneration Therapy—

YAMAGUCHI Fumiyo

Yamaguchi Dental Clinic

キーワード：ペリオドンタルマイクロサージェリー，低侵襲歯周外科治療，歯周組織再生療法，MIST，M-MIST，EPPT

緒 言

近年，医療分野において低侵襲治療の概念は大きな潮流となっている。低侵襲治療は，単に外科的侵襲を軽減するのみならず，組織の血流や創傷治療環境を温存することにより，より良好で予知性の高い治療結果を得ることを目的としている。歯科領域では，修復治療，補綴治療，歯内療法などさまざまな分野で低侵襲治療の概念が導入されてきた。なかでも歯周治療においては，歯周組織再生療法や歯周形成外科において低侵襲な外科的アプローチの導入が進み，治療成績の向上に大きく寄与している。Harrel¹⁾は1999年に歯周再生に対する minimally invasive surgical (MIS) approach を報告し，その後 Cortellini と Tonetti²⁻⁵⁾は microsurgical approach, minimally invasive surgical technique (MIST), modified minimally invasive surgical technique (M-MIST) と段階的に発展させ，低侵襲再生外科の臨床的基盤を築いた。このような流れのなかで注目されているのが，ペリ

オドンタルマイクロサージェリーである (Fig. 1)。歯科用マイクロスコープやマイクロインストルメントを用いることにより，拡大視野下での精密な切開，剥離，縫合が可能となり，組織損傷を最小限に抑えつつ血流の温存と創傷治癒の促進が期待できる。特に歯周組織再生療法においては，乳頭部組織の保存や創部の安定化が成功の鍵となるため，マイクロサージェリーの導入はきわめて有用である²⁻⁹⁾。

本稿では，ペリオドンタルマイクロサージェリーを応用した低侵襲歯周外科治療に焦点を当て，歯周組織再生療法を行った以下の3症例を提示する。すなわち，①重度な垂直性骨欠損を有する歯の保存，②セメント質剥離に起因する骨欠損への再生療法，③第三大臼歯抜歯後に生じた第二大臼歯遠心骨欠損への再生療法，である。これらの症例を通じて，ペリオドンタルマイクロサージェリーを用いた低侵襲歯周外科治療の臨床的有用性について報告する。なお，本症例の報告については患者本人より同意を得ている。



Fig. 1 ペリオドンタルマイクロサージェリーの実際の様子

歯周外科治療は術者と2名のアシスタントの3人体制で行っている。

症 例

1. 症例 1：重度な垂直性骨欠損に対する歯周組織再生療法

患者は47歳女性、非喫煙者であり、全身既往歴に特記事項はない。診断は、広汎型歯周炎 Stage III Grade C、主訴は上顎右側中切歯の歯肉腫脹および歯の動揺であった。同部位にはBOP (+)を伴う14 mmの深い歯周ポケットと2度の動揺が認められ、デンタルエックス線写真およびCBCT所見より、根尖付近にまで及ぶ重度な垂直性骨欠損が確認された。一般的には保存が困難と判断される可能性のある骨欠損形態であったが、近心側に歯周組織の付着が一部残存していると考えられたため、歯周基本治療後の再評価の結果、歯周組織再生療法による保存を行うこととした (Fig. 2)。

外科処置は、ペリオドンタルマイクロサージェリーの概念に基づいて実施した。フラップデザインにはMISTを採用した。MISTはCortelliniとTonettiにより報告された術式であり、限局した深い垂直性骨欠損に対して、外科的侵襲を抑えつつ創傷安定性を高めることを特徴とする^{3,4)}。歯間幅は、2 mm以上あったため歯間乳頭を保存するための水平切開 modified papilla preservation technique (MPPT)を適応し、歯周組織の血流および乳頭部組織の温存を図った。全層弁にて剥離回転後、骨欠損部の肉芽組織を慎重に除去し、根面のデブライドメントを十分に行った後、再生療法を施行した。特に、再生療法の成功に重要となる乳頭部の初期閉鎖 (primary closure) を確実に得ることを目的として、7-0縫合糸を用いて垂直懸垂マットレス縫合にて緊密な創閉鎖を行った。術後経過は良好であり、5年3カ月の経過観察において骨欠損の改善が認められた。臨床的には歯周ポケットは3 mm以内に減少し、BOPは消失した。動揺も認め

られず、機能的・臨床的に安定した状態が維持されている (Fig. 3)。

本症例は、従来であれば保存困難と判断される可能性のある重度な垂直性骨欠損に対しても、ペリオドンタルマイクロサージェリーを応用した低侵襲歯周外科治療により歯の保存が可能となった症例である。

2. 症例 2：セメント質剥離に起因する骨欠損に対する歯周組織再生療法

患者は67歳女性、非喫煙者であり、全身既往歴に特記事項はない。診断は、限局型歯周炎 Stage III Grade Cであった。患者は当院にて17年間継続してメンテナンスを受けていたが、メンテナンス時に突然、上顎左側中切歯にBOP (+)を伴う10 mmの歯周ポケットが認められた。デンタルエックス線写真では、近心部にセメント質剥離を疑わせる透過像が認められた。

セメント質剥離は比較的まれで診断が難しく、歯周疾患や垂直破折、歯内・歯周病変との鑑別が問題となる病態である^{10,11)}。Leeらの2021年のレビューでは、CBCTによる三次元的評価や外科的直接観察の重要性、さらに分類に基づく治療戦略の必要性が整理されている¹⁰⁾。本症例では、CBCTおよび臨床所見より、既報のLeeの分類¹⁰⁾に従いClass I Stage Bと判断した。この分類では、再生療法による治療予後は比較的良好であるとされている。また、セメント質剥離の発生部位によって治療戦略が異なることが報告されており、剥離が歯根のどの位置に存在するかによって外科的アプローチの必要性が判断される¹⁰⁾。本症例では、セメント質剥離が歯根中央部から根尖側1/3付近に及んでいたことから、外科的アプローチによる歯周組織再生療法を選択した。

外科処置は、ペリオドンタルマイクロサージェリーの概念に基づいて実施した。フラップデザインにはM-MISTを適応し、可能なかぎり低侵襲なアプローチを行った。唇側のみのシングルフラップによる最小限の剥離により骨欠損部へアクセスし、マイクロスコープ下で精密な処置を行った (Fig. 4)。M-MISTはMISTをさらに発展させ、創傷安定性の向上を目的として報告された術式であり、単独歯の垂直性骨欠損における良好な治療が示されている^{5,6)}。セメント質剥離部および周囲の感染組織を丁寧に除去し、根面のデブライドメントを徹底した後、再生材料を填入した。7-0縫合糸を使用し、垂直懸垂マットレス縫合により歯間乳頭部の初期閉鎖を確実に得ることを重視した。術後経過は良好であり、術後6年2カ月の経過観察において歯周組織の安定が確認された。臨床的には歯周ポケットは2 mmに減少し、BOPは消失した。歯肉退縮は2 mm認められたが、臨床的アタッチメントゲイン (CAL gain) は5 mm認められ、良好な治療結果が得られた (Fig. 5)。

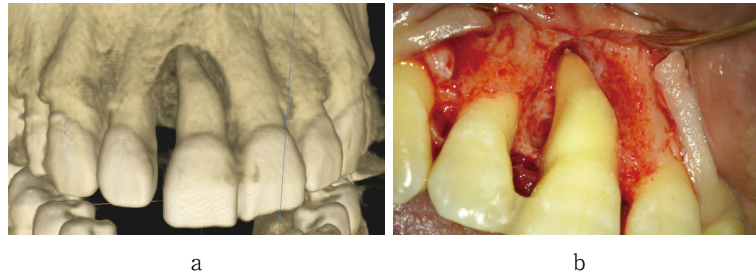


Fig. 2 症例1：初診時のCBCT (a) とデブライドメント後の口腔内写真 (b)

根尖付近にまで及ぶ重度な垂直性骨欠損が確認されたが、近心側に歯周組織の付着が一部残存していると考えられたため、歯周組織再生療法による保存治療を行った。

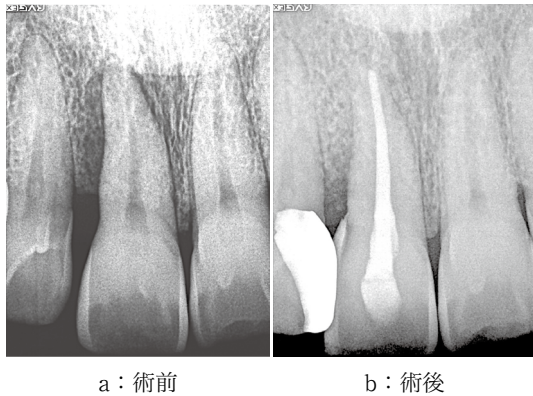


Fig. 3 症例1：デンタルエックス線写真の術前後の比較（5年3カ月後）

歯周ポケットは3 mm 以内に減少し、BOPは消失し、骨欠損の改善が確認できる。動揺もない。

本症例は、診断および治療が困難とされるセメント質剥離に対しても、ペリオドンタルマイクロサージェリーを応用した低侵襲歯周外科治療により、良好な長期予後が得られた症例である。

3. 症例3：第三大白歯抜歯後に生じた第二大臼歯遠心骨欠損に対する歯周組織再生療法

患者は31歳男性、非喫煙者であり、全身既往歴に特記事項はない。診断は、限局型歯周炎 Stage III Grade Cであった。下顎左側第三大白歯の抜歯後に下顎左側第二大臼歯遠心部に強い炎症が認められたため、歯周治療を希望し、矯正専門医より紹介され来院した。

下顎第三大白歯抜歯後に第二大臼歯遠心部の骨欠損が残存することは、よく知られた臨床的問題である。2018年のAAP/EFP分類で、同部位の抜歯後に残存する深い歯周ポケットのみでは歯周炎とは診断されないとされたが、BOPを伴う炎症が存在する場合には歯周炎として評

価し、通常どおり歯周治療を行う必要がある。再生療法はその予防・治療に有効であることが報告されている^{12,13}。2016年のsystematic review/meta-analysisにおいても、再生治療の介入は抜歯後の骨欠損の改善に有用であると結論づけられている¹³。しかし、下顎第三大白歯抜歯後に生じる第二大臼歯遠心部骨欠損は、再生療法の好適応と考えられる骨壁に囲まれた contained defect であることが多いが、必ずしも容易に成功へ導けるわけではない。これは同部位特有の解剖学的条件による影響が大きく、付着歯肉が少ないことに加え、周囲筋および筋膜の影響により咀嚼・嚥下時に粘膜が牽引されやすく、初期閉鎖が困難となりやすいことなどが挙げられる。

歯周精密検査の結果、左下第二大臼歯遠心部にBOPを伴う15 mmの深い歯周ポケットが認められた。臨床的に強い炎症所見を認めたため、まず非外科的歯周治療を行うとともに、炎症のコントロールを目的として歯肉剥離搔爬術 (open flap debridement) を施行した。その後、炎症の改善を確認したうえで歯周組織再生療法を実施した。外科処置では、歯間乳頭部の血流を温存することを目的として entire papilla preservation technique (EPPT) を採用した。骨欠損部へのアクセスを最小限とするため、可能なかぎり骨欠損直上への切開を避けたフラップデザインとした。EPPTはAslanらにより報告された歯周外科アプローチであり、深く広い intrabony defect に対して乳頭の連続性を保ちながら創閉鎖を得ることを目的としている^{8,9}。骨欠損部の肉芽組織を慎重に除去し、根面のデブライドメントを十分に行った後、再生材料を填入した。初回手術では、主として骨欠損部の充填および血餅の安定化を目的とした処置を行った。しかし、再評価時においても依然として深い歯周ポケット、出血、排膿が認められたため、再度歯周組織再生療法を行うこととした。2回目の手術では、初回手術以上に徹底したデブライドメントを行い、骨欠損が大きかつ



Fig. 4 症例2:セメント質剥離に起因する骨欠損に対する歯周組織再生療法

上顎左側中切歯にBOP(+)を伴う10 mmの歯周ポケットが認められた(a)。セメント質剥離と診断しM-MISTにて歯周組織再生療法を行った(b)。



a:術前 b:術後

Fig. 5 症例2:デンタルエックス線写真の術前後の比較(6年2カ月後)

歯周ポケットは2 mmに減少し、BOPは消失した。歯肉退縮は2 mm認められたが、臨床的アタッチメントゲイン(CAL gain)は5 mm認められ、良好な治療結果が得られた。

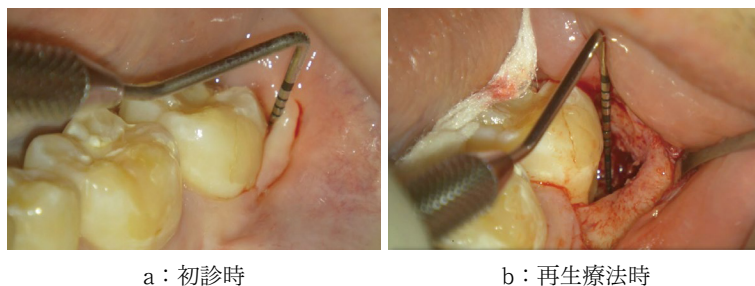
たことから吸収性遮断膜を併用した再生療法を施行した(Fig. 6)。さらに、フラップの安定性を高めるため、縫合においては縦切開部の単純縫合だけでなく、フラップを歯冠側へ引き寄せる懸垂縫合も併用した。術後8カ月の時点で骨欠損の改善が認められ、臨床所見も良好であった。しかしながら遠心部に仮性ポケットが残存し、わずかな排膿が疑われたため、Er:YAGレーザーを用いた歯肉切除により残存ポケットの除去を行った。その結果、術後10カ月の時点で歯周ポケットは3 mm以内に減少し、BOPも消失した。現在、術後6年3カ月が経過しているが、歯周組織は安定しており、矯正治療も問題なく進行している(Fig. 7)。

本症例は、第三大臼歯抜歯後に生じた第二大臼歯遠心部の高度な骨欠損に対して、段階的な炎症コントロールおよび歯周組織再生療法を行うことにより、良好な長期予後が得られた症例である。

考 察

近年、歯周外科領域においては低侵襲治療の重要性が広く認識されるようになってきている。歯周組織再生療法の成功には、骨欠損部に形成された血餅の安定および創部の初期閉鎖が重要であり、外科的侵襲を最小限に抑えることが予知性の高い治療結果につながると考えられている^{1-9,14-16}。2020年のnetwork meta-analysisでも、MISは単独の垂直性骨欠損に対して信頼できる治療選択肢であると述べられている¹⁴。また、2023年のreviewでは、再生治療の成否には術式選択だけでなく、創傷安定性、フラップデザイン、乳頭保存、材料露出の回避などが重要であると総括されている¹⁶。ペリオドンタルマイクロサージェリーは、単に術野を拡大する技術ではなく、精密な切開、愛護的な軟組織操作、乳頭保存、緊密な創閉鎖、および血餅保護を可能にする臨床戦略である。Harrelは小切開・限定的フラップによるMISを報告し¹、CortelliniとTonettiはmicrosurgical approach, MIST, M-MISTを通して、初期閉鎖と創傷安定性の重要性を示した²⁻⁵。さらに2022年の長期成績報告では、M-MISTを基盤とした治療は10年後においても歯の保存や再介入コストの面からも有用であることが示されている¹⁵。

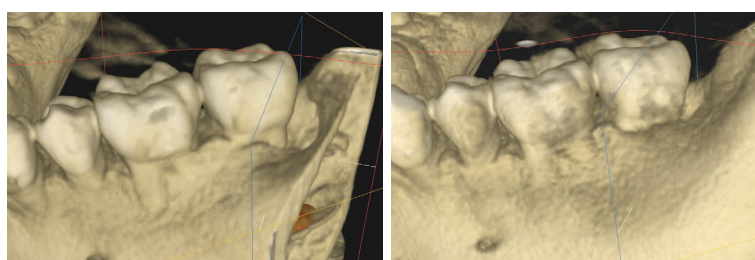
本稿で提示した3症例は、いずれも性質の異なる難症例であった。症例1では、根尖近くまで及ぶ高度な垂直性骨欠損を認めたが、歯根膜および歯周組織付着の残存に着目し、再生療法による保存を選択した。これは、従来であれば抜歯または保存困難と判断される可能性のあった症例に対しても、適切な診断と低侵襲かつ精密な術式により保存の可能性が広がることを示している。症例2では、診断自体が難しいセメント質剥離に対して、エックス線写真、CBCT所見、臨床所見を総合して治療方針を決定した。セメント質剥離は孤立性で急速な歯周



a : 初診時

b : 再生療法時

Fig. 6 症例3：第三大白歯抜歯後に生じた第二大臼歯遠心骨欠損に対する歯周組織再生療法
歯周組織再生療法を二度にわたり実施した。



a : 術前

b : 術後

Fig. 7 症例3：CBCTの術前後の比較（6年3カ月後）
歯周ポケットは3mmに減少し、BOPは消失した。

組織破壊を呈することがあり、歯周病変との鑑別が重要である^{10,11}。本症例は、詳細な診断と適切な術式選択により長期安定が得られた点で意義が大きい。症例3では、第三大白歯抜歯後に生じた第二大臼歯遠心部骨欠損という、日常臨床で比較的遭遇しやすい病態に対し、炎症コントロール、再生療法、再介入、および補助的な軟組織処置を段階的に行った。初回手術のみで完結しなかった点を含め、重度歯周炎症例に対しては病態に応じた段階的介入が有効であることが示唆された。第三大白歯抜歯後の骨欠損に対する再生療法の有効性は既報とも整合する^{12,13}。

さらに、近年の best evidence review では、垂直性骨欠損に対する biologics の有効性が整理され、特にエムドゲイン (EMD : enamel matrix derivative) などの生物学的製剤を適切に用いることが臨床成績向上に寄与するとされている¹⁷。一方で、再生治療では術式だけでなく症例選択と創傷管理が結果を左右するため、低侵襲なフラップデザインと確実な初期閉鎖の価値は今後も高いと考えられる^{16,17}。

以上より、ペリオドンタルマイクロサージェリーは、低侵襲性、創傷安定性、血流温存、乳頭保存、および初期閉鎖の確実性を高めることにより、再生療法の予知性を向上させる重要な臨床戦略であると考えられる。現

在、歯周組織再生療法においては、より低侵襲で予知性の高い治療アプローチの確立が求められており、ペリオドンタルマイクロサージェリーはその中核を担う術式の一つと考えられる^{1-9,14-17}。

結 論

ペリオドンタルマイクロサージェリーを応用した低侵襲歯周外科治療は、歯周組織再生療法において良好な治療結果をもたらす可能性が示された。拡大視野下での精密な外科操作と組織温存を重視した術式により、従来では保存が困難と考えられていた歯の保存も達成できる可能性がある。今後もマイクロサージェリーを応用した低侵襲歯周外科治療を発展させることにより、より多くの歯の長期保存につながることを期待される。

文 献

- 1) Harrel SK. A minimally invasive surgical approach for periodontal regeneration: surgical technique and observations. *J Periodontol* 1999; 70: 1547-1557.
- 2) Cortellini P, Tonetti MS. Microsurgical approach to periodontal regeneration. Initial evaluation in a case cohort.

- J Periodontol 2001; 72: 559-569.
- 3) Cortellini P, Tonetti MS. A minimally invasive surgical technique with an enamel matrix derivative in the regenerative treatment of intra-bony defects: a novel approach to limit morbidity. J Clin Periodontol 2007; 34: 87-93.
 - 4) Cortellini P, Tonetti MS. Minimally invasive surgical technique and enamel matrix derivative in intra-bony defects. I: Clinical outcomes and morbidity. J Clin Periodontol 2007; 34: 1082-1088.
 - 5) Cortellini P, Tonetti MS. Improved wound stability with a modified minimally invasive surgical technique in the regenerative treatment of isolated interdental intrabony defects. J Clin Periodontol 2009; 36: 157-163.
 - 6) Cortellini P, Tonetti MS. Clinical and radiographic outcomes of the modified minimally invasive surgical technique with and without regenerative materials: a randomized-controlled trial in intra-bony defects. J Clin Periodontol 2011; 38: 365-373.
 - 7) Cortellini P, Tonetti MS. Minimally invasive surgical techniques in periodontal regeneration. J Evid Based Dent Pract 2012; 12 (3 Suppl): 89-100.
 - 8) Aslan S, Buduneli N, Cortellini P. Entire papilla preservation technique: A novel surgical approach for regenerative treatment of deep intrabony defects. Int J Periodontics Restorative Dent 2017; 37: e326-e333.
 - 9) Aslan S, Buduneli N, Cortellini P. Entire papilla preservation technique in the regenerative treatment of deep intrabony defects: 1-year results. J Clin Periodontol 2017; 44: 926-932.
 - 10) Lee AHC, Neelakantan P, Dummer PMH. Cemental tear: Literature review, proposed classification and recommendations for treatment. Int Endod J 2021; 54: 2044-2073.
 - 11) Haney JM. Cemental tear related to rapid periodontal breakdown. J Periodontol 1992; 63: 1000-1002.
 - 12) Karapataki S, Hugoson A, Falk H, Laurell L, Kugelberg CF. Healing following GTR treatment of intrabony defects distal to mandibular second molars using resorbable and non-resorbable barriers. J Clin Periodontol 2000; 27: 333-340.
 - 13) Lee CT, Hum L, Chen YW. The effect of regenerative periodontal therapy in preventing periodontal defects after the extraction of third molars: A systematic review and meta-analysis. J Am Dent Assoc 2016; 147: 709-719.e4.
 - 14) Barbato L, Selvaggi F, Kalemaj Z, Buti J, Bendinelli E, Marca M, Cairo F. Clinical efficacy of minimally invasive surgical (MIS) and non-surgical (MINST) treatments of periodontal intra-bony defect: A systematic review and network meta-analysis of RCT's. Clin Oral Investig 2020; 24: 1125-1135.
 - 15) Cortellini P, Cortellini S, Bonaccini D, Tonetti MS. Modified minimally invasive surgical technique in human intrabony defects with or without regenerative materials—10-year follow-up of a randomized clinical trial: Tooth retention, periodontitis recurrence, and costs. J Clin Periodontol 2022; 49: 528-536.
 - 16) Jepsen K, Sculean A, Jepsen S. Complications and treatment errors related to regenerative periodontal surgery. Periodontol 2000 2023; 92: 120-134.
 - 17) Tavelli L, Chen CJ, Barootchi S, Kim DM. Efficacy of biologics for the treatment of periodontal infrabony defects: An American Academy of Periodontology best evidence systematic review and network meta-analysis. J Periodontol 2022; 93: 1803-1826.

切削実習における Er : YAG レーザーとエアタービンの効果の比較

加藤 邑佳 市村 葉門 倉弘志 和田 恵
土屋 隆子 磯 英介 阿部 俊人 荒井 謙
龍田 将秀 西田 伊織 石山 元基 横瀬 敏志

明海大学歯学部機能保存回復学講座保存治療学分野

抄録

目的：歯質の切削に用いられるエアタービンと Er : YAG レーザーを比較した場合、その切削過程において、直接歯質に接触する回転切削器具に対して Er : YAG レーザーは非接触状態で歯質を蒸散することから、両者の作業効率には違いがあることが考えられる。そこで本研究の目的は、歯質の切削過程において Er : YAG レーザーとエアタービンを比較し、その作業効率に及ぼす影響を検討した。

材料と方法：実験は、明海大学歯学部倫理委員会の承認を得て行った (A2512)。被験者は明海大学歯学部 2 年生 8 名と、明海大学歯学部保存治療学分野に所属する臨床歴 5 年以上の歯科医師 8 名とした。5×10 mm の長方形を描いた窩洞形成用プレート (プレパレーションプレート, ニッシン) を準備し、被験者は Er : YAG レーザー (Erwin AdvErL EVO, モリタ) に C400F のチップを装着して窩洞形成を行ったプレート (レーザー群)、とエアタービン (ツインパワータービン 4H, モリタ) にペアー型ダイヤモンドポイント (Bur No. 462R, 松風) を装着して窩洞形成を行ったプレート (タービン群) を作製した。窩洞形成後のプレート表面を歯科用実体顕微鏡で観察し、切削状態を確認した。また、窩洞形成時間をストップウォッチで計測し、窩洞形成にかかる時間を計測した。

成績：レーザー群では、タービン群と比較して浅い窩洞となり、窩洞の外形偏位や着色の取り残しのばらつきはレーザー群のほうが小さかった。一方、歯科医師と学生の差は、タービン群と比較してレーザー群では差が少ないことが確認できた。窩洞形成平均時間はタービン群と比較して、レーザー群では有意に長くなることが示された。さらにタービン群では歯科医師に比較して学生のほうが有意に長くなったが、レーザー群では歯科医師と学生の間には有意な差はみられなかった。

結論：Er : YAG レーザーによる窩洞形成は従来のエアタービンを用いた窩洞形成よりも術者経験の影響を受けにくく、比較的ばらつきの少ない規格化された窩洞形成を行うことができる可能性が示唆された。

キーワード：Er : YAG レーザー, エアタービン, 窩洞形成

責任著者連絡先：加藤邑佳

〒350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1 明海大学歯学部機能保存回復学講座保存治療学分野

TEL & FAX : 049-279-2736, E-mail : yuka-kato@dent.meikai.ac.jp

受付：2026 年 1 月 13 日/受理：2026 年 2 月 24 日

DOI : 10.11471/shikahozon.69.120

緒言

Er:YAGレーザーは294 μ mの波長を有し、水や、ハイドロキシアパタイトに吸収される性質を有することから、歯や骨といった硬組織の切削に適しており、すでに多くの臨床の場で活躍している¹⁾。一般に使用されている回転切削器具と比較してEr:YAGレーザーは、振動が少ない、痛みが少ない、殺菌効果などが利点として報告されており²⁻⁶⁾、一方、切削効率が低く、操作に時間がかかるなどの欠点も報告されている⁴⁾。

回転切削器具とEr:YAGレーザーの切削動作に着目した場合、実際に歯の表面に接触する回転切削器具に対して、非接触としてレーザー光を照射するEr:YAGレーザーではその動作方法に大きな相違点がある。これにより硬組織の切削動作において回転切削器具と比較してより選択的な歯質の除去を行うことができると報告されている⁶⁾。

一方、近年では治療法の標準化が進み、ガイドラインのエビデンスに沿った治療方法の規格化が推奨され⁷⁾、安定した治療効果が得られるようになってきた。このような最中、Er:YAGレーザーの特徴に着目した場合、Er:YAGレーザーが規格化された窩洞形成に応用できるのではないかと考えた。そこでEr:YAGレーザーが規格化された窩洞形成に対して、回転切削器具と比較して臨床経験にあまりとらわれずに形成ができるかを検証する実験方法を立案した。これまでに回転切削器具とEr:YAGレーザーの比較研究は多く行われてきたが²⁻⁶⁾、今回は回転切削器具とEr:YAGレーザーそれぞれに対して、アーリーエクスポージャーカリキュラムでの歯学部2年生と、明海大学歯学部保存治療学分野に所属する臨床歴5年以上の歯科医師を対象にして、窩洞形成トレーニング用プレートを使用して、規格化された窩洞形成を行い評価した。本研究の目的は、回転切削器具とEr:YAGレーザーを用いて、臨床経験のある歯科医師と臨床経験のない学生が窩洞形成を行い、両者の切削効率について分析し、Er:YAGレーザーの有用性を検証することとした。

材料および方法

実験は明海大学歯学部倫理委員会の承認を受け、実施した(A2512)。明海大学歯学部2年生8名、および明海大学歯学部附属明海大学病院の保存治療学分野に所属する臨床歴5年以上の歯科医師8名を対象に行った。歯科医師はEr:YAGレーザーの使用経験を有しており、学生は全員Er:YAGレーザーの使用経験はない。縦5mm、

横10mmの長方形を描いた窩洞形成練習用プレート(プレパレーションプレート、ニッシン)に、幅1mmの枠線を設定し、縦5mm、横10mmの長方形を黒マジックにて作製し実験に使用した(Fig.1)。切削実習に入る前に、被験者である学生および歯科医師に対して、プレートに記載された黒色の長方形を切削するように指示をした。学生に対して、タービンとEr:YAGレーザーを安全に使用させるために、日本レーザー歯学会の専門医を有する教員が、視覚素材と教本⁸⁻¹⁰⁾を用いて講義と使用方法についての実習を行った。切削条件は、ベアー型のダイヤモンドポイント作業部長1.7mm(Bur No.462R, 松風)を装着したエアタービン(ツインパワータービン4H, モリタ)、回転数370,000 \pm 30,000rpmで注水下にて窩洞形成を行った(以降、タービン群, Fig.1-a)。また、Er:YAGレーザー(Erwin AdvErL EVO, モリタ)にチップ(C400F, モリタ)を装着し、非接触20pps, 30mJの条件で照射して窩洞形成を行った(以降、レーザー群, Fig.1-b)。なお条件は、山崎ら¹¹⁾の報告を参考にした。終了後、窩洞形成後のプレート表面を観察した。評価方法は、窩洞形成後のプレートを実体顕微鏡下で観察し、黒い枠から、一箇所以上はみ出している場合を「はみ出した」と判断した。また、1mmの黒線上を0.5mm以上超えた場合を「線上」と判断した。また、う蝕検知液による染色を想定した黒色部の取り残しが、目視で確認できれば「取り残しあり」と判断した。切削に要する時間を、切削開始から、被験者の終了の申告があるまでストップウォッチで計測した。なお、窩洞形成・黒色部の取り残し・切削時間はそれぞれ1回ずつ測定を行った。

統計処理は、Kruskal Wallis H-test 検定を行い、Mann-Whitney U-test with Bonferroni correction にて多重検定を行った。p<0.05にて有意差を検定した。

結果

1. 切削後のプレート表面

切削前(Fig.2-a)と切削後の代表的なプレート写真(Fig.2-b-e)を示す。上段がタービン群(Fig.2-b,c)、下段がレーザー群(Fig.2-d,e)を示す。また、左側は歯科医師が形成したもので(Fig.2-b,d)、右側は学生が形成したプレート(Fig.2-c,e)を示す。上段のタービン群と比較して、下段のレーザー群では、視覚的に窩洞の深さが浅く、均一であり、さらにレーザー照射の一発による小さな窪みを多数認め、取り残しが目立っていた。一方で、歯科医師と学生の形成を比較すると、レーザー群に比較してタービン群のほうが視覚的には差が認められた。

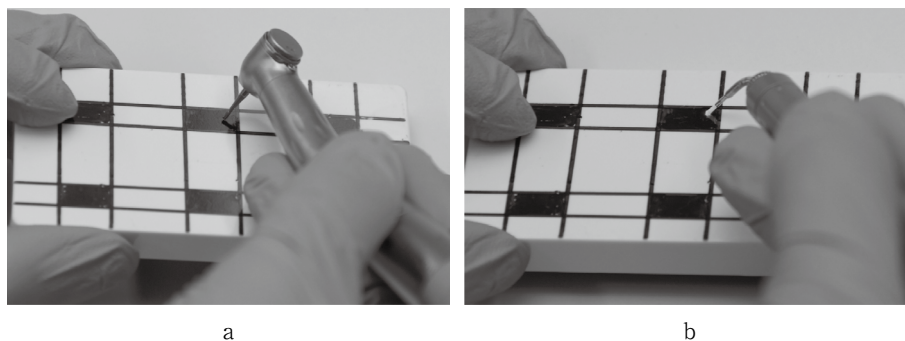


Fig. 1 Preparation training using an air turbine or an Er : YAG laser
Cavity preparation was performed using either an air turbine handpiece (Twin-power turbine 4H) equipped with a pear-shaped diamond point (a) or an Er : YAG laser (Erwin AdvErL EVO with a C400F tip) in the laser group (b).

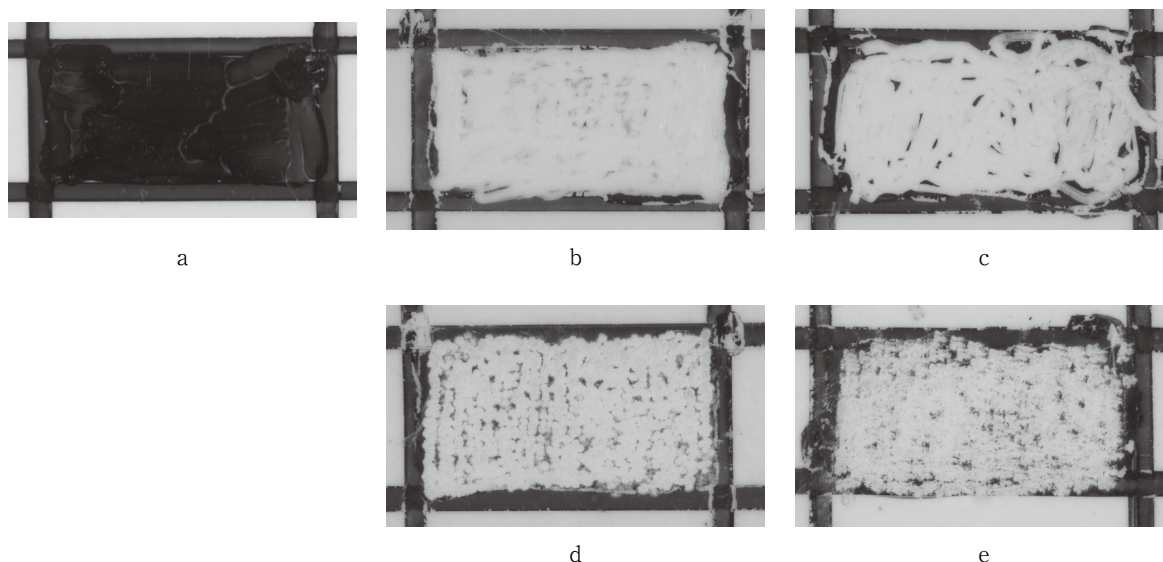


Fig. 2
The preparation training plate before the preparation (a). Representative image of the plate after preparation procedures (b-e). The plate prepared in turbine group (b and c) and laser group (d and e). The plate prepared by dentist (b and d) and student (c and e).

2. 窩洞形成における枠線上とはみ出し

タービン群 (Fig. 3-a) とレーザー群 (Fig. 3-b) での、枠線上の切削とはみ出しの結果を示す。歯科医師によるタービン群では、枠線上が 8 名中 4 名で、枠よりはみ出したケースが 8 名中 0 名であった。学生のタービン群では、枠線上が 8 名中 6 名、枠よりはみ出したケースが 8 名中 1 名いた。一方、歯科医師のレーザー群では枠線上が 8 名中 6 名、枠よりはみ出したのは 8 名中 0 名であった。学生のレーザー群では枠線上は 8 名中 7 名、枠からはみ出したのは 8 名中 0 名であった。

3. 着色の取り残し

タービン群とレーザー群の切削による着色の取り残し

の状態を、Fig. 4 に示す。タービン群の歯科医師による取り残しが認められたのは 8 名中 1 名であったのに対して、学生では 8 名中 5 名であった。一方、レーザー群の歯科医師の取り残しがあったのは 8 名中 7 名、学生では取り残しがあったのは 8 名中 8 名全員であった。

4. 窩洞形成にかかる時間

窩洞形成に要した平均時間を示す (Fig. 5)。タービン群では、歯科医師が要した時間は学生よりも有意に短かったのに対して、レーザー群では、歯科医師も学生も有意な差は認めなかった。全体としてみると、学生も歯科医師もタービン群と比較して、レーザー群では有意に時間を要した。

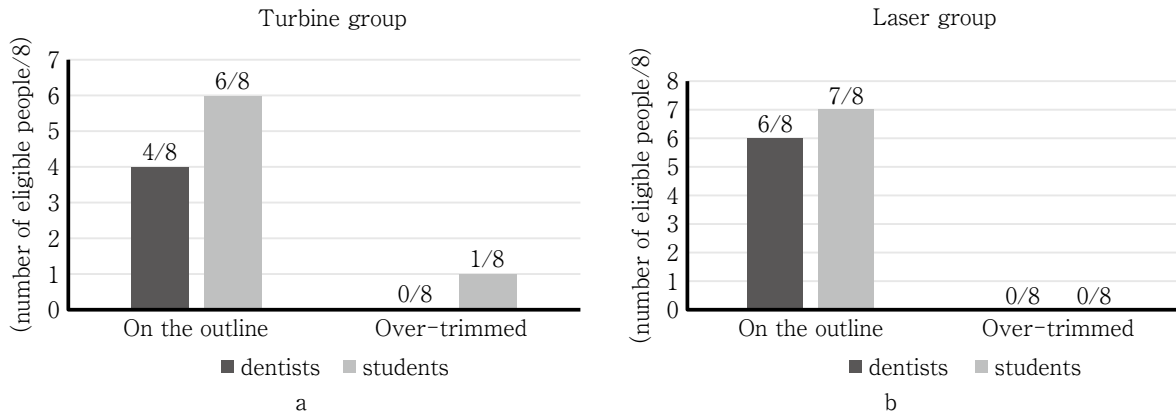


Fig. 3 The results of cutting overextension between the air turbine group (a) and Er:YAG laser group (b)

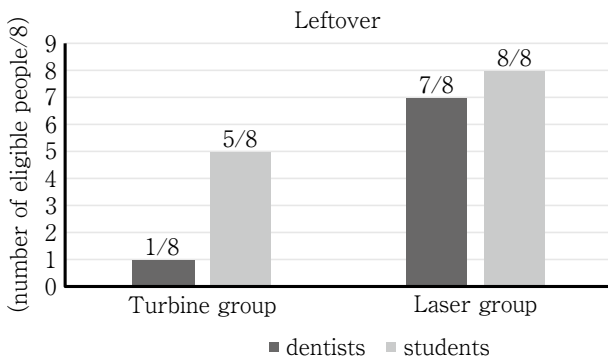


Fig. 4 The remaining stained areas after preparation with an air turbine and an Er:YAG laser

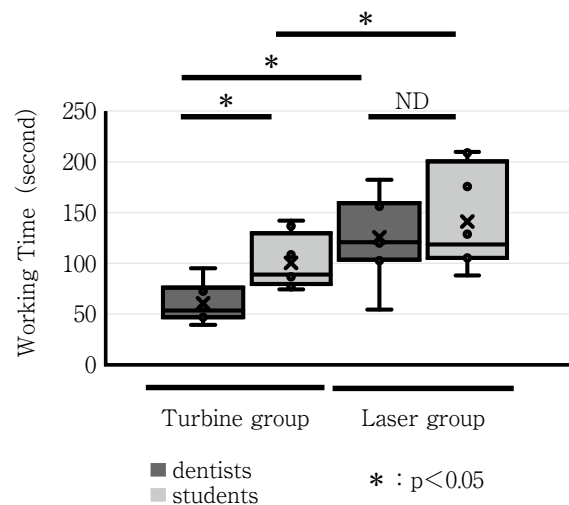


Fig. 5 The time required for cavity preparation with an air turbine and an Er:YAG laser

考 察

2000年、2016年にFDIより提唱されたMIおよびMIDによれば⁹⁾、う蝕の治療において、健全歯質の削除量は極力少なくする必要が求められている。さらに、日本歯科保存学会編の「う蝕治療ガイドライン」によると、「切削の対象となるのはどの程度に進行したう蝕か」というクリニカルクエストンに対して、エックス線で象牙質1/3を越える病変とある¹²⁾。このう蝕の治療には高速と低速の回転切削器具を用いて硬組織を切削するという過程は必須であり、MIDを実行するためには必要最低限の歯質の切削技術が求められる。そのために、う蝕治療のガイドラインではう蝕検知液の使用が推奨され¹²⁾、染色された部位を除去することとしている。しかしながら、このガイドラインに沿ったう蝕治療を実践するにしても、回転切削器具を使用するときには、どうしても術者の技術的な差が出てしまうことが報告されている^{13,14)}。一方、Er:YAGレーザーはレーザー光線が歯質

に照射されると、そのエネルギーが含有される水分に吸収され水蒸気爆発によって歯質が蒸散されることによって、歯質が削除されていく^{8,15,16)}。レーザー光線を歯質表面に照射する際には原則、チップの先端は歯質に非接触で使用される。この動作から発生する歯質の蒸散量は、レーザー照射のエネルギーや照射パルス数に依存して、術者の経験値にあまり左右されないことが報告されている¹⁷⁾。

本研究はこれらの背景を基に、高速回転切削器具とEr:YAGレーザー、染色されたう蝕歯質をシミュレートした切削トレーニング板を用いて、両者の切削状態、必要な時間そして正確性を評価し、さらにそこに術者の経験値を加味して比較検討した。これらの結果は、今後のう蝕治療においてMIDを実践するうえで、Er:YAGレーザーの有効性を示すことができると考える。

切削表面の観察においてタービン群とレーザー群を比較すると、類似した傾向がみられた。枠線まで切削したものは、歯科医師も学生もレーザー群のほうが多かった。しかし、タービン群では回転切削バーを使用するため歯科医師と学生を比較すると、歯科医師が4名(50%)で学生が6名(75%)と、その正確性には大きな差が生じた。一方、レーザー群では枠線状まで切削した歯科医師が6名(75%)、学生が7名(87.5%)と両者に大きな差がないものの、タービン群と比較すると歯科医師、学生とも多くの人数が枠線まで切削していた。これはレーザーの特性である非接触型のチップを用いていることにより、手指への切削時の振動や圧の感覚が伝わらないために枠線状まで切削したのではないかと考えられる。

一方、タービン群とレーザー群で枠線をはみ出して切削している結果をみると、両群ともに歯科医師は0名であったのに対して、学生はタービン群のみ1名(12.5%)存在したが、レーザー群では歯科医師同様0名であった。

これはレーザー光が20パルスで照射されることから、枠線上に照射がはみ出したことを視覚的に確認でき、過剰に照射することなく軌道修正ができたことを示している。さらにこれらの結果で歯科医師と学生に大きな差が生じなかったことは、Er:YAGレーザーの照射操作が経験によってあまり影響されないことを示している。

切削の取り残しにおけるタービン群とレーザー群の結果をみると、タービン群のほうが取り残しの量が少ないことがわかる。これはレーザー切削量が30 mJ時、1パルス当たりの切削容積が深さ約20 μm、幅約300 μmと、タービンに比較して小さいことが影響していると考え¹¹⁾。さらに歯科医師と学生を比較すると、タービン群では歯科医師が1名(12.5%)なのに対して学生のほうが5名(62.5%)と取り残しに大きく差が出たのに対して、レーザー群では歯科医師7名(87.5%)、学生8名(100%)とともに多くなるが、歯科医師と学生の差がほとんどみられなかった。これは、レーザー切削がパルス照射によって行われていることが原因と考える。さらにこれはEr:YAGレーザーによる切削の特徴であり、その切削効率は設定した照射条件によって決まり、術者の経験にはあまり影響されないことが確認できた。

タービン群とレーザー群の切削効率に対する差は、作業時間にも現れている。タービン群に比較してレーザー群では、歯科医師と学生ともに有意に時間が多くかかっていることが示された。これは取り残しの結果と同様に、タービンに比較してEr:YAGレーザーの切削効率が低い^{5,18,19)}ことが原因と考える。しかし興味深いことに、レーザー群での作業時間について、歯科医師に比較して時間を多く要している学生がいるが、その時間には有意な差がみられなかったことである。これまでのEr:

YAGレーザーの特徴、すなわち非接触型のレーザー光照射による切削効率は、術者の経験よりも、設定した照射条件によって決定される要素が大きいことを示している。

本実験では、Er:YAGレーザーとタービンによる切削の状態を比較検討し、レーザーによる切削の経験がある歯科医師と学生の間あまり差がなく作業ができることが示された。しかしながら、これはあくまでも切削練習版を用いた実験であり、実際の臨床に直結するものではない。さらに、医療安全から考えてもEr:YAGレーザーの使用には十分な知識と技術の獲得が絶対に必要である。また、今後は照射条件や対象物を変えて、多方面から分析する研究が必要と考える。本研究結果が今後、歯科医師や学生に対するレーザー歯学教育の一助になることを期待している。

結 論

レーザーによる窩洞形成は、従来の回転切削器具に比べ術者経験の影響を受けにくく、一定した形成結果が得られる可能性が示唆された。

これらの結果から、レーザーによる窩洞形成は、従来のドリリングと比較して、一定の深さで切削することができる点で経験年数や個人の能力に依存しないことが明らかとなった。

本論文に関連する開示すべき利益相反関係にある企業等はない。

文 献

- 1) 山田嘉重, 木村裕一, 佐藤穂子. 試作う蝕除去剤併用によるEr:YAGレーザーのう蝕除去効果促進に関する検討. 日レ歯誌 2023; 33: 4-10.
- 2) Krause F, Braun A, Lotz G, Kneist S, Jepsen S, Eberhard J. Evaluation of selective caries removal in deciduous teeth by a fluorescence feedback-controlled Er: YAG laser in vivo. Clin Oral Investig 2008; 12: 209-215.
- 3) 高森一乗, 大橋英夫, 渡部 茂, 白川哲夫. 小児・発達障がい児歯科支援におけるレーザーのエビデンスとその効果. 日レ歯誌 2010; 21: 83-88.
- 4) Tao S, Li L, Yuan H, Tao S, Cheng Y, He L, Li J. Erbium laser technology vs traditional drilling for caries removal: A systematic review with meta-analysis. J Evid Based Dent Pract 2017; 17: 324-334.
- 5) Valenti C, Pagano S, Bozza S, Ciurnella E, Lomurno G, Capobianco B, Coniglio M, Cianetti S, Marinucci L. Use of the Er: YAG laser in conservative dentistry: Evalua-

- tion of the microbial population in carious lesions. *Materials (Basel)* 2021; 14: 2387.
- 6) Sae-Ferrández O, Pecci-Lloret MP, García-Ríos P, Pérez-Guzmán N. Efficacy of Er: YAG, Er, Cr: YSGG, and Nd: YAG lasers for caries removal: A systematic review. *J Dent* 2026; 164: 106264.
 - 7) 相原守夫. 診療ガイドラインのためのGRADEシステム, 3版. 中外医学社:東京;2018.
 - 8) 日本レーザー歯学会. レーザー歯学の手引き, 1版. デンタルダイヤモンド社:東京;2015.
 - 9) 田上順次, 奈良陽一郎, 山本一世, 斎藤隆史. 保存修復学 21, 6版. 永末書店:京都;2022. 2, 44, 104-109.
 - 10) 千田 彰, 宮崎真至, 林 美加子, 向井義晴, 斎藤隆史. 保存修復学, 7版. 医歯薬出版:東京;2025. 106-107.
 - 11) 山崎涼子, 古川敏子, 松本勝利, 横瀬敏志. 象牙質表面に及ぼすEr:YAG laser照射の影響について, *日レ歯誌* 2020; 30: 43-48.
 - 12) 日本歯科保存学会. う蝕治療ガイドライン, 1版. 永末書店:京都;2009.
 - 13) Strand GV, Tveit AB, Espelid I. Variations among operators in the performance of tunnel preparations in vitro. *Scand J Dent Res* 1994; 102: 151-155.
 - 14) Romalee W, Suksudaj N, Doungkom P, Wang DH, Hsu ML, Panpisut P. Utilization of 3D evaluation for assessing selective caries removal practice in pre-clinical dental students: a pilot study. *BMC Med Educ* 2024; 24: 289.
 - 15) Meister J, Franzen R, Forner K, Grebe H, Stanzel S, Lampert F, Apel C. Influence of the water content in dental enamel and dentin on ablation with erbium YAG and erbium YSGG lasers. *J Biomed Opt* 2006; 11: 34030.
 - 16) Kuščer L, Diaci J. Measurements of erbium laser-ablation efficiency in hard dental tissues under different water cooling conditions. *J Biomed Opt* 2013; 18: 108002.
 - 17) Wang C, Wang Q, Qian Q, Di B. The development of laser drilling: A review. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng* 2020; 782: 022067.
 - 18) Aoki A, Ishikawa I, Yamada T, Otsuki M, Watanabe H, Tagami J, Ando Y, Yamamoto H. Comparison between Er: YAG laser and conventional technique for root caries treatment in vitro. *J Dent Res* 1998; 77: 1404-1414.
 - 19) Yamada Y, Hossain M, Nakamura Y, Suzuki N, Matsumoto K. Comparison between the removal effect of mechanical, Nd: YAG, and Er: YAG laser systems in carious dentin. *J Clin Laser Med Surg* 2001; 19: 239-243.

A Comparative Study on the Use of Er: YAG Laser and Air Turbine in Cavity Preparation Training

KATO Yuka, ICHIMURA Yoh, KADOKURA Hiroshi, WADA Kei,
TSUCHIYA Takako, ISO Eisuke, ABE Toshihito, ARAI Ken,
TATSUTA Masahide, NISHIDA Iori, ISHIYAMA Genki and YOKOSE Satoshi

Division of Endodontics and Operative Dentistry, Department of Restorative and Biomaterials Sciences,
Meikai University School of Dentistry

Abstract

Purpose: To clarify the differences between the use of an Er: YAG laser or rotary cutting instruments for cavity preparation, we evaluated the work efficiency of the preparations made by dental students and experienced dentists and compared the results obtained using each instrument.

Method: Rectangular preparation plates (5×10 mm; preparation plates, Nissin, Kyoto, Japan) were used. Cavity preparation was performed using either an Er: YAG laser (Erwin AdvErL EVO with C400F tip; Morita, Kyoto, Japan) in the laser group or an air turbine handpiece (Twin-power turbine 4H, Morita) equipped with a pear-shaped diamond point (Bur No. 462R, Shofu, Kyoto, Japan) in the turbine group. The participants were eight second-year students from Meikai University, School of Dentistry and eight dentists affiliated with the Division of Endodontics and Operative Dentistry, Department of Restorative and Biomaterials Sciences at Meikai University, each with more than five years of clinical experience. Cavity preparation time was measured using a stopwatch. After cavity preparation, the surface structure of each plate was observed under a dental operating microscope.

Results: The surfaces of plates prepared by the laser group had shallower cavities, exhibited less variability in both cavity depth and outline deviation, and had a larger amount of parts left behind than those prepared by the turbine group. Structural observations indicated greater differences in cavity preparations between students and dentists in the turbine group than in the laser group. Overall, the preparation time was longer in the laser group than in the turbine group; however, the preparation time for students was significantly longer than that for dentists in the turbine group, but not in the laser group. The results suggested that the characteristics of both the air turbine and Er: YAG laser while performing cavity preparation could be confirmed.

Conclusion: Cavity preparation using an Er: YAG laser appears to be less influenced by operator experience and may provide more consistent results than conventional rotary cutting instruments.

Key words: Er: YAG laser, air turbine, cavity preparation

新規自己接着性コンポジットレジンの 矯正用アタッチメントとしての機能評価

井上 剛 陳 雪霏 FAN Lin 島田 康史

東京科学大学大学院医歯学総合研究科 口腔機能再構築学講座 う蝕制御学分野

抄録

目的：近年、アライナーを用いた歯科矯正治療は、従来のマルチブラケット装置と比較して審美性や清掃性に優れることから普及している。しかし、アライナー矯正の成功率は約50%にとどまり、その改善のため、治療効率向上の観点から歯面へのアタッチメント付与が行われている。従来の接着システムは、接着材塗布とレジン築造の2工程を要し、着色や除去時の残留物、エナメル質損傷が問題となる。そこで本研究では、接着材を用いず直接エナメル質に接着可能な新規自己接着性コンポジットレジン「SAアタッチメント for アライナー」の性能を評価し、従来型接着システムおよびアタッチメント専用材料と比較することを目的とした。

材料と方法：健全な抜去ヒト大臼歯30本を用い、頬側および舌側エナメル質面を対象に4群（SAA：SAアタッチメント for アライナー、英語名はSA-100R、ESU：Clearfil Universal Bond Quick2+Clearfil Majesty ES Flow Universal、TNF：Adhese Universal+Tetric N-Flow (A3)、OAC：Ortholy Universal Bond Flow SE primer+Ortholy Aligner Connect）を設定した。各群15試料に対し、円柱状レジン（直径0.79 mm、高さ0.5 mm）を接着し、37°C蒸留水中24時間保管群とサーマルサイクル10,000回群に分けた。微小剪断接着試験はクロスヘッドスピード1 mm/minで実施し、WilcoxonおよびBonferroni検定により統計解析を行った。さらに、破断面をSEMで観察し、破壊形態とエナメル質表面の残留物を評価した。

結果：24時間保管後の接着強さはSAAで11.26 MPa、ESUで21.28 MPa、TNFで15.27 MPa、OACで14.44 MPaであり、群間に有意差は認められなかった。サーマルサイクル後ではSAAが13.58 MPa、ESUが19.34 MPa、TNFが21.41 MPa、OACが9.33 MPaで、OACのみ有意に低下した。破断面観察では、全群で界面破壊が主体であったが、ESUおよびTNFではエナメル質表面に接着材残留が多く認められた。一方、SAAは残留物が少なく、除去後の処理性に優れていた。

結論：SAAは、アタッチメントとして求められる初期接着力と耐久性を有し、従来材料と同等以上の性能を示した。さらに、除去時の残留物が少なく、エナメル質損傷リスクを低減できる点が臨床的利点大きい。

キーワード：自己接着性コンポジットレジン、アライナー矯正、アタッチメント

責任著者連絡先：井上 剛

〒113-8549 東京都文京区湯島1-5-45 東京科学大学大学院医歯学総合研究科口腔機能再構築学講座う蝕制御学分野

TEL：03-5803-5483、FAX：03-5803-0195、E-mail：inoue.ope@tmd.ac.jp

受付：2026年1月7日/受理：2026年2月27日

DOI：10.11471/shikahozon.69.127

緒言

近年、歯科矯正治療においてアライナーを用いた治療法が増加している。これは、従来のマルチブラケット装置と比較して審美性に優れ、取り外しが可能で清掃性が良いこと、さらにシステムとして確立され効率的な治療が可能なことなどが利点として挙げられるためである。日本における矯正歯科治療全体のうち約14~21%を成人矯正が占め、その約20%がアライナー矯正であると報告されている¹⁾。一方で、アライナー矯正の成功率は約50%にとどまるともされ²⁾、適応症例が限られていることが依然として課題となっている。

アライナー矯正の治療効率を高める手段として、歯面にコンポジットレジン製アタッチメントを付与する方法が広く普及している。アタッチメントの付与により、歯冠形態に依存しない力の付与が可能となり、歯の移動方向や回転力のコントロールが改善される²⁾。しかしながら、アタッチメントの付与には一般的に接着システムが必要であり、歯面への接着材塗布とレジン築造という2工程を要する。この結果、矯正治療中にアタッチメント周囲へ着色が生じやすく³⁾、治療終了後にアタッチメントを除去した際には接着材が広範囲に残存し、その後のステイン付着や舌感不良の原因となることが問題視されている。さらに、アタッチメント除去時にエナメル質を損傷するリスクも指摘されているため⁴⁾、十分な機械的強度を確保し、かつ過剰な残留を生じない、バランスの取れた接着性材料の開発が求められている。

こうした背景から、新規自己接着性コンポジットレジンであるSAアタッチメントforアライナー(クラレノリタケデンタル)が注目されている。本材料は、接着材を用いることなく直接エナメル質に接着できる点に特徴があり、接着性モノマーとしてハイドロキシアパタイトへの化学的結合性を付与することを目的として、既存のリン酸エステル系モノマーである10-MDP^{5,6)}、また、優れたエナメル質への馴染みと重合硬化性の両立が可能な親水性アミド系モノマーを含有することで、適度な接着強さを発揮することが期待されている⁷⁾。この特性は、アライナー矯正用アタッチメント材料として理想的であり、簡便な臨床操作と良好な審美性の両立に寄与する可能性がある。

矯正治療に用いられるアタッチメントには、治療期間中(1.5~2年程度)にわたり十分な保持力が求められる一方、リファインメント時(矯正治療中の調整時)には容易に除去できることが望ましい。一般に、矯正装置に必要な接着強さは8~10MPa程度とされるが⁸⁾、除去時にエナメル質の損傷を避けるためには、破壊形態が界面

破壊主体であることが望ましいと報告されている。すなわち、接着強さと除去容易性はトレードオフの関係にあり、その最適化が臨床的課題となっている。

これまで、一般的な充填用途のエッチング・ボンディングシステムとコンポジットレジンとの組合せ、あるいはアタッチメント専用材料を用いた接着が行われてきたが^{9,10)}、上述した要件を必ずしも満たしているとはいえない。特に、除去後にエナメル質表面へ接着材が残存しやすい点は大きな欠点である。また、熱的・機械的ストレスに対する耐久性が不足する場合、治療途中でアタッチメントが脱離し、治療効率を低下させる可能性がある。

以上を踏まえ、本研究では新規に開発された自己接着性コンポジットレジンSAアタッチメントforアライナーと従来型接着システム(ボンディング材+コンポジットレジン)およびアタッチメント専用材料とを比較し、①微小剪断接着強さ、②サーマルサイクル後の耐久性、③破壊形態、および④除去後のエナメル質表面性状(SEM観察)を評価することを目的とした。本研究成果は、アライナー矯正治療における接着材料選択に新たな知見を提供し、より低侵襲で高効率な矯正治療の実現に寄与すると考えられる。

材料および方法

本研究には、健全な抜去ヒト大白歯30本を使用した(倫理審査承認番号D2013-022:東京科学大学歯学部倫理審査委員会)。各歯牙の頬側および舌(口蓋)側エナメル質面を試験対象とし、試料数は各群15個(計60個)とした。

1. 微小剪断接着試験

歯根部分を除去したヒト大白歯歯冠部エナメル質を、歯面清掃用ブラシを用いて、毎分1,000回転、注水下で10秒間清掃した。その後、歯軸方向に半切し、それぞれの面を4群に分け、新規自己接着性コンポジットレジン(SAアタッチメントforアライナー、英語名はSA-100R、クラレノリタケデンタル、以後、SAA)、Clearfil Universal Bond Quick2+Clearfil Majesty ES Flow Universal(クラレノリタケデンタル、以後、ESU)、Adhese Universal+Tetric N-Flow(A3, Ivoclar Vivadent、リヒテンシュタイン、以後、TNF)とOrtholy Universal Bond Flow SE primer+Ortholy Aligner Connect(GC Ortholy、以後、OAC)を用いて接着操作を行った(Table 1)。SAAを除き、37%リン酸エッチング処理を10秒間行った後、歯面処理は各材料の添付文書に記載された手順に従って行い、内径0.79mm、高さ0.5mmのタイゴンチューブを歯面に設置し、それぞれの材料を用いて填

Table 1 Materials used in this study, including material type, manufacturer, main components, and bonding protocol

SA-100R	Kuraray Noritake Dental	Silanated silica filler, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Ytterbium trifluoride, Urethane acrylate, Hydrophilic aliphatic methacrylate, Silanated colloidal silica, MDP, Hydrophilic amide monomer, Hydrophobic aliphatic dimethacrylate, 2-dimethylaminoethyl methacrylate, dl-Camphorquinone, Accelerator, Initiators, Pigments	apply and light-cured 10 sec
Clearfil Universal Bond Quick2	Kuraray Noritake Dental	MDP, Bis-GMA, HEMA, Hydrophilic amide monomers, MUMA, Colloidal silica, Sodium fluoride, Ethanol, Water, Camphorquinone	apply, air-blow 5 sec and light-cured 10 sec
Clearfil Majesty ES Flow Universal		TEGDMA, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Barium glass filler, Silica filler, dl-Camphorquinone, Photo initiator	
Adhese Universal	Ivoclar Vivadent	Bis-GMA, HEMA, MDP, MCAP, Decandiol dimethacrylate, Dimethacrylate, Ethanol, Water, Initiator, Stabilizers, Silicon dioxide (2.5)	apply 20 sec, air-blow and light-cured 10 sec
Tetric N-Flow		UDMA, bis-GMA, TEGDMA, Photo initiator	
Ortholy Universal Bond Flow SE primer	GC Ortholy	Aceton, Water, 4-Methacryloxyethyltrimellitic acid, Phosphate ester monomer, Methacryloxydecyl dihydrogen. Thiophosphate, Methacrylic acid ester	apply 10 sec, air-blow and light-cured 10 sec
Ortholy Aligner Connect		Barium glass, Bis-MEPP, Photo initiator	

入・光硬化（ペンキュア 2000，モリタ）させ、直径 0.79 mm、高さ 0.5 mm の円柱状レジンに接着させた。得られたそれぞれ 30 個の試料は半分に分け、37°C 蒸留水中に 24 時間保管した群と、サーマルサイクル 10,000 回群とした。それぞれ保管後、クロスヘッドスピード 1 mm/min にて微小剪断接着試験を行った (Fig. 1)。得られた値は Wilcoxon および Bonferroni 事後検定を行って有意水準 5% にて統計処理した。

2. 破断面の観察

接着試験後の破断面を光走査電子顕微鏡 (SEM) により観察し、破断形態を以下に分類した。

- ・ Pretest Failure
- ・ コンポジットレジン内での凝集破壊
- ・ エナメル質内での凝集破壊
- ・ エナメル質とコンポジットレジンの混合破壊

結 果

微小剪断試験の結果を Table 2 に示す。24 時間水中保管後とサーマルサイクル後の結果はそれぞれ SAA 群で 11.26, 13.58 MPa, ESU 群で 21.28, 19.34 MPa, TNF 群で 15.27, 21.41 MPa, OAC 群で 14.44, 9.33 MPa であ

り、24 時間水中保管後の結果ではどの群間にも統計学的有意差はなかった。サーマルサイクルの結果では、OAC 群は ESU 群および TNF 群より低い結果を示したが、SAA 群とは有意差がなかった。またそれぞれの群において 24 時間水中保管群とサーマルサイクル群で比較すると、OAC 群のみサーマルサイクル後に接着強さが有意に低下した。破断面観察では 24 時間水中保管で SAA 群と TNF 群に試験前の脱落がみられたが、他の群ではみられなかった。サーマルサイクル後では、OAC 群以外は混合破壊が増える傾向にあった (Fig. 2)。SEM 観察では SAA 群以外の群は、破断面周囲や内部のエナメル質表面に接着材の残存がみられた (Fig. 3)。

考 察

本研究では、自己接着性コンポジットレジンである SAA と、従来型の接着材+コンポジットレジンシステム、さらにはアタッチメント専用材料との比較を行い、エナメル質に対する接着性能および除去後の処理性を評価した。結果として、1 日保管条件における微小剪断接着強さでは、すべての材料間で統計学的に有意な差は認められなかった。一方でサーマルサイクル後において

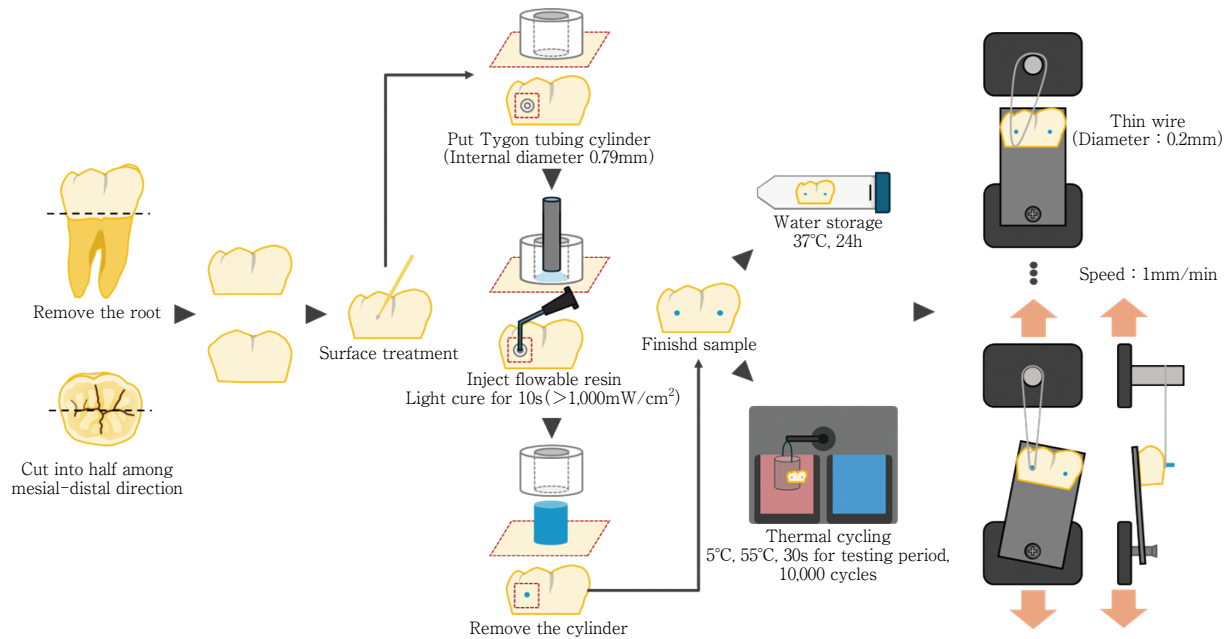


Fig. 1 Schematic illustration of the shear bond strength test procedure

Table 2 Mean shear bond strength values

	SAA		ESU		TNF		OAC	
	24h	TC10,000	24h	TC10,000	24h	TC10,000	24h	TC10,000
Mean (MPa)	11.26	13.58	21.28	19.34	15.27	21.41	14.44	9.33
SD	8.88	7.67	21.97	9.16	14.97	9.48	4.58	5.21

は、OAC群のみが有意な強度低下を示した。このことから、自己接着性材料であるSAAは、アタッチメントとして求められる初期接着力を十分に有し、さらに耐久性においても既存材料と同等以上の性能を示すことがわかった。

矯正治療におけるアタッチメントは、およそ1.5~2年にわたって歯面に維持されることが求められるが^{11,12)}、使用する歯種や加わる矯正力によって必要な保持力は異なる。たとえば、上顎前歯には75~85g、下顎前歯には55~65g、臼歯部には250~320gの範囲で力が加わるとされている¹³⁾。一般的に、マルチブラケット矯正用接着材料に必要な接着強さは8~10MPa程度とされるが、本研究で得られた約10~20MPaという値は、临床上十分な強度を確保できていると判断できる。

破断面形態に目を向けると、すべての材料群で界面破壊が主体であったが、各群により残存物質質量に差がみられた。特に、接着材を併用するESU群やTNF群では、エナメル質表面およびレジン内での凝集破壊が混在し、比較的多くの残存物が認められた。この残存物質は、アタッチメント除去後の研磨処置を長引かせる要因となるだけでなく^{14,15)}、着色など審美性の低下の原因にもな

る¹⁶⁾。また、表面粗さによる舌感不良を引き起こし、患者の治療満足度を損なう可能性がある¹⁷⁾。さらに、本研究では破壊試験直後の破断面形態を評価対象としたが、臨床的観点からはアタッチメント除去後に通常行われる研磨処置後のエナメル質表面の状態を評価することも重要である。特に、研磨操作後に残存するレジンの有無やその分布、ならびにエナメル質表面性状の変化（表面粗さや微小欠損の発生）は、審美性や清掃性、さらには再石灰化能にも影響を及ぼす可能性がある。本研究では研磨後の表面評価までは検討していないため、今後は研磨処置後の残留物量の定量的評価およびエナメル質表面性状の解析を行い、より臨床的妥当性の高い検討を進める必要があると考えられる。

一方、SAAは自己接着性であるにもかかわらず、破壊後の残留物が少ない傾向がSEM観察から確認された。本材料はリン酸エッチングやボンディング操作を必要としない自己接着性コンポジットレジンであり、親水性アミド系モノマーやリン酸エステル系接着性モノマー(MDP)を含有することで、歯質への濡れ性や重合硬化性、ならびにヒドロキシアパタイトとの化学的相互作用を付与する設計が採用されている¹⁸⁾。しかしながら、

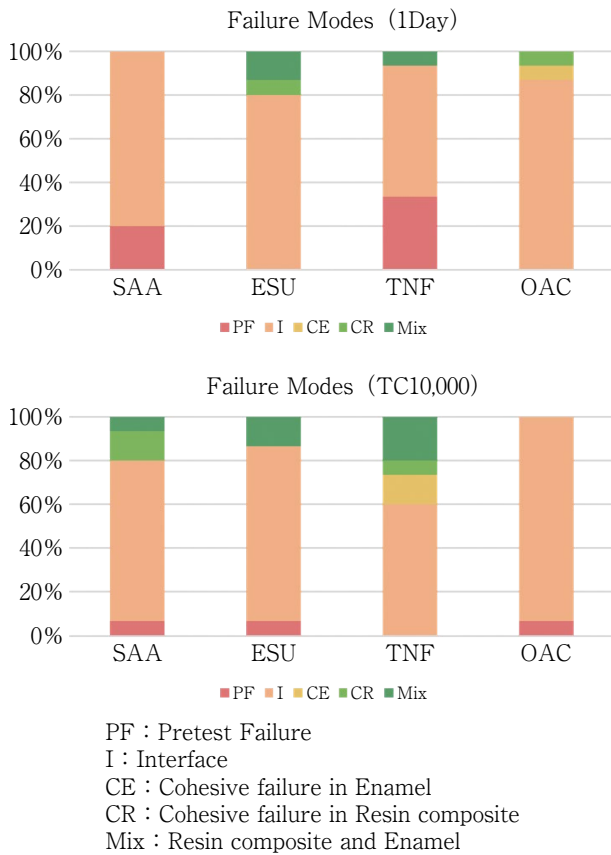


Fig. 2 Comparison of failure modes among the tested materials

従来のエッチング・ボンディングシステムと比較すると、自己接着性材料は接着強さとしては臨床的に許容範囲を満たす一方で¹⁹⁾、深い樹脂浸透や強固な機械的嵌合に依存した接着様式を形成しにくい可能性があり、その結果、破壊時には界面近傍での破壊が生じやすく、歯面側へのレジン残留が少なくなった可能性が示唆される。このような性質は、アタッチメント除去時におけるエナメル質への侵襲を最小限に抑えることにつながると考えられ、矯正治療終了後、特に審美性が重視される前歯部において、エナメル質損傷や着色のリスクを低減するうえで臨床的に重要な利点である^{14,20,21)}。ただし、本研究では破壊様式の定量的評価や詳細な接着界面解析を行っていないため、残留物の発生機序については今後さらなる検討が必要である。

アライナー矯正では、治療途中でアタッチメントを再調整するために除去・再付与を繰り返すことがあり、その際の処理性が治療効率に大きく関わる^{22,23)}。したがって、アタッチメントに使用される材料には、強度と除去容易性という相反する要求のバランスが求められる。本研究の結果より、SAAはこのバランスに優れた特性を有しており、アライナー矯正における理想的なアタッチメント材料候補といえる。また、本材料はリン酸エッチングやボンディング操作を必要としないため、臨床操作が簡便であり、術者依存性が低いことも利点として挙げられる。特に、矯正治療の現場では一度に多数のアタッチメント付与を行うことが多いため、操作工程の簡略化

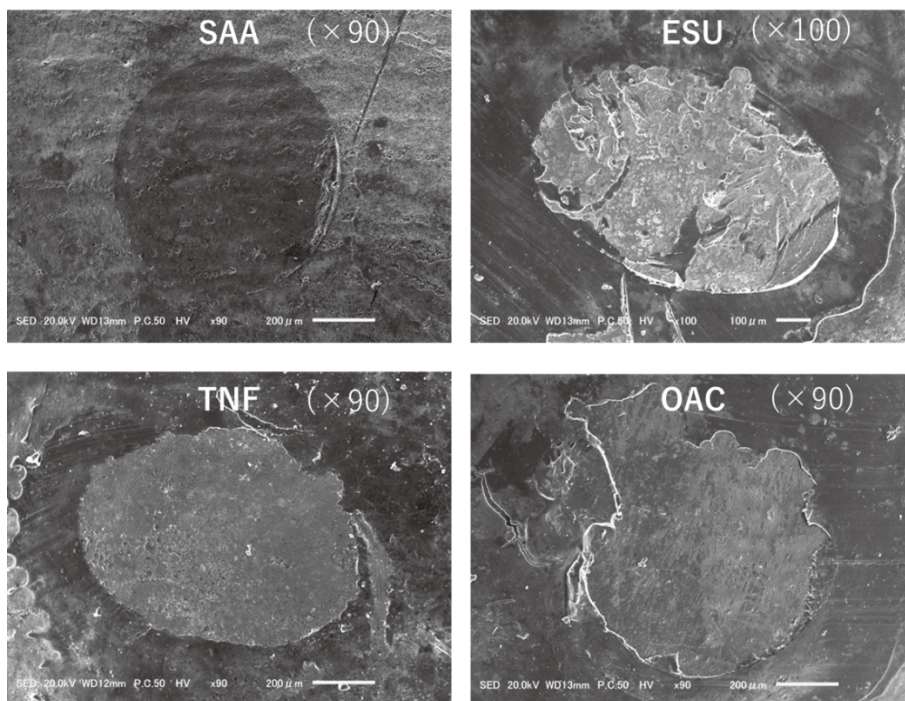


Fig. 3 SEM observation on enamel surfaces after shear bond strength testing

およびチェアサイドでの処置時間短縮は、治療効率の向上に寄与する。

ただし、本研究は抜去歯を用いた *in vitro* 研究であり、口腔内の複合的な環境変化を完全に再現できていないことは限界点として挙げられる。特に、咬合力やブラッシングによる摩耗、pH 変動、唾液タンパク質の影響などは接着耐久性に影響しうるため、さらなる臨床での検討が必要である。また、アタッチメント形態や負荷方向によって接着応力分布が変化することも考慮する必要がある。今後、より臨床に即した条件下での長期的な評価が求められる。

総合的に、本研究で検証した SAA は、アライナー矯正におけるアタッチメント材料として十分な接着性能と臨床的利便性を有しており、従来材料の課題を解決する有望な選択肢であることが示唆された。特に、適度な接着強さと除去容易性、ならびに歯質保護の観点から、患者の治療満足度向上に大きく貢献するものと考えられる。

結 論

新規に開発された自己接着性コンポジットレジジン SAA は、従来型接着システムおよびアタッチメント専用材料と比較し、安定した接着強さを示した。また、歯質表面に対する影響が他の製品より少ないことが示唆された。

本論文に関して、開示すべき利益相反関係はない。

文 献

- 1) 日本矯正歯科学会. アライナー型矯正装置による治療指針. http://www.jos.gr.jp/news/2014/0709_10.html (2024年10月25日アクセス)
- 2) Filippon I, Tanner C, von Jackowski JA, Schulz G, Töpper T, Müller B. Determining aligner-induced tooth movements in three dimensions using clinical data of two patients. *Oral* 2024; 4: 487-504.
- 3) Öreki B, Irgn C, Malko S, Öztürk B. Effects of staining solutions on the discoloration of orthodontic adhesives: An in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 741-746.
- 4) Florczak-Matyjek A, Nikodem A, Kensy J, Matys J, Grzech-Leśniak K. The efficacy of Erbium-ion, Diode, and CO₂ lasers in debonding attachments used during overlay orthodontic treatment and the risk of hard tooth tissue damage compared to traditional methods—an in vitro study. *Photonics* 2025; 12: 621.
- 5) Yoshihara K, Yoshida Y, Hayakawa S, Nagaoka N, Okihara T, Matsumoto T, Maruo Y, Nishigawa G, Yoshida T, Van Meerbeek B. Nanolayering of phosphoric acid ester monomer on enamel and dentin. *Acta Biomater* 2011; 7: 3187-3195.
- 6) Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Torii Y, Ogawa T, Osaka A, Van Meerbeek B. Self-assembled nano-layering at the adhesive interface. *J Dent Res* 2012; 91: 376-381.
- 7) Hayakawa T, Kikutake K, Nemoto K. Effectiveness of the addition of water-soluble photoinitiator into the self-etching primers on the adhesion of a resin composite to polished dentin and enamel. *Dent Mater J* 1999; 18: 324-333.
- 8) Hellak A, Ebeling J, Schauseil M, Stein S, Roggendorf M, Korbmacher-Steiner H. Shear bond strength of three orthodontic bonding systems on enamel and restorative materials. *Biomed Res Int* 2016; 2016: 6307107.
- 9) Erbas S, Atik E. In vitro comparison of different composite resins for aligner attachment production. *J Orofac Orthop* 2025.
- 10) Yildiz H, Dedeoglu M. Reliability of different composite materials in aligner treatments: a comprehensive in vitro study. *Prog Orthod* 2025; 26: 46.
- 11) Laganà G, Malara A, Lione R, Bollero P, Cozza P. Effects of Class II elastics on lower incisors during treatment with clear aligners vs. fixed appliance: a randomized clinical trial. *Front Dent Med* 2025; 6: 1613037.
- 12) Bucur SM, Moga RA, Olteanu CD, Bud ES, Vlăsa A. A retrospective study regarding the efficacy of Nuvola[®] OP clear aligners in maxillary arch expansion in adult patients. *Diagnostics* 2025; 15: 738.
- 13) 岡藤範正. 歯の移動に伴う歯周組織変化. *日顎咬合誌* 2013 ; 3 : 263-268.
- 14) Ryf S, Flury S, Palaniappan S, Lussi A, Van Meerbeek B, Zimmerli B. Enamel loss and adhesive remnants following bracket removal and various clean-up procedures in vitro. *Eur J Orthod* 2012; 34: 25-32.
- 15) Degrazia FW, Genari B, Ferrazzo VA, Dos Santos-Pinto A, Grehs RA. Enamel roughness changes after removal of orthodontic adhesive. *Dent J (Basel)* 2018; 6: 39.
- 16) Mane SP, Gulve ND, Patani SN. Effectiveness of clean-up procedures on stain susceptibility of different orthodontic adhesives. *J Indian Orthod Soc* 2014; 48: 251-255.
- 17) Doğu Kaya B, Yılmaz Atalı P, Özmen S, Öztürk S, Tarçın B. Effect of an Effervescent multivitamin on color and surface roughness of micro-hybrid dental resin composites. *Materials (Basel)* 2024; 17: 1040.
- 18) Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater* 2011; 27: 1-16.
- 19) Sharma S, Tandon P, Nagar A, Singh GP, Singh MS, Pandey V. A comparison of shear bond strength of ortho-

- dontic brackets bonded with four different conditioning methods. *J Orofac Orthop* 2014; 75: 145-153.
- 20) Janiszewska-Olszowska J, Szatkiewicz T, Tomkowski R, Tandecka K, Grocholewicz K. Effect of orthodontic debonding and adhesive removal on enamel—current knowledge and future perspectives: a systematic review. *Med Sci Monit* 2014; 20: 1991-2001.
- 21) Chami VO, Gebert F, Assaf DDC, Centeno ACT, Ferrazzo VA, Durand LB, Marquezan M. Color stability of resin composites for orthodontic attachments: an in vitro study. *Dental Press J Orthod* 2022; 27 (1): e2220432.
- 22) Demir GB. Understanding the effectiveness of attachments in clear aligner therapy: navigating design, placement, material selection and biomechanics. *Australas Orthod J* 2024; 40: 63-74.
- 23) Yangın A, Camcı H, Soybelli M. Clear aligner attachments: A comprehensive review. *Turk J Orthod* 2025; 38: 177-189.

Functional Evaluation of a Novel Self-adhesive Resin Composite as an Orthodontic Aligner

INOUE Go, CHEN Xuefei, FAN Lin and SHIMADA Yasushi

Department of Cariology and Operative Dentistry, Division of Oral Health Sciences,
Graduate School of Medical and Dental Sciences, Institute of Science Tokyo

Abstract

Purpose: In recent years, orthodontic treatment using clear aligners has become increasingly widespread due to their superior esthetics and hygiene compared with conventional multibracket appliances. However, the success rate of aligner therapy remains approximately 50%, and to improve treatment outcomes, attachments are commonly placed on tooth surfaces to enhance biomechanical efficiency. Conventional bonding systems require a two-step procedure involving adhesive application followed by resin build-up, which may lead to discoloration, residual material after removal, and enamel damage. Therefore, the present study aimed to evaluate the performance of a novel self-adhesive composite resin, "SA Attachment for Aligner," which can bond directly to enamel without an adhesive, and to compare it with conventional bonding systems and attachment-specific materials.

Materials and Methods: Thirty extracted human molars with sound enamel were used. Buccal and lingual enamel surfaces were assigned to four groups: SAA; SA-100R, ESU; Clearfil Universal Bond Quick2+Clearfil Majesty ES Flow Universal, TNF; Adhese Universal+Tetric N-Flow A3, OAC; Ortholy Universal Bond Flow SE primer+Ortholy Aligner Connect. For each group, 15 specimens were prepared by bonding a resin cylinder (0.8 mm diameter, 0.5 mm height). Specimens were divided into two conditions: storage in distilled water at 37°C for 24 hours, and 10,000 thermal cycles. Micro-shear bond strength testing was performed at a cross-head speed of 1 mm/min. Statistical analysis was conducted using the Wilcoxon test with Bonferroni correction. Fracture surfaces were examined under SEM to evaluate failure modes and residual material on enamel.

Results: After 24-hour storage, bond strengths were 11.26 MPa for SAA, 21.28 MPa for ESU, 15.27 MPa for TNF, and 14.44 MPa for OAC, with no significant differences among groups. After thermal cycling, bond strengths were 13.58 MPa for SAA, 19.34 MPa for ESU, 21.41 MPa for TNF, and 9.33 MPa for OAC, with a significant decrease observed only in the OAC group. SEM analysis revealed predominantly interfacial failures in all groups; however, ESU and TNF showed substantial adhesive residue on enamel surfaces. In contrast, SAA exhibited minimal residue, indicating superior removability.

Conclusion: SAA demonstrated adequate initial bond strength and durability required for orthodontic attachments, showing performance comparable to or exceeding that of conventional materials. Moreover, its minimal residual material upon removal suggests a reduced risk of enamel damage, representing a significant clinical advantage.

Key words: self-adhesive composite resin, aligner orthodontics, attachment

ヒト乳歯由来不死化歯根膜線維芽細胞からのアポリポタンパク質 E 分泌に対する *Porphyromonas gingivalis* 由来リポ多糖の影響

佐藤 遥香¹ 長谷川 智一² 鄭 且均³
鄒 鶴⁴ 佐藤 聡^{1,5} 道川 誠⁵

¹日本歯科大学大学院新潟生命歯学研究科 歯周機能治療学

²徳島大学大学院医歯薬学研究部 口腔科学部門 臨床歯学系 小児歯科学分野

³名古屋市立大学大学院看護学研究科 看護国際推進センター

⁴名古屋市立大学大学院医学研究科 脳神経科学研究所 腫瘍・神経生物学分野

⁵日本歯科大学新潟生命歯学部歯周病学講座

抄録

目的：歯周炎は慢性炎症性疾患であり，歯周病原細菌によって引き起こされ，リポ多糖 (lipopolysaccharide : LPS) と関連している。LPS は Toll 様受容体 4 を刺激し，炎症性サイトカインの産生による組織損傷を誘導する。一方，コレステロール輸送および損傷後の組織修復における主要な役割を担うアポリポタンパク質 E (apolipoprotein E : apoE) は，神経組織の再生に関与していることが示唆されている。apoE は歯周組織の修復にも関与すると考えられるが，ヒト歯根膜由来線維芽細胞 (human periodontal ligament fibroblasts : hPDL) などのヒト歯周組織由来細胞における LPS が与える apoE 分泌への影響は不明である。本研究の目的は，hPDL から apoE が分泌されるかを明らかにし，LPS を曝露し炎症を誘発させた hPDL からの apoE 分泌動態の変化を解析することである。

材料および方法：ヒト乳歯由来不死化歯根膜線維芽細胞 (immortalized human periodontal ligament fibroblasts : ihPDL) を，*Porphyromonas gingivalis* (*Pg*) 由来 LPS (0, 0.1, 1, 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$) で 24 時間および 48 時間刺激した。細胞毒性は乳酸脱水素酵素 (lactate dehydrogenase : LDH) 活性により評価し，apoE 分泌レベルおよび細胞内 apoE レベルは酵素免疫測定法 (enzyme-linked immunosorbent assay : ELISA) を用いて定量した。apoE 分泌の調節タンパク質である presenilin 1 (PS1) は，Western blotting 法で解析した。統計学的比較には Tukey 検定を用いた。

結果：LPS 曝露による ihPDL からの細胞毒性は確認されなかった。細胞外 apoE レベルは，1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ および 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 濃度の *Pg*-LPS による 48 時間処理で有意に減少したが，細胞内 apoE レベルは変化しなかった。*Pg*-LPS 曝露は細胞毒性の効果を伴わずに apoE 分泌を抑制した。apoE 分泌を制御するとされる PS1 発現レベルは *Pg*-LPS 処理の影響を受けなかった。

結論：本研究により，ihPDL は apoE を分泌することが明らかになった。さらに，*Pg*-LPS 曝露によって，apoE の分泌を抑制することが明らかになった。

キーワード：歯根膜線維芽細胞，リポ多糖，アポリポタンパク質 E

責任著者連絡先：道川 誠

〒951-8580 新潟市中央区浜浦町1-8 日本歯科大学新潟生命歯学部歯周病学講座

TEL : 025-211-8195, FAX : 025-233-3983, E-mail : mmichi@ngt.ndu.ac.jp

受付：2026年1月13日/受理：2026年3月3日

DOI : 10.11471/shikahozon.69.135

緒言

歯周炎の発症や進行に影響を及ぼす因子の一つとして、細菌感染がある¹⁾。グラム陰性菌で構成される歯周病原細菌は、細胞壁にリポ多糖 (lipopolysaccharide : LPS) を有している²⁾。LPSは Toll 様受容体 4 (TLR4) を刺激することで炎症誘発性サイトカインを誘導し、歯周組織を破壊することが知られている¹⁻³⁾。一方、破壊された歯周組織の修復には、歯肉・歯根膜・歯槽骨・セメント質の細胞が関わっていることが知られており、歯根膜が損傷を受けた場合、歯根膜に含まれている線維芽細胞や幹細胞などが組織損傷部分の修復に関わっている^{4,5)}。

アポリポタンパク E (apolipoprotein E : apoE) は、299 のアミノ酸からなる 34 kDa のタンパク質である⁶⁾。apoE は、細胞膜からコレステロールやリン脂質を搬出して high density lipoprotein (HDL)-apoE 粒子を形成する。形成された HDL-apoE 粒子は apoE 受容体を介して他の細胞へコレステロールを供給し、細胞の修復や増殖を支えると考えられている⁷⁻⁹⁾。

Presenilin は、細胞膜を 9 回貫通するタンパク質であり、代謝されることにより、18 kDa の C 末端フラグメント (C-terminal fragment ; CTF) と 30 kDa の N 末端フラグメントを生成する¹⁰⁾。また presenilin 1 (PS1) が欠損すると apoE 分泌が強く抑制され、PS1 変異体が apoE 分泌障害を引き起こすことから、PS1 は、apoE 分泌に不可欠なタンパク質として報告されている¹¹⁾。

apoE はコレステロールを含む脂質輸送を担うことから、脂質二重膜をもつ歯周組織の修復にも重要な役割を果たすと考えられる。過去の報告では、これまでアストロサイト、ミクログリア、マクロファージ、肝細胞や胚性線維芽細胞などで apoE の分泌が認められたと報告されている¹¹⁻¹⁴⁾が、歯周組織での報告はない。そこで本研究は、歯周組織の修復に関わっている歯根膜¹⁵⁾に注目し、ヒト歯根膜由来線維芽細胞 (human periodontal ligament fibroblasts : hPDL) から apoE が分泌されるかを明らかにするとともに、炎症を惹起させた hPDL から分泌される apoE レベルの変化について検討し、apoE が hPDL の修復に関与する可能性を示唆するための基礎的検討を行うことを目的とした。LPS による TLR4 依存性炎症応答は、アルツハイマー病に関連するアミロイド前駆体タンパク質 (amyloid precursor protein : APP) の処理経路に影響を及ぼすことが知られている¹⁶⁾。さらに、APP は apoE レベルを間接的に制御していることが示されている¹⁷⁾。PS1 は APP 切断に関与する¹⁸⁾ことから、炎症刺激と PS1 関連経路との機能的関連を介して

apoE 動態に影響を与える可能性が考えられる。そこで、PS1 の発現レベルについても解析した。

材料および方法

1. 細胞培養条件

研究には、ヒト乳歯由来不死化歯根膜線維芽細胞 (immortalized human periodontal ligament fibroblasts : ihPDL)^{19,20)}を用いた。ihPDL は、10% ウシ胎児血清 (Fetal bovine serum : FBS, ニチレイバイオサイエンス), 100 U/mL penicillin (Invitrogen, USA), 100 μ g/mL streptomycin (Invitrogen), 250 μ g/mL amphotericin B (Invitrogen) 含有 Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) Nutrient Mixture F-12 培養液 (Invitrogen) を用いて、コンフルエントになるまで 100 mm デイッシュ (Corning, USA) で培養した。培養は、すべて 37°C, 5%CO₂, 95% 空気条件下のインキュベーターで行った。

次に、実験群の培養条件を設定した。歯周炎患者に多く認められ²¹⁾、歯周炎モデルとして広く用いられている *Porphyromonas gingivalis* (Pg) 由来の LPS²²⁾ (InvivoGen, USA) を 1% FBS 含有 DMEM に添加した。Pg-LPS 濃度は、先行研究^{23,24)}において細胞傷害性が確認されていない濃度範囲を参考に、0, 0.1, 1 μ g/mL および 10 μ g/mL に調整した。Pg-LPS 濃度 0 μ g/mL を対照群とした。

2. マウスの脳のサンプル作製

サンプル作製には、2 カ月齢の C57BL/6 J マウス (日本エスエルシー) を用いた。1 mL の sevoflurane を入れた密閉小型容器内でマウスに麻酔し、続いてリン酸緩衝生理食塩水 (PBS ; 137 mM NaCl, 2.7 mM KCl, 8.1 mM Na₂HPO₄, 1.5 mM KH₂PO₄ ; pH 7.4) で経心的に灌流した後、ただちに脳を摘出した¹¹⁾。摘出した脳をホモジナイザー (PHYSCOTRON NS-310E, MICROTEC) で均質化した後、sampling buffer (250 mM Tris-HCl, pH6.8, 40% glycerol, 8% sodium dodecyl sulfate, 10% mercaptoethanol, 0.01% bromophenol blue) と混合し、サンプルを作製した。このサンプルは Western blot 解析に用いた (名古屋市立大学動物実験委員会 21-029)。

3. 評価項目

1) 細胞傷害性

Pg-LPS による細胞傷害性は、死細胞の指標である乳酸脱水素酵素 (lactate dehydrogenase : LDH) の活性を測定することで評価した (n=3)。LDH 活性の測定には、Cytotoxicity LDH Assay Kit-WST (Dojindo) を使用した。4.5×10³ cells/100 μ L に調整した ihPDL を 96 ウェルプレート (プレート A, Sarstedt, Germany) に 10% FBS-DMEM を用いて播種した。播種 48 時間後、プレートを

1%FBS-DMEMで2回洗った。その後、Pg-LPS添加培地210 μ Lを各ウェルに添加し、インキュベーターで培養した。48時間後、各ウェルから100 μ Lの上清を空の96ウェルプレート(プレートB)に移し、プレートAには10 μ Lのlysis bufferを加え、いずれのプレートも30分間インキュベートした。その後、プレートAから上清100 μ LをプレートBの空のウェルに移した。100 μ Lのworking solutionをプレートBのすべての上清100 μ Lに追加し、ウェル内の液を合計200 μ Lとした。プレートBを室温遮光下で30分間静置した後、50 μ Lのstop solutionをそれぞれのウェルに加えた。マイクロプレートリーダー(SpectraMax iD3, Molecular Device, USA)を用いて、プレートBを490 nmの吸光度にて測定した。

Lysis bufferで処理された培地から得たLDH活性を全LDH活性とし、lysis buffer未処理の培地から得たLDH活性をサンプルLDH活性とした。全LDH活性とそれに対応するサンプルLDH活性を用いて次の式で細胞傷害性を算出した。

$$\text{細胞傷害性 (\%)} = (\text{サンプル LDH 活性} / \text{全 LDH 活性}) \times 100$$

2) apoE の酵素免疫測定法 (enzyme-linked immunosorbent assay : ELISA) 解析

1.0×10^5 cells/mL に調整した ihPDL を 60 mm ディッシュに 3 mL 播種し、10%FBS-DMEM で培養した (n=6)。播種 48 時間後、ディッシュを 1%FBS-DMEM で 2 回洗った。その後 Pg-LPS 添加培地 3 mL を細胞に曝露し、培養した。先行研究^{23,24)}に基づいて、Pg-LPS 曝露 24 時間後と 48 時間後にディッシュ内の培地を回収した。回収した培地は、4°C、3,000 rpm で 5 分間遠心分離し、上清を回収した後、-80°C に保存した。ディッシュに付着した細胞をリン酸緩衝生理食塩水 (PBS) で 2 回洗った。プロテアーゼ阻害剤 (cOmplete Roche Diagnostics, USA) を含んだ RIPA buffer (50 mM Tris-HCl (pH 7.6), 150 mM NaCl, 1% NP-40, 0.5% sodium deoxycholate, 0.1% SDS) 1 mL をディッシュに添加し、セルスクレーパー (SPL Life Sciences, Korea) で細胞を回収し、-80°C に保存した。解凍後、ホモジナイザー (PHYSCOTRON NS-310E) で均質化した。その後、4°C、10,000 rpm で 5 分間遠心分離した。細胞溶解物中の総タンパク質濃度は、BCA タンパク質アッセイキット (Pierce, USA) を用いて一定に揃えた。

培地中に分泌された apoE と細胞内の apoE の解析には、サンドイッチ ELISA キットである human apoE ELISA キット (ProteinTech Group, USA) を使用した。

3) PS1 の Western blot 解析

PS1 の発現レベルを解析するために、Western blotting 法を行った。apoE 解析時に総タンパク質濃度を揃え

た細胞溶解物は、sampling buffer (250 mM Tris-HCl, pH6.8, 40% glycerol, 8% sodium dodecyl sulfate, 10% mercaptoethanol, 0.01% bromophenol blue) と混合し、10% Tris/glycine sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel で電気泳動にてタンパク質を分離した。分離されたタンパク質は、transfer buffer (100 mM Tris, 192 mM glycine, 10% methanol) を用いて、ポリフッ化ビニリデン膜 (Immobilon-P, Merck-Millipore, IRL) に電気泳動で移動した。また、解析では、マウスの脳サンプルも同時に解析した。膜は、blocking solution (10 mM Tris-HCl, pH 8.0, 150 mM NaCl, and 0.1% Tween 20, 5% skim milk) にて室温下で 1 時間振盪させた後、一次抗体を加え、4°C で一晩インキュベートした。一次抗体として、抗 PS1-CTF 抗体 (Merck-Millipore) を使用した。膜は洗浄後、二次抗体として Anti-mouse IgG HRP-linked antibody (Cell Signaling Technology, USA) を使用して、室温下で 1 時間振盪した。バンドは ImmunoStar Zeta (Wako) と Amersham Imager 680 GE (Healthcare Life Science, USA) を用いて可視化した。膜をストリッピングし、抗 β -actin 抗体 (ProteinTech Group) で内在性コントロールの β -actin を検出した。二次抗体は、Anti-rabbit IgG HRP-linked antibody (Cell Signaling Technology) を使用した。シグナル強度は、ImageJ 1.46r ; Java 1.6.0-20 [64 bit] (NIH, USA) を用いて定量化した (n=3)。使用した抗体は、Table 1 に示した。

4. 統計学的分析

Shapiro-Wilk 検定を使用して正規分布していることを確認した。したがって、一元配置分散分析を行い、多重比較に Tukey 検定を使用して統計分析を行った。統計的有意性は $p < 0.05$ に設定した。統計ソフトは、SPSS Statistics 17.0 (IBM, USA) を使用した。

結 果

1. 細胞傷害性の解析

LPS 曝露から 48 時間後の各実験群は、対照群と比較して LDH 活性に有意な差は認められず、LPS 曝露による細胞傷害性はなかった。Pg-LPS 濃度 0, 0.1, 1, 10 μ g/mL の順で、平均値は 1.0 ± 0.091 , 0.918 ± 0.023 , 0.907 ± 0.047 , 0.935 ± 0.016 であった (Fig. 1)。

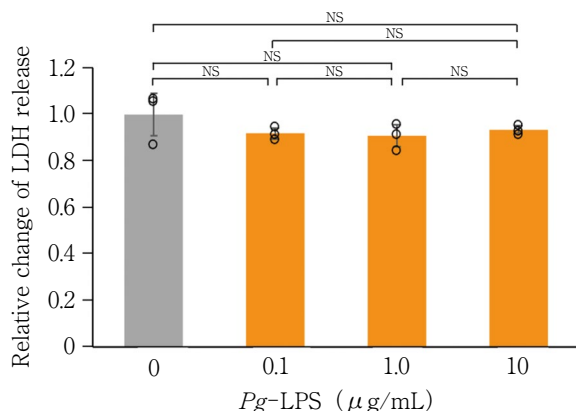
2. apoE の解析

1) 細胞外への apoE 分泌の解析

Pg-LPS 曝露 24 時間後の apoE 分泌レベルは、Pg-LPS 濃度 0, 0.1, 1, 10 μ g/mL の順で、平均値がそれぞれ 600.6 ± 168.6 , 569.6 ± 161.0 , 446.7 ± 115.4 , 250.8 ± 77.0 であった。10 μ g/mL の濃度では対照群と比較して有意な減少 ($p < 0.01$) が認められたが、他の群間では有意差は認め

Table 1 Information regarding antibodies

Antibodies	Host	Class	Dilution	Source	Catalog number
Primary antibodies					
Anti-PS1-CTF antibody	mouse	monoclonal	1 : 1,000	Merck-Millipore	MAB5232-I-25UL
Anti- β -actin antibody	rabbit	polyclonal	1 : 1,000	ProteinTech Group	20536-1-AP
Secondary antibodies					
Anti-mouse IgG HRP-linked antibody	horse	polyclonal	1 : 5,000	Cell Signaling Technology	7076S
Anti-rabbit IgG HRP-linked antibody	goat	polyclonal	1 : 3,000	Cell Signaling Technology	7074S

**Fig. 1** Lactate dehydrogenase (LDH) activity released from immortalized human periodontal ligament fibroblasts (ihPDL)

LDH activity released from ihPDL was measured 48 h after lipopolysaccharide from *Porphyromonas gingivalis* (*Pg-LPS*) stimulation. Relative values of the experimental and control groups were compared using the mean value of the control group as 1. Circles represent respective values and error bars represent standard deviations (mean \pm SD, $n=3$). Statistical analysis: one-way ANOVA with Tukey's post hoc test, NS: no significant difference.

られなかった ($p>0.05$) (Fig. 2A).

Pg-LPS 曝露 48 時間後の apoE 分泌レベルは, *Pg-LPS* 濃度 0, 0.1, 1, 10 $\mu\text{g/mL}$ の順で, 平均値がそれぞれ $2,621.8 \pm 812.1$, $2,383.2 \pm 782.1$, $1,677.8 \pm 571.8$, 419.6 ± 129.9 であった. 有意な減少は, 対照群と 1 $\mu\text{g/mL}$ ($p < 0.05$), 対照群と 10 $\mu\text{g/mL}$ ($p < 0.01$), 0.1 $\mu\text{g/mL}$ と 10 $\mu\text{g/mL}$ ($p < 0.01$) および 1 $\mu\text{g/mL}$ と 10 $\mu\text{g/mL}$ ($p < 0.05$) で認められたが, 対照群と 0.1 $\mu\text{g/mL}$ ($p > 0.05$) および 0.1 $\mu\text{g/mL}$ と 1 $\mu\text{g/mL}$ ($p > 0.05$) では認められなかった (Fig. 2B).

2) 細胞内の apoE の解析

細胞外への apoE 分泌レベルが *Pg-LPS* 曝露から 48 時間後に, 対照群と比較して 1 $\mu\text{g/mL}$ と 10 $\mu\text{g/mL}$ に有意

な差を認めたことから, *Pg-LPS* 曝露から 48 時間後の ihPDL の細胞内の apoE を解析した. *Pg-LPS* 濃度 0, 0.1, 1, 10 $\mu\text{g/mL}$ の平均値は, それぞれ 6.117 ± 0.746 , 6.230 ± 0.725 , 6.319 ± 0.618 , 6.327 ± 0.617 であった. ELISA による測定値は, 総タンパク質量で正規化した. 各実験群は, 対照群と比較して apoE レベルに有意な差は認めなかった ($p > 0.05$) (Fig. 3).

3. PS1 の解析

Fig. 2B に示すように, 細胞外への apoE 分泌レベルが *Pg-LPS* 曝露から 48 時間後に対照群と比較して 1 $\mu\text{g/mL}$ と 10 $\mu\text{g/mL}$ に有意な差を認めたことから, *Pg-LPS* 曝露から 48 時間後の ihPDL の細胞の解析を行った. PS1-CTF を示すバンドは, マウスの脳サンプルと同じ約 18 kDa に認められた (Fig. 4A). 実験群および対照群のシグナル強度は, β -actin のシグナルで正規化した後, PS1-CTF バンドの相対値を算出し, 対照群の平均値を 1 として比較した. *Pg-LPS* 曝露 48 時間後の平均値は, *Pg-LPS* 濃度 0, 0.1, 1, 10 $\mu\text{g/mL}$ の順で, それぞれ 1 ± 0.092 , 1.021 ± 0.095 , 1.013 ± 0.085 , 1.024 ± 0.092 であった. 実験群と対照群の間で PS1-CTF レベルに有意差は認めなかった ($p > 0.05$) (Fig. 4B). 内因性コントロールとして用いた β -actin バンドは約 42 kDa で検出され, 実験群と対照群の間でバンド強度に有意差は認めなかった (Fig. 4A).

考 察

歯周炎は, 組織破壊を伴う細菌感染を原因とする症性慢性疾患である²⁵. 歯周組織破壊には, LPS が関わっており, 破壊された歯周組織の修復や再生では, 線維芽細胞を含む歯根膜組織が関わっていることが知られている^{4,5}. 一方, apoE は, 細胞膜からコレステロールやリン脂質を搬出して HDL-apoE 粒子を形成し, 他の細胞にコレステロールを供給することで, 細胞の修復や増殖を支えるとされており, 神経組織の修復に有用であることが知られている⁷⁻⁹. しかし, 歯根膜中に存在する線維芽細胞が損傷された際の修復に apoE が関与している報告

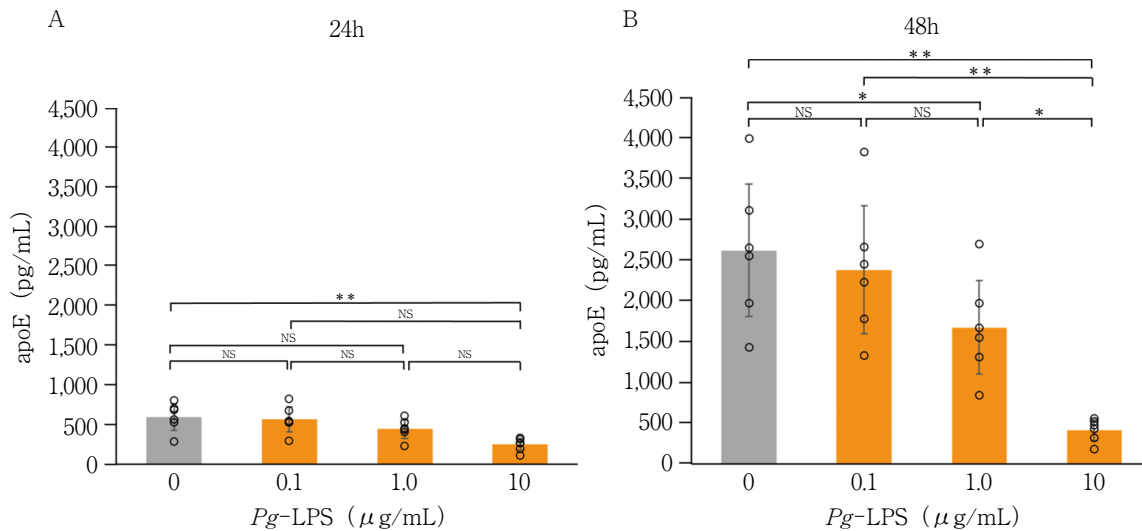


Fig. 2 Apolipoprotein E (apoE) levels secreted from immortalized human periodontal ligament fibroblasts (ihPDL)

The levels of apoE secreted from ihPDL (pg/mL) were measured using ELISA. (A) Measurement of apoE secretion 24 h after lipopolysaccharide from *Porphyromonas gingivalis* (*Pg*-LPS) stimulation. (B) Measurement of apoE secretion 48 h after *Pg*-LPS exposure. Circles represent respective values and error bars represent standard deviations (mean \pm SD, n=6). Statistical analysis: one-way ANOVA with Tukey's post hoc test. *: p < 0.05. **: p < 0.01. NS: no significant difference.

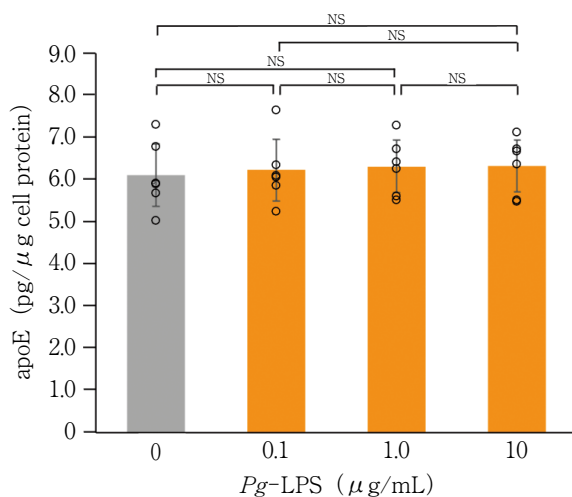


Fig. 3 Intracellular apolipoprotein E (apoE) levels in immortalized human periodontal ligament fibroblasts (ihPDL)

Intracellular apoE levels in ihPDL (pg/ μg cell protein) were measured 48 h after lipopolysaccharide from *Porphyromonas gingivalis* (*Pg*-LPS) stimulation using ELISA. Circles represent respective values and error bars represent standard deviations (mean \pm SD, n=6). Statistical analysis: one-way ANOVA with Tukey's post hoc test. NS: no significant difference.

はみられない。そこで本研究は、歯根膜が組織修復を行う際に apoE が関わっていると考え、臨床分離株と比較し個体差の影響を考慮することがない ihPDL を用いて、ihPDL から apoE が分泌しているかを明らかにした。初代培養細胞は生体内に近い特性を反映すると思われるが、個体差により結果の変動が大きくなりやすい。一方で、不死化細胞株は継代培養が可能であり、細胞供給の安定性や実験系の再現性の確保に優れるという利点を有する。さらに、*Pg*-LPS を曝露した ihPDL を炎症モデルとして想定し、炎症を惹起させた際の apoE レベルの変化を評価した。また、ihPDL に *Pg*-LPS を曝露し、apoE 分泌の制御に不可欠である PS1 の発現の変化についても検討した。

はじめに *Pg*-LPS が ihPDL に対して細胞死を誘導していないことを確認するために、LDH 活性の検討を行った。その結果、*Pg*-LPS 濃度 0.1, 1, 10 $\mu\text{g/mL}$ で曝露した ihPDL と対照群には有意な差を認めなかった。Yiemwattana らは、hPDL に 1.25, 2.5, 5.0, 10, 20 $\mu\text{g/mL}$ の *Pg*-LPS を曝露した際の細胞生存率と細胞傷害性について MTS アッセイを行った結果、すべての濃度において、有意な差はみられなかったと報告しており²³⁾、本研究と同様の結果であった。このことから、本研究で用いた *Pg*-LPS 濃度は、ihPDL に細胞死を誘発していないと考えられる。*Pg*-LPS 濃度 10 $\mu\text{g/mL}$ は生理的濃度としては高値である可能性があるが、本研究は apoE の hPDL

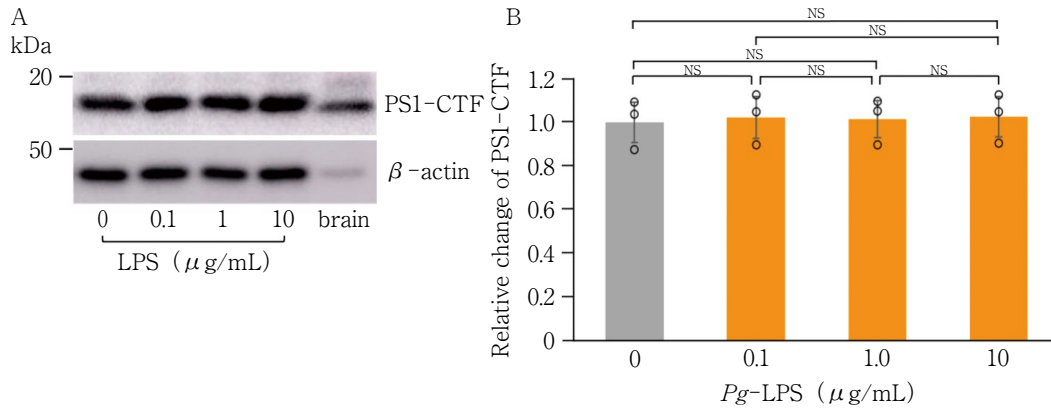


Fig. 4 Presenilin1 (PS1)-C-terminal fragment (CTF) levels in immortalized human periodontal ligament fibroblasts (ihPDL)

Western blot analysis of ihPDL 48 h after lipopolysaccharide from *Porphyromonas gingivalis* (*Pg*-LPS) stimulation. (A) The upper panel shows bands corresponding to PS1-CTF; the bar indicates 20 kDa. The lower panel shows β -actin as an endogenous control; the bar indicates 50 kDa. (B) Relative values of the experimental and control groups were compared using the mean value of the control group as 1. Circles represent respective values and error bars represent standard deviations (mean \pm SD, n=3). Statistical analysis: one-way ANOVA with Tukey's post hoc test. NS: no significant difference.

修復への関与を探索する基礎的検討である。そこで、濃度依存的な細胞応答を明確に評価することを目的に、先行研究^{23,24})に準拠して *Pg*-LPS 濃度を 10 倍段階希釈 (0.1, 1, 10 μ g/mL) で設定した。

本研究は、ihPDL に *Pg*-LPS を曝露させた際の apoE レベルの検討を行った。その結果、ihPDL から apoE が分泌されていることを初めて明らかとした。また、*Pg*-LPS 曝露による ihPDL の細胞外への apoE 分泌レベルの検討では、*Pg*-LPS 曝露 24 時間で *Pg*-LPS 濃度 10 μ g/mL で対照群と有意な差を認め、*Pg*-LPS 曝露 48 時間では、*Pg*-LPS 濃度 1 μ g/mL および 10 μ g/mL で対照群と有意な差を認めた。つまり、*Pg*-LPS 濃度 1 μ g/mL から 10 μ g/mL では apoE レベルが減少する傾向を示した。曝露時間の延長に伴い、より低濃度条件においても有意な差を認めた。これらの結果は、*Pg*-LPS 刺激による apoE 分泌抑制が、濃度および時間の双方に依存する傾向があることを示している。Saura らは、混合グリア細胞を LPS (0.1, 10, 1,000 ng/mL) にて 6, 12, 24, および 48 時間曝露した結果、非曝露対照群と比較して、24 時間曝露では 1,000 ng/mL ($p < 0.01$), 48 時間曝露では 10 ng/mL ($p < 0.01$) および 1,000 ng/mL ($p < 0.001$) において apoE の有意な減少を認め、apoE が濃度依存的に低下することを報告している²⁶)。さらに、Pocivavsek らは、ミクログリアに LPS を 12, 24 時間、および 48 時間曝露したところ、apoE の分泌が時間依存的に減少する傾向を示したと報告している²⁷)。本研究の結果もこれらと同様

の傾向を示している。

apoE の分泌を制御する分子や制御システムは、いまだに解明されていない。しかし最近、著者らは apoE 分泌には PS1 が必要であることを発見し、PS1 の有無により、細胞内 apoE レベルを変化させずに細胞外への apoE 分泌レベルに大きな影響をもたらすことを見いだした¹¹)。本研究でも同様に、細胞内の apoE レベルには差を認めないが、細胞外への apoE 分泌レベルに有意な差を認めたため、ihPDL が apoE を分泌するために PS1 が関与していると考えた。そこで、*Pg*-LPS による apoE 分泌抑制に PS1 が関与するか検討を行った。その結果、*Pg*-LPS 曝露による ihPDL 内の PS1 レベルに各濃度で有意な差を認めなかった。このことから、*Pg*-LPS 曝露による ihPDL の apoE 分泌低下は、PS1 発現量の低下によるものではないことが示された。本研究では PS1 の活性評価や変異体を用いた機能解析は実施していないため、apoE 分泌低下に PS1 の機能障害が関与する可能性は否定できない。今後、PS1 活性の直接評価を含めた検討が必要である。

apoE は脂質代謝のみならず炎症応答調節にも関与することが知られており²⁸)、歯周炎と動脈硬化リスクの関連も示されている²⁹)。本研究では、ihPDL から apoE が分泌され、*Pg*-LPS 曝露によって分泌が抑制されることを示した。この結果は、歯周炎による刺激が apoE 分泌経路に影響を与える可能性を支持する知見と考えられる。apoE には、apoE2, apoE3 および apoE4 の主要な 3

つのアイソフォームが存在する³⁰⁾。Vitekらは、マウスの脳の溶解物において、apoE4/4はapoE3/3よりもタンパク質レベルが低いことを示し、LPSを投与したマウスの脳の溶解物において、apoE4/4はapoE3/3よりも炎症性サイトカインのTNF α レベルとInterleukin-6レベルが高いことを報告しており³¹⁾、アイソフォーム間で反応が異なることを報告している。各アイソフォームとapoEの分泌の関連を明らかにすることにより、歯周組織の修復機能の解明に役立つと考えられる。今後の検討が必要である。

結 論

本研究は、ihPDLはapoEを分泌し、さらにPg-LPS曝露によって、apoEの分泌を抑制することを明らかにした。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない。

文 献

- de Andrade KQ, Almeida-da-Silva CLC, Coutinho-Silva R. Immunological pathways triggered by *Porphyromonas gingivalis* and *Fusobacterium nucleatum*: Therapeutic possibilities?. *Mediators Inflamm* 2019; 2019: 7241312.
- Chew RJJ, Tang YL, Lin YYS, Oh FJB, Sim RP, Anwar EJ, Preshaw PM, Tan KS. Toll-like receptor-4 activation by subgingival biofilm and periodontal treatment response. *Clin Oral Investig* 2023; 27: 2139-2147.
- Kocgozlu L, Elkaim R, Tenenbaum H, Werner S. Variable cell responses to *P. gingivalis* lipopolysaccharide. *J Dent Res* 2009; 88: 741-745.
- Seo BM, Miura M, Gronthos S, Bartold PM, Batouli S, Brahimi J, Young M, Robey PG, Wang CY, Shi S. Investigation of multipotent postnatal stem cells from human periodontal ligament. *Lancet* 2004; 364: 149-155.
- Smith PC, Martínez C, Martínez J, McCulloch CA. Role of fibroblast populations in periodontal wound healing and tissue remodeling. *Front Physiol* 2019; 10: 270.
- Hatters DM, Peters-Libeu CA, Weisgraber KH. Apolipoprotein E structure: insights into function. *Trends Biochem Sci* 2006; 31: 445-454.
- Michikawa M, Fan QW, Isobe I, Yanagisawa K. Apolipoprotein E exhibits isoform-specific promotion of lipid efflux from astrocytes and neurons in culture. *J Neurochem* 2000; 74: 1008-1016.
- Ignatius MJ, Gebicke-Härter PJ, Skene JH, Schilling JW, Weisgraber KH, Mahley RW, Shooter EM. Expression of apolipoprotein E during nerve degeneration and regeneration. *Proc Natl Acad Sci USA* 1986; 83: 1125-1129.
- Snipes GJ, McGuire CB, Norden JJ, Freeman JA. Nerve injury stimulates the secretion of apolipoprotein E by nonneuronal cells. *Proc Natl Acad Sci USA* 1986; 83: 1130-1134.
- Seeger M, Nordstedt C, Petanceska S, Kovacs DM, Gouras GK, Hahne S, Fraser P, Levesque L, Czernik AJ, George-Hyslop PS, Sisodia SS, Thinakaran G, Tanzi RE, Greengard P, Gandy S. Evidence for phosphorylation and oligomeric assembly of presenilin 1. *Proc Natl Acad Sci USA* 1997; 94: 5090-5094.
- Islam S, Sun Y, Gao Y, Nakamura T, Noorani AA, Li T, Wong PC, Kimura N, Matsubara E, Kasuga K, Ikeuchi T, Tomita T, Zou K, Michikawa M. Presenilin is essential for ApoE secretion, a novel role of presenilin involved in Alzheimer's disease pathogenesis. *J Neurosci* 2022; 42: 1574-1586.
- Andromidas F, Mackinnon BE, Myers AJ, Shaffer MM, Brahimi A, Atashpanjeh S, Vazquez TL, Le T, Jellison ER, Staurovsky S, Koob AO. Astrocytes initiate autophagic flux and maintain cell viability after internalizing non-active native extracellular α -synuclein. *Mol Cell Neurosci* 2024; 131: 103975.
- Chernick D, Ortiz-Valle S, Jeong A, Swaminathan SK, Kandimalla KK, Rebeck GW, Li L. High-density lipoprotein mimetic peptide 4F mitigates amyloid- β -induced inhibition of apolipoprotein E secretion and lipidation in primary astrocytes and microglia. *J Neurochem* 2018; 147: 647-662.
- Zhu Y, Kodvawala A, Hui DY. Apolipoprotein E inhibits toll-like receptor (TLR)-3- and TLR-4-mediated macrophage activation through distinct mechanisms. *Biochem J* 2010; 428: 47-54.
- Huang Y, Tang Y, Zhang R, Wu X, Yan L, Chen X, Wu Q, Chen Y, Lv Y, Su Y. Role of periodontal ligament fibroblasts in periodontitis: pathological mechanisms and therapeutic potential. *J Transl Med* 2024; 22: 1136.
- Zhou Y, Chen Y, Xu C, Zhang H, Lin C. TLR4 targeting as a promising therapeutic strategy for Alzheimer disease treatment. *Front Neurosci* 2020; 14: 602508.
- Liu Q, Zerbinatti CV, Zhang J, Hoe HS, Wang B, Cole SL, Herz J, Muglia L, Bu G. Amyloid precursor protein regulates brain apolipoprotein E and cholesterol metabolism through lipoprotein receptor LRP1. *Neuron* 2007; 56: 66-78.
- Octave JN, Essalmani R, Tasiaux B, Menager J, Czech C, Mercken L. The role of presenilin-1 in the gamma-secretase cleavage of the amyloid precursor protein of Alzheimer's disease. *J Biol Chem* 2000; 275: 1525-1528.

- 19) Hasegawa T, Chosa N, Asakawa T, Yoshimura Y, Ishisaki A, Tanaka M. Establishment of immortalized human periodontal ligament cells derived from deciduous teeth. *Int J Mol Med* 2010; 26: 701-705.
- 20) Kifune T, Ito H, Ishiyama M, Iwasa S, Takei H, Hasegawa T, Asano M, Shirakawa T. Hypoxia-induced upregulation of angiogenic factors in immortalized human periodontal ligament fibroblasts. *J Oral Sci* 2018; 60: 519-525.
- 21) Yang HW, Huang YF, Chou MY. Occurrence of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythensis* in periodontally diseased and healthy subjects. *J Periodontol* 2004; 75: 1077-1083.
- 22) Wu X, Zhang G, Feng X, Li P, Tan Y. Transcriptome analysis of human periodontal ligament fibroblasts exposed to *Porphyromonas gingivalis* LPS. *Arch Oral Biol* 2020; 110: 104632.
- 23) Yiemwattana I, Chaisomboon N, Jamdee K. Antibacterial and anti-inflammatory potential of *Morus alba* stem extract. *Open Dent J* 2018; 12: 265-274.
- 24) Lu J, Hu Y, Tang Z, Zhang C, Jin L, Gu M, Yang Y. *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharide enhances the proliferation of human periodontal ligament cells via upregulation of cyclin D1, cyclin A and cyclin B1. *Exp Ther Med* 2022; 23: 2.
- 25) Könönen E, Gursoy M, Gursoy UK. Periodontitis: A multifaceted disease of tooth-supporting tissues. *J Clin Med* 2019; 8: 1135.
- 26) Saura J, Petegnief V, Wu X, Liang Y, Paul SM. Microglial apolipoprotein E and astroglial apolipoprotein J expression in vitro: opposite effects of lipopolysaccharide. *J Neurochem* 2003; 85: 1455-1467.
- 27) Pocivavsek A, Burns MP, Rebeck GW. Low-density lipoprotein receptors regulate microglial inflammation through c-Jun N-terminal kinase. *Glia* 2009; 57: 444-453.
- 28) Minihane AM, Jofre-Monseny L, Olano-Martin E, Rimbach G. ApoE genotype, cardiovascular risk and responsiveness to dietary fat manipulation. *Proc Nutr Soc* 2007; 66: 183-197.
- 29) Pereira LC, Nascimento JCR, Rêgo JMC, Canuto KM, Crespo-Lopez ME, Alvarez-Leite JI, Baysan A, Oriá RB. Apolipoprotein E, periodontal disease and the risk for atherosclerosis: a review. *Arch Oral Biol* 2019; 98: 204-212.
- 30) Gong JS, Kobayashi M, Hayashi H, Zou K, Sawamura N, Fujita SC, Yanagisawa K, Michikawa M. Apolipoprotein E (ApoE) isoform-dependent lipid release from astrocytes prepared from human ApoE3 and ApoE4 knock-in mice. *J Biol Chem* 2002; 277: 29919-29926.
- 31) Vitek MP, Brown CM, Colton CA. APOE genotype-specific differences in the innate immune response. *Neurobiol Aging* 2009; 30: 1350-1360.

Porphyromonas gingivalis Lipopolysaccharide Suppresses Apolipoprotein E Secretion from Immortalized Periodontal Ligament Fibroblasts Derived from Human Deciduous Teeth

SATO Haruka¹, HASEGAWA Tomokazu², JUNG Cha-Gyun³,
ZOU Kun⁴, SATO Soh^{1,5} and MICHIKAWA Makoto⁵

¹Field of Advanced Conservative Dentistry and Periodontology, Periodontology, Course of Clinical Science,
The Nippon Dental University Graduate School of Life Dentistry at Niigata

²Department of Pediatric Dentistry, Institute of Biomedical Science, Clinical Dentistry, Tokushima University Graduate School

³Center for Nursing International Promotion, Nagoya City University Graduate School of Nursing

⁴Department of Neuro-oncology, Institute of Brain Science, Nagoya City University Graduate School of Medical Sciences

⁵Department of Periodontology, The Nippon Dental University School of Life Dentistry at Niigata

Abstract

Purpose: Periodontitis, a chronic inflammatory condition, is driven by periodontopathogenic bacteria and is associated with lipopolysaccharides (LPS), which stimulate Toll-like receptor 4 and induce tissue damage through the production of inflammatory cytokines. Apolipoprotein E (apoE), a key player in cholesterol transport and in tissue repair after injury, has been implicated in the regeneration of nervous tissue. It is assumed that apoE also plays a role in repairing periodontal tissues; however, the impact of LPS on apoE metabolism in human periodontal cells such as human periodontal ligament fibroblasts (hPDL) remains unclear. This study was designed to determine whether apoE is secreted from hPDL, and whether LPS from *Porphyromonas gingivalis* (*Pg*) affects apoE secretion from hPDL.

Methods: Immortalized hPDL (ihPDL), derived from human deciduous teeth, were stimulated to varying concentrations of LPS derived from *Pg* (0, 0.1, 1, and 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$) for 24 and 48h. Cytotoxicity was evaluated by lactate dehydrogenase (LDH) assay, while apoE secretion and intracellular apoE levels were quantified using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Presenilin 1 (PS1), a regulator protein of apoE secretion, was analyzed through western blot. Statistical comparisons were performed using Tukey's test.

Results: Cytotoxicity evaluated by LDH released from ihPDL was not observed by stimulation of LPS. Extracellular apoE levels were significantly reduced by the treatment of *Pg*-LPS at concentrations of 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ and 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for 48h, but intracellular apoE levels remained unchanged. The *Pg*-LPS stimulation inhibited apoE secretion without causing cytotoxic effects. PS1 expression levels were also unaffected by *Pg*-LPS treatment.

Conclusion: It is suggested that ihPDL secretes apoE and that *Pg*-LPS exposure suppresses apoE secretion.

Key words: periodontal ligament fibroblasts, lipopolysaccharide, apolipoprotein E

健全歯質および脱灰歯質におけるフッ化ジアミン銀による 歯質変色に対するヨウ化カリウムの抑制効果

—線形混合モデルによる多要因解析—

津田 優香 高橋 礼奈 高橋 基
湊 洋祐 島田 康史

東京科学大学大学院医歯学総合研究科 口腔機能再構築学講座 う蝕制御学分野

抄録

目的：フッ化ジアミン銀（SDF）は非侵襲的なう蝕管理手法として注目されているが、塗布後の歯質黒変が審美的課題である。この解決策として、SDF塗布直後のヨウ化カリウム（KI）塗布による黒変抑制が報告されている。本研究の目的は、SDF単独、SDFとKIの順次塗布、および知覚過敏製剤のSDF・KI製剤（Riva Star）による色差（ ΔE ）を、健全および脱灰したエナメル質、歯冠象牙質、歯根象牙質において経時的に解析することである。

材料と方法：ヒト健全抜去小白歯および切歯計24本より、エナメル質、歯冠象牙質、歯根象牙質の平坦面を流水下にて#600の耐水研磨紙にて研削し露出させ、即時重合レジンに包埋した。エナメル質・歯冠象牙質・歯根象牙質試料は脱灰液に浸漬した脱灰群と非脱灰群に分け、さらにSDF、SDF+KI、Riva Starの3群に分けた。試料の色調（ $L^*a^*b^*$ ）は薬剤塗布前、直後、7、28日後に二次元色彩計（RC500）にて測定し、 ΔE を算出した。統計解析には、算出した ΔE を目的変数とし、薬剤、部位、脱灰の有無および時間を固定効果とし、歯牙個体差をランダム効果として組み込んだ線形混合モデル解析を行った。固定効果の検定にはType III検定を用い、多重比較は推定周辺平均に基づきBonferroni法で補正した。有意水準は5%とした。

結果：線形混合モデルによる解析の結果、3要因交互作用（薬剤×部位×時間、薬剤×脱灰×時間）に有意差が認められた。SDF群では著明な色調変化が生じたが、KIを併用した2群（SDF+KI群、Riva Star群）はすべての条件で有意に低い ΔE を示した。SDF+KI群とRiva Star群の間には全体として有意差は認められなかったが、SDF+KI群およびRiva Star群における ΔE の経時的変化は、部位や脱灰の有無によって異なる挙動を示した。また、各群とも7日後と28日後の間には有意な色調変化を認めなかった。

結論：SDF単独塗布は経時的に ΔE が増大した。KI併用（SDF+KI、Riva Star）はSDF単独より ΔE を有意に低く抑制した。Riva StarはSDF+KIと同等であったが、脱灰エナメル質において、Riva Star群はSDF+KI群と比較して塗布直後の ΔE が有意に低値を示し、初期の着色抑制においてより優れた特性を示した。

キーワード：フッ化ジアミン銀、色調変化、ヨウ化カリウム、フッ化ジアミン銀・ヨウ化カリウム製剤

責任著者連絡先：高橋礼奈

〒113-8510 東京都文京区湯島1-5-45 東京科学大学大学院医歯学総合研究科口腔機能再構築学講座う蝕制御学分野

TEL：03-5803-5483, FAX：03-5803-0195, E-mail：rtakahashi.ope@tmd.ac.jp

受付：2026年1月15日/受理：2026年3月16日

DOI：10.11471/shikahozon.69.144

緒言

フッ化ジアミン銀 (silver diamine fluoride: 以下, SDF) は, 銀イオンおよびフッ化イオンの作用により, 脱灰抑制, 再石灰化促進, う蝕原性細菌に対する抗菌性, 抗酵素活性, およびプラーク生成抑制といった多角的な効果を有する^{1,2)}. 本邦では, 1960年代後半の山賀らによる報告³⁾以降, 歯科治療への協力が困難な小児の多発性う蝕等に広く臨床応用されてきた. 近年の超高齢社会において, 根面う蝕への対応が喫緊の課題となるなか, 非侵襲的なう蝕管理手法として SDF の有用性が改めて注目されている⁴⁾.

しかしながら, SDF の最大の欠点は, 塗布後の歯質に生じる著明な黒変である. この審美的な問題は, 前歯部のみならず臼歯部においても使用を制限する大きな要因となっている⁵⁾. この欠点を克服する手法として, SDF 塗布直後にヨウ化カリウム (以下, KI) を塗布し, ヨウ化銀の白色沈殿を形成させることで黒変を抑制する試みがなされてきた⁶⁾. 現在, この機序を応用した製品として, 海外では知覚過敏抑制材として承認・市販されている Riva Star (Southern Dental Industries, オーストラリア) が挙げられる.

Riva Star は臨床現場での利便性を高める一方, その塗布後の色調変化に関する詳細な検討は十分とはいえない. 特に, 従来の SDF 溶液塗布後に KI 溶液を順次塗布する場合と, Riva Star を用いた場合の色調変化を直接比較した報告は乏しく, 両者の審美的な差異には不明な点が多い. さらに, SDF は臨床的にう蝕象牙質など脱灰歯質へ適用される一方, 塗布時には周囲の健全歯質にも接触しうるため, 健全歯質と脱灰歯質で色調変化が異なるかを区別して検討する必要がある.

そこで本研究の目的は, SDF 単独塗布, SDF と KI の順次塗布, および Riva Star 塗布後のエナメル質, 歯冠象牙質, 歯根象牙質における色調変化を健全歯質および脱灰歯質と比較検討することとした.

材料および方法

1. 試料作製

試料には, ヒト健全抜去小白歯および切歯計24本を用い, 抜去後3カ月以内に実験へ供した. 抜去歯は実験開始まで0.1%チモール溶液中で4°Cにて保存した.

実験開始時に歯牙を流水下で洗浄後, 精密切断加工機 (ISOMET, Buehler, USA) を用いてセメント-エナメル境にて歯冠部と歯根部に分割した. 採取した歯冠部から, エナメル質試料および歯冠象牙質試料を各1個切り

出した. また, 歯根部からは歯根象牙質試料を1個作製した. 各試料は平坦面が約4×4mmとなるよう#600の耐水研磨紙で研削し露出させ, 厚さ5mmの板状試料となるよう即時重合レジン (ユニファストIII, ジーシー) に包埋した. なお, 群分けは歯を割付単位として行い, 同一歯由来のエナメル質・歯冠象牙質・歯根象牙質の3試料は同一の実験群 (脱灰の有無および薬剤処理条件) に割り付けた. 各条件のサンプルサイズはn=4とした. 試料は, 脱灰群と非脱灰群に分け, 脱灰群は各試料につき20mLの脱灰溶液 (1.5mM CaCl₂, 0.9mM KH₂PO₄, 50mM acetic acid, pH 4.8) に浸漬し, 37°Cにて7日間保管し脱灰処理を行った.

2. 薬剤塗布

本実験に用いた薬剤を Table 1 に示す. 脱灰群および非脱灰群のエナメル質, 歯冠象牙質および歯根象牙質は, (1) 38%フッ化ジアミン銀 (サホライド液歯科用38%, ビーブランド・メディコーデンタル) 塗布群 (SDF 群), (2) SDF 塗布直後にヨウ化カリウム (KI) を順次塗布する群 (SDF+KI 群), (3) 38%フッ化ジアミン銀+ヨウ化カリウム製品 (Riva Star) 塗布群 (Riva Star 群) の3群に分類した. 各群の塗布手順を Table 2 に示す. (1) SDF 群: マイクロブラシ (ピコ M, ビーエスエーサクライ) を用いて SDF を4分間塗布した. その間, 必要に応じて SDF を追加塗布した. その後, 蒸留水にて30秒間水洗した. (2) SDF+KI 群: マイクロブラシ (ピコ M) を用いて SDF を1分間塗布した. 直後に, 生成した白色沈殿が消失し透明になるまで KI 溶液を塗布し, その後, 紙ワイパー (キムワイプ, 日本製紙クレシア) を試料表面に軽く当て, 擦過を加えないよう余剰な水分を吸収除去し, 乾燥させた. 塗布開始から4分後に, 蒸留水にて30秒間水洗した. (3) Riva Star 群: 製品付属のマイクロブラシを用いて Step 1 溶液を1分間塗布した. 直後に, 生成した白色沈殿が消失し透明になるまで Step 2 溶液を塗布し, その後, 紙ワイパー (キムワイプ) を試料表面に軽く当て, 擦過を加えないよう余剰な水分を吸収除去し, 乾燥させた. 塗布開始から4分後に, 蒸留水にて30秒間水洗した. 水洗後, 試料は色調測定時を除き, 湿箱内にて静置し暗所保管した.

3. 色調測定

試料の測色は, 薬剤塗布前, 塗布直後 (0日), 塗布7日後, および塗布28日後の各時点において, D65光源下, 入射角45°, 黒色板背景にて, 二次元色彩計 (RC500, パパラボ) を使用して行った. 得られた XYZ データより, L*a*b* を算出した. 評価部位は, セメント-エナメル境からエナメルおよび歯冠象牙質試料は歯冠側方向, 歯根象牙質試料は根尖側方向に60ピクセル目 (1ピクセル=0.033×0.033mm) を評価部位とした. 薬剤塗布前の

Table 1 Agents used in this study

Agent	Manufacturer	Components and detailed information
Saforide Code: SDF	Bee Brand Medico Dental, Osaka, Japan	38% silver diamine fluoride; F=44,880 ppm, Ag=253,870 ppm
Potassium Iodide Code: KI	Wako Pure Chemical Indus- tries, Osaka, Japan	Guaranteed Reagent; assay (KI) ≥99.5% (m/m); appearance: white crystals-crystalline powder
Riva Star (capsules)	Southern Dental Industries, Victoria, Australia	Step 1 capsule: 38% silver diamine fluoride (fluoride ions: 0.06 g/mL) Step 2 capsule: saturated potassium iodide solution

Table 2 Application protocols for each experimental group

Group	Procedure
SDF	1) Apply SDF with a microbrush for 4 min (reapplying during this period). 2) Rinse with distilled water for 30 s.
SDF+KI	1) Apply SDF using a microbrush for 1 min. 2) Apply KI to the surface immediately following the application of SDF until the creamy-white precipitate turns clear, then blot dry. 3) Rinse with distilled water for 30 s at 4 min after the start of application.
Riva Star	1) Apply Step 1 solution with a microbrush for 1 min. 2) Apply Step 2 solution immediately following the application of Step 1 solution until the creamy-white precipitate turns clear, then blot dry. 3) Rinse with distilled water for 30 s at 4 min after the start of application.

$L^*a^*b^*$ を基準とした各時点の色差 (ΔE) を算出した.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\{(L2-L1)^2 + (a2-a1)^2 + (b2-b1)^2\}}$$

なお、本実験条件 (37°C, 湿度 100%, 遮光下) における無処置歯の 28 日間の色調変化は臨床的視認限界以下 ($\Delta E < 1.0$) であることを予備実験にて確認しているため、各試料のベースラインからの変化量をもって薬剤の効果を評価した.

4. 統計解析

ΔE を目的変数とし、薬剤、部位、脱灰の有無および時間を固定効果とする線形混合モデル解析を行った。時間は同一試料に対する反復測定であるため、歯牙 ID をランダム切片としてモデルに組み込み、歯牙間の個体差を補正した。固定効果の検定には Type III 検定を用い、多重比較は推定周辺平均に基づき Bonferroni 法で補正した。統計解析には IBM SPSS Statistics (version 26.0, IBM, USA) を用い、有意水準 5% とした。

本研究は、東京科学大学歯学部倫理審査委員会の承認を得て実施した (「う蝕病変並びに接着修復の実験評価」承認番号 D2013-022)。

結 果

線形混合モデルによる Type III 検定の結果を Table 3

に、各実験条件における ΔE の経時的変化を平均値±標準偏差として Fig. 1 に示す。線形混合モデル解析の結果、薬剤×部位×脱灰×時間の 4 要因交互作用は有意ではなかった ($p > 0.05$)。一方、薬剤×部位×時間および薬剤×脱灰×時間の 3 要因交互作用は有意であった ($p < 0.05$)。2 要因交互作用については、薬剤×部位、薬剤×脱灰、薬剤×時間、部位×時間、脱灰×時間はいずれも有意であった ($p < 0.05$) が、部位×脱灰の交互作用は有意ではなかった ($p > 0.05$)。また、薬剤、部位、脱灰の有無、および時間の主効果はいずれも有意であった ($p < 0.05$)。

また、3 要因交互作用 (薬剤×部位×時間、薬剤×脱灰×時間) が有意であったことから、薬剤による ΔE の経時的変化は部位および脱灰の有無の影響を受けることが示された。Fig. 1 に基づき、交互作用の影響を踏まえて条件別に ΔE の経時的変化を確認すると、SDF 群では非脱灰群および脱灰群のいずれにおいても、すべての部位で時間の経過に伴い ΔE が増加する傾向を示した。これに対し、SDF+KI 群および Riva Star 群では ΔE の変化量は相対的に小さく、部位ならびに脱灰の有無によって経時的挙動が異なった。

主効果が有意であった因子について Bonferroni 法による多重比較を行った結果、薬剤では SDF 群の ΔE は SDF+KI 群および Riva Star 群との間に有意差が認めら

Table 3 Results of Type III tests of fixed effects

Source	Numerator df	Denominator df	F-value	p-value
Intercept	1	49.46	728.91	<0.001
Agent	2	49.46	131.86	<0.001
Site	2	77.67	17.63	<0.001
Demineralization	1	49.46	43.98	<0.001
Time	2	159.74	103.9	<0.001
Agent×Site	4	77.67	4.86	0.002
Agent×Demineralization	2	49.46	15.13	<0.001
Agent×Time	4	159.74	62.1	<0.001
Site×Time	4	70.99	11.65	<0.001
Site×Demineralization	2	50.479	0.557	0.577
Demineralization×Time	4	121.399	9.019	<0.001
Agent×Site×Time	8	70.99	4.58	<0.001
Agent×Demineralization×Time	4	159.74	5.84	<0.001
Agent×Site×Demineralization	4	77.67	0.14	0.967
Site×Demineralization×Time	4	121.399	2.386	0.055
Agent×Site×Demineralization×Time	8	121.399	0.781	0.620

df: degrees of freedom

れた ($p < 0.05$) が, SDF+KI 群と Riva Star 群の間には有意差は認められなかった ($p > 0.05$). 部位では, 歯根象牙質および歯冠象牙質の ΔE はいずれもエナメル質群との間に有意差が認められた ($p < 0.05$) が, 歯冠象牙質群と歯根象牙質群の間には有意差は認められなかった ($p > 0.05$). 時間については, 0日群は7日群および28日群との間に有意差が認められた ($p < 0.05$) が, 7日群と28日群の間には有意差は認められなかった ($p > 0.05$).

さらに, 薬剤の多重比較において SDF+KI 群と Riva Star 群の間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$). 一方, Fig. 1 に示すように, 両群の ΔE の経時的推移は一部の条件 (例: 脱灰エナメル質) で異なる挙動を示した.

考 察

本研究では, SDF 単独塗布, SDF と KI の順次塗布, および Riva Star 塗布後のエナメル質, 歯冠象牙質, 歯根象牙質における色調変化を, 健全歯質および脱灰歯質において比較検討した. 評価部位は, 臨床的な歯頸部病変および根面う蝕を想定して設定した. 用いた二次元色彩計は, CIEXYZ 等色関数に適応したフィルターを実装しており, 十分な計測精度を有することから, 歯科領域の色調解析においてその有用性が認められているものである⁷⁾.

データ解析にあたっては, 薬剤, 部位, 脱灰, 時間の4要因が色調変化に及ぼす影響を, 線形混合モデルを用いて統合的に評価した. このモデルは, 歯牙間の個体差

に由来する変動をランダム効果として考慮しつつ, 複数要因が関与する交互作用を同時に評価することができる. さらに, 3要因交互作用が有意であったことは, SDF・KI 関連材料の ΔE の経時的変化が, 部位および脱灰の有無によって修飾されることを示しており, 臨床条件を想定した挙動理解の根拠となる.

各群の挙動を比較すると, SDF 単独群では時間の経過とともに著明な色調変化 (ΔE の増大) が認められたのに対し, KI を併用した2群 (SDF+KI 群, Riva Star 群) では, すべての部位において ΔE が有意に低値を示した. これは, 銀イオンとヨウ化イオンの反応によって黄白色のヨウ化銀 (AgI) が形成され, 黒変の原因となる酸化銀の生成が阻害されるという従来の機序を再確認するものである⁸⁾.

Riva Star 群と SDF+KI 群との間に有意差が認められなかったが, 各条件における挙動には微細な差異が観察された. 特に脱灰エナメル質において, SDF+KI 群は塗布直後に高い ΔE を示した後に低下したのに対し, Riva Star 群は初期から安定的に低い値で推移した (Fig. 1). この挙動の差は, 製剤規格による反応比率の最適化が影響している可能性が考えられる. 一般に, 多孔質構造内における沈殿形成プロセスは, 溶質の拡散速度や濃度勾配に依存することが知られている⁹⁾. SDF 溶液と KI 溶液を別々に順次塗布する SDF+KI 群では, 界面での急峻な濃度勾配により, 結晶成長の制御が困難となる場合がある. その結果, 一時的に不均一な沈殿が析出し, それが初期の明度低下や色調変化に寄与した可能性が推察さ

sound

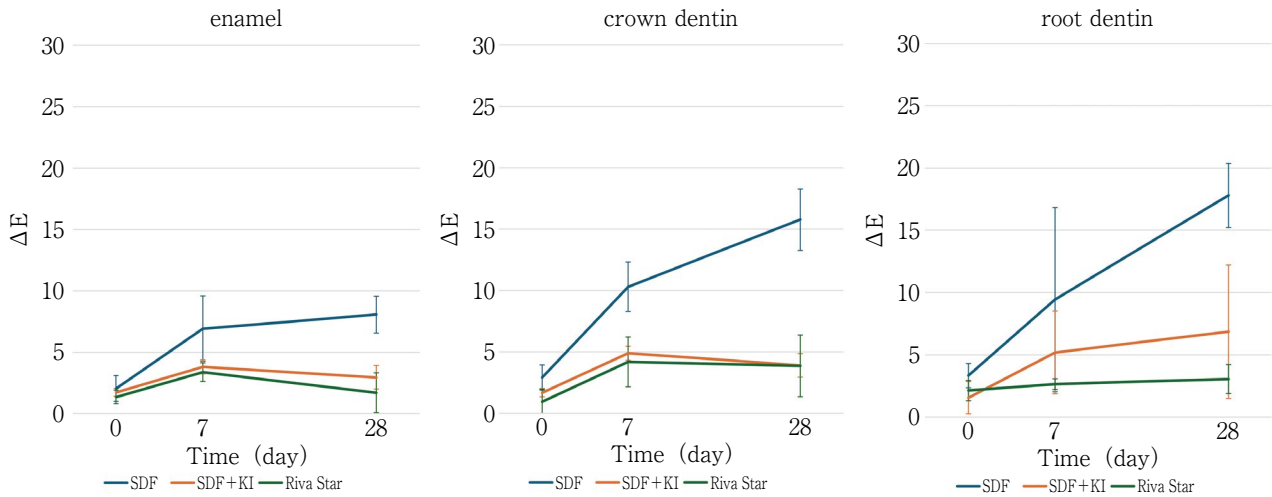


Fig. 1 Comparison of color change (ΔE) among three agents across different tooth substrate and demineralization conditions. Values are expressed as mean \pm standard deviation at each time point.

れる。一方, Riva Star 群は, 銀イオンとヨウ素イオンの比率が製品として調整されており, 反応プロセスを安定させるための製剤的工夫がなされている。これには成分比の最適化に加え, 製品に含まれる安定剤や反応調整剤といった添加物の影響も否定できない。これらの添加物が, 銀イオンとヨウ素イオンの反応速度を調整し, あるいは脱灰歯質の多孔構造内における薬剤の浸透挙動を制御することで, 光散乱を抑えた均一な核形成が促進されたのではないかと考えられる。SDF と KI の反応タイミングや比率が沈殿物の色調に影響を与えるという報告¹⁰⁾を踏まえると, 製剤の物理化学的特性の差が, 特に脱灰歯質において初期の色調安定性の差として現れた一つの要因である可能性がある。また, 脱灰を伴う複雑な歯質構造内における SDF-KI 製剤の浸透性能や化学的安定性については, 細菌学的・組織学的な観点からもその有用

性が示唆されており¹¹⁾, 本研究で認められた Riva Star 群の安定した色調推移は, これらの製剤的工夫が脱灰歯質において最適に機能した結果であると考えられる。

本研究において, 歯冠および歯根象牙質がエナメル質よりも高い ΔE を示したことは, 各組織の解剖学的構造の差異と銀イオンの浸透深度に起因すると考えられる。銀イオンはタンパク質への高い親和性を有しており, I 型コラーゲンを多く含む象牙質のほうが銀が沈着しやすい¹²⁾。象牙質では, 銀イオンが象牙細管を通じて, 20~500 μm 浸透する^{13,14)}のに対して, 滑沢な健全エナメル質では, 銀粒子の保持が困難なため最表層までしか浸透しない¹⁵⁾。そのため象牙質のほうが色調変化が増幅されると推察される。薬剤と部位の交互作用が有意であったことは, 銀イオンとヨウ化イオンの反応は主に表層でしか起きず¹⁶⁾, KI による黒変抑制効果がこれら組織の透過性

や表面性状の影響を強く受けることを示唆している。

脱灰の有無が色調変化に及ぼした影響について、エナメル質においては、脱灰により多孔性が増した歯面では、未処置歯面よりも薬剤の保持量が增大することが報告されている¹⁵⁾。また、象牙質においては、脱灰によりコラーゲンが露出し、銀イオンの沈着が増えることが ΔE の増加の原因と考えられる¹⁷⁾。薬剤×脱灰×時間の交互作用が有意であった事実は、銀イオンの浸透沈着とKIの黒変抑制効果が、健全歯質と脱灰歯質では異なる動態を示す可能性を示している。注目すべきは、グラフが示すとおり、脱灰の有無にかかわらず一定の ΔE の増加が認められた点である。これは、臨床において活動性のう蝕病巣に適用する際、健全な隣接歯面とは異なる色調安定性を示す可能性を考慮すべきであると同時に、健全歯面に誤って薬剤が付着した際にも、歯質の変色が起きることに注意が必要であることを示唆している。

時間経過については、すべての実験条件において0日から7日にかけて ΔE が増加したものの、7日と28日の間には有意差が認められなかった。このことは、SDFとKIの反応、あるいはSDF単独による銀沈殿物の形成が塗布後1週間以内におおむね完結し、その後は中期的に安定した状態で推移することを示している。先行研究では長期的な再発色が懸念されているが¹⁸⁾、ブラッシングにより着色が減ずることも報告されている¹⁹⁾。本研究の28日間という観察期間内においては、KI併用群およびRiva Star群ともに、SDF単独群に比べてきわめて低い ΔE を維持しており、KIおよびRiva Starによる審美性確保の効果が持続することが確認された。

以上の結果から、SDFの最大の課題である歯質の黒変は、KIを併用することで劇的に抑制され、その効果は歯質の部位や脱灰の有無にかかわらず認められた。特に市販製品であるRiva Starは、SDF+KI順次塗布法と比較して全体として同程度の ΔE を示しつつ、一部条件では ΔE の経時的推移がより安定的である傾向が認められた。これは、臨床において術式の簡便性と審美性を両立させる手段として、Riva Starを選択する根拠となりうる。今後は、試料数をさらに増やすとともに、口腔内環境をより精密に模した条件下での長期的な検討が必要である。また、薬剤選択にかかわらず、臨床現場における患者へのインフォームド・コンセントの際には、これらの色調変化の動態に関する十分な説明が必要であると考えられる。

結 論

本実験条件下において、SDF単独塗布は経時的に ΔE が増大し、著明な変色を示した。一方、KI併用（SDF+

KIおよびRiva Star）は、健全歯質および脱灰歯質のいずれにおいてもSDF単独より ΔE を有意に低く抑制し、変色抑制効果が確認された。Riva Starの ΔE はSDF+KIと統計学的に同等であったが、特に脱灰エナメル質では、Riva Star群は塗布直後の ΔE が低く、初期の着色抑制に優れる傾向を示した。これは銀とヨウ素の反応比率の最適化や浸透・反応速度を制御する製剤特性が、 ΔE の初期変化に影響した可能性を示唆する。

本論文に関して、開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) Savas S, Kucukyilmaz E, Celik EU, Ates M. Effects of different antibacterial agents on enamel in a biofilm caries model. *J Oral Sci* 2015; 57: 367-372.
- 2) Gao SS, Zhang S, Mei ML, Lo EC, Chu CH. Caries remineralisation and arresting effect in children by professionally applied fluoride treatment—a systematic review. *BMC Oral Health* 2016; 16: 12.
- 3) 山賀禮一, 横溝一郎. 乳歯う蝕の進行抑制とフッ化アンモニア銀. 歯界展望. 1969; 33: 1007-1013.
- 4) 日本歯科保存学会. 根面う蝕の診療ガイドライン: 非切削でのマネジメント. 1版. 永末書店: 京都; 2022. 38-45.
- 5) Crystal YO, Janal MN, Hamilton DS, Niederman R. Parental perceptions and acceptance of silver diamine fluoride staining. *J Am Dent Assoc* 2017; 148: 510-518. e514.
- 6) Xu GY, Yin IX, Zhao IS, Lung CY, Lo EC, Chu CH. Minimizing tooth discoloration caused by topical silver diamine fluoride application: A systematic review. *J Dent* 2024; 150: 105353.
- 7) Kano Y, Nakajima M, Aida A, Seki N, Foxton RM, Tagami J. Influence of enamel prism orientations on color shifting at the border of resin composite restorations. *Dent Mater J* 2018; 37: 341-349.
- 8) Knight GM, McIntyre JM, Mulyani. The effect of silver fluoride and potassium iodide on the bond strength of auto cure glass ionomer cement to dentine. *Aust Dent J* 2006; 51: 42-45.
- 9) Putnis A. Mineral replacement reactions: from macroscopic observations to microscopic mechanisms. *Mineral Mag* 2002; 66: 689-708.
- 10) Zhao IS, Mei ML, Burrow MF, Lo EC, Chu CH. Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide treatment on secondary caries prevention and tooth discoloration in cervical glass ionomer cement restoration. *Int J Mol Sci* 2017, 18, 340.
- 11) Hamama HH, Yiu CK, Burrow MF. Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide on residual bacte-

- ria in dentinal tubules. *Aust Dent J* 2015; 60, 80-87.
- 12) Sayed M, Matsui N, Uo M, Nikaido T, Oikawa M, Burrow MF, Tagami J. Morphological and elemental analysis of silver penetration into sound/demineralized dentin after SDF application. *Dent Mater* 2019; 35: 1718-1727.
 - 13) Li Y, Liu Y, Psoter WJ, Nguyen OM, Bromage TG, Walters MA, Hu B, Rabieh S, Kumararaja FC. Assessment of the silver penetration and distribution in carious lesions of deciduous teeth treated with silver diamine fluoride. *Caries Res* 2019; 53: 431-440.
 - 14) Kiesow A, Menzel M, Lippert F, Tanzer JM, Milgrom P. Dentin tubule occlusion by a 38% silver diamine fluoride gel: an in vitro investigation. *BDJ Open* 2022; 8: 1.
 - 15) Kaur M, Anderson P, Shahid S, Davis GR, Mills D, Wong FSL. Effects of silver diammine fluoride with/without potassium iodide on enamel and dentin carious lesions in primary teeth. *Front Oral Health* 2024; 5: 1465956.
 - 16) Fahim Z, Hosseini H, Hekmatfar S. Penetration of silver diamine fluoride with and without potassium iodide in carious lesions: An in vitro study. *Open Dent J* 2026; 20: e18742106400027.
 - 17) Sayed M, Matsui N, Hiraishi N, Inoue G, Nikaido T, Burrow MF, Tagami J. Evaluation of discoloration of sound/demineralized root dentin with silver diamine fluoride: In-vitro study. *Dent Mater J* 2019; 38: 143-149.
 - 18) Li R, Lo EC, Liu BY, Wong MC, Chu CH. Randomized clinical trial on arresting dental root caries through silver diammine fluoride applications in community-dwelling elders. *J Dent* 2016; 51: 15-20.
 - 19) Sayed M, Tsuda Y, Matin K, Abdou A, Martin K, Burrow MF, Tagami J. Effects of mechanical abrasion challenge on sound and demineralized dentin surfaces treated with SDF. *Sci Rep* 2020; 10: 19884.

Inhibitory Effect of Potassium Iodide on Tooth Discoloration Induced by Silver Diamine Fluoride in Sound and Demineralized Tooth Substrates: A Multifactorial Analysis Using a Linear Mixed Model

TSUDA Yuka, TAKAHASHI Rena, TAKAHASHI Motoi,
MINATO Yousuke and SHIMADA Yasushi

Department of Cariology and Operative Dentistry, Division of Oral Health Sciences,
Graduate School of Medical and Dental Sciences, Institute of Science Tokyo

Abstract

Purpose: This study aimed to evaluate tooth discoloration (ΔE) over time after application of silver diamine fluoride (SDF), sequential SDF plus potassium iodide (SDF+KI), or a commercially available SDF/KI desensitizer (Riva Star) on sound and demineralized enamel, crown dentin, and root dentin.

Methods: Specimens of enamel, crown dentin, and root dentin were prepared from 24 extracted sound human premolars and incisors. Specimens were assigned to either a sound or demineralized condition and then allocated to one of three agents: SDF, SDF+KI, or Riva Star. Color ($L^*a^*b^*$) was measured before application (baseline), immediately after application (day 0), and at 7 and 28 days using a two-dimensional color analyzer (RC500). ΔE from baseline was calculated. A linear mixed-effects model was used with ΔE as the dependent variable; agent, tooth site, demineralization, and time were included as fixed effects, and tooth ID was included as a random intercept. Type III tests were performed, and post hoc comparisons were conducted using estimated marginal means with Bonferroni correction ($\alpha=0.05$).

Results: Significant three-way interactions were found for Agent \times Site \times Time and Agent \times Demineralization \times Time ($p<0.05$). The SDF group showed a marked increase in ΔE over time. In contrast, the KI-supplemented groups (SDF+KI and Riva Star) exhibited significantly lower ΔE than SDF ($p<0.05$). No significant overall difference was detected between SDF+KI and Riva Star ($p>0.05$), although their ΔE time-course patterns differed under some conditions. No significant change in ΔE was observed between 7 and 28 days in any group ($p>0.05$).

Conclusion: SDF alone caused increased discoloration over time, whereas SDF+KI and Riva Star significantly reduced discoloration in both sound and demineralized tooth substrates. Riva Star was comparable to SDF+KI, while small differences in ΔE over time were observed under some conditions.

Key words: silver diamine fluoride, discoloration, potassium iodide, silver diamine fluoride and potassium iodide formulation

Corresponding author: TAKAHASHI Rena, Department of Cariology and Operative Dentistry, Division of Oral Health Sciences, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Institute of Science Tokyo, 5-45, Yushima 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8510, Japan

TEL: +81-3-5803-5483, FAX: +81-3-5803-0195, E-mail: rtakahashi.ope@tmd.ac.jp

Received for Publication: January 15, 2026/Accepted for Publication: March 16, 2026

ダイオードレーザー照射におけるインドシアニンググリーン併用下の 組織透過性および温度変化

赤羽根 広 大 平 石 典 子 湊 洋 祐
橘 高 領 島 田 康 史

東京科学大学大学院医歯学総合研究科 口腔機能再構築学講座 う蝕制御学分野

抄録

目的：ダイオードレーザーは口腔軟組織治療に広く応用されている一方、硬組織に対する影響については十分な検証がなされていない。本研究では、ダイオードレーザー照射時の光透過性、温度上昇および組織表面変化を基礎的に評価し、インドシアニンググリーン（ICG）併用の影響について検討することを目的とした。

材料と方法：波長810 nmのダイオードレーザー（Sheep810, UNITAC）をcontinuous waveモードで使用した。試料としてガラススライド、厚さ1 mmのウシ歯象牙質、および厚さ1~4 mmの豚肉を用いた。レーザー透過性はパワーメーターにより測定し、温度変化は放射温度計を用いて評価した。さらに、光干渉断層計（OCT）を用いてレーザー照射前後の組織表面変化を観察した。各実験はICG併用の有無で比較した。統計解析にはKruskal-Wallis検定およびMann-Whitney U検定を用い、有意水準は $p < 0.05$ とした。

成績：ダイオードレーザーは硬組織および軟組織のいずれにおいても一定の透過性を示したが、ICG併用下では透過率は約1.1%と著しく低下した。温度評価では、ICG非併用群では表面温度上昇は限定的であったのに対し、ICG併用群では出力増加に伴い有意な温度上昇が認められた。OCT観察では、ICG併用群および非併用群のいずれにおいても、照射前後で歯質表層に顕著な変化は認められなかった。

結論：ICGの併用はダイオードレーザーの光透過性および熱的影響に大きく関与し、照射エネルギーを表層に選択的に集中させることが可能であることが示唆された。

キーワード：ダイオードレーザー、インドシアニンググリーン、光透過性

責任著者連絡先：平石典子

〒113-8549 東京都文京区湯島1-5-45 東京科学大学大学院医歯学総合研究科口腔機能再構築学講座う蝕制御学分野

TEL : 03-5803-5483, FAX : 03-5803-0195, E-mail : hiraishi.ope@tmd.ac.jp

受付：2026年1月15日/受理：2026年3月27日

DOI : 10.11471/shikahozon.69.152

緒言

歯科治療においてレーザー機器は近年広く普及してきており、臨床応用は歯周治療、口腔外科処置を含む多領域に及んでいる¹²⁾。歯科領域では、波長特性の異なる各種レーザーが目的に応じて使用されている。そのなかでもダイオードレーザーは、比較的小型で取り扱いやすく、臨床現場で導入されやすいレーザー機器の一つとして位置づけられている^{3,4)}。ダイオードレーザーは、組織凝固、蒸散などの特性を有しており、口腔軟組織手術での切開や止血においても有用性が報告されている³⁻⁵⁾。また歯周治療領域においても、スケーリング・ルートプレーニングに併用する補助療法として、ダイオードレーザーを評価したシステマティックレビューやメタアナリシスが報告されている⁶⁻⁸⁾。しかし、臨床研究の設計や照射条件の不均一性などにより、解釈には注意を要する点も指摘されている⁶⁾。

一方、現行の薬事承認上、ダイオードレーザーの使用は主として軟組織処置に限定されており、硬組織への照射は適応外である。しかしながら、歯肉溝内照射や歯肉縁下組織へのレーザー照射を行う際、意図せず隣接する歯や歯根面など硬組織にレーザー光が到達する可能性は否定できない⁹⁾。その際の熱的影響や表面変化を含む安全性評価は、臨床的観点から重要な検討課題である^{10,11)}。

インドシアニングリーン (indocyanine green : ICG) は、近赤外領域に吸収帯を有し (吸収ピークはおおむね 790~805 nm)、臨床的に広く用いられてきた色素である^{12,13)}。ICG は近赤外蛍光イメージングの造影剤として画像誘導手術など多領域で応用されており、その臨床応用に関する総説も多数存在する¹³⁻¹⁵⁾。さらに、ICG を光感受性物質として用いた歯周治療領域の抗菌的光線力学療法についても、系統的レビュー・メタアナリシスが報告されている¹⁶⁾。これらの知見から、ICG をレーザー照射に併用することで光の透過やエネルギー分布を制御し、照射エネルギーを局所に集中させうる可能性がある。

そこで本研究では、ダイオードレーザー照射時の光透過性、温度上昇および組織表面変化を基礎的に評価し、硬組織にレーザーが照射された際の安全性を検討するとともに、ICG 併用の影響について検討することを目的とした。

材料および方法

1. レーザー装置および測定機器

レーザー装置には、波長 810 nm のダイオードレーザー (Sheep810, UNITAC) を使用した。レーザー照射

は continuous wave (連続波, CW) モードで行った。プローブには直径 7 mm の止血凝固用プローブ (UNITAC) を用い、すべて非接触条件で照射した。レーザー透過量の測定にはパワーメーター (PowerMax USB-LM-3, Coherent, USA) を使用した。温度測定には放射温度計 (TMHX-CSE0500-0040H0.7-000, Japan Sensor) を用いた。組織表面の観察には swept-source optical coherence tomography (OCT, IVS-2000, Santec) を使用した。本装置は中心波長 1,319 nm、掃引レート 20 kHz であり、軸方向分解能は 11 μm 、横方向分解能は 37 μm である。OCT は歯科領域において、硬組織および軟組織の表面性状を非破壊的に評価可能な手法として報告されている^{17,18)}。

2. インドシアニンググリーン (ICG)

色素にはインドシアニンググリーン (ICG, ジアノグリーン注射用製剤, 第一三共) を用いた。ICG は近赤外領域 (約 790~805 nm) に吸収ピークを有し、臨床的に広く使用されている医療用色素である¹²⁻¹⁴⁾。ICG 溶液は添付文書に従って調製し、各試料表面に 0.04 mL を滴下した。

3. 試料

レーザー透過性および温度評価に用いるウシ歯は、芝浦臓器より研究用として購入した。購入後は -20°C で冷凍保存し、使用前に室温にて自然解凍した。保存期間は購入後 3 カ月以内とした。これらの試料は市販の研究用材料であり、ヒト由来試料を含まないため、本研究は倫理審査を必要としない。ウシ歯象牙質ブロックは、ウシ歯より精密切断装置 (ISOMET, Buehler, USA) を用いて 10×10×1.0 mm に切り出し、象牙質表面が平坦となるよう耐水研磨紙 #1600 まで研磨した。豚肉試料は、市販の豚筋組織 (食品用) をスーパーにて実験当日に購入し使用した。購入後は 4°C で冷蔵保存し、使用前に所定の厚さ (1~4 mm) に調整した。

4. レーザー透過性測定

レーザー光の透過量をパワーメーターにより定量評価する手法は、レーザー基礎研究および生体組織光学研究において一般的に用いられている^{19,20)}。レーザー透過性の評価では、スライドガラス (76×26×1.0 mm, 松波硝子工業) を透過するレーザー光量を 100% と定義し、各試料における透過率 (%) を算出した。なお、スライドガラスにおいては、透過率を算出する基準条件として、スライドガラス単体およびスライドガラス上に Milli-Q 水を滴下した条件を設定した。

試料は、以下の群で比較した。

- 1) スライドガラス
- 2) ウシ歯象牙質 (厚さ 1 mm)
- 3) 豚肉 (厚さ 1, 2, 3, 4 mm)

すべての試料について、ICG 非併用条件および ICG 併

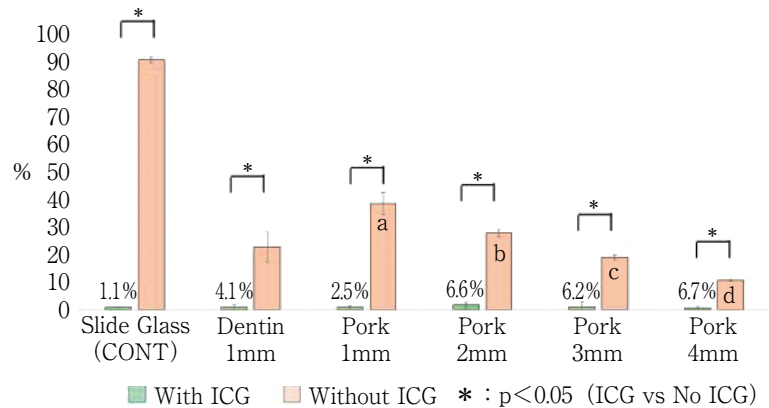


Fig. 1 Laser transmittance through different materials

The laser transmittance was evaluated using a power meter. Transmittance through a glass slide was defined as 100%. Significant reduction in laser transmittance was observed in all samples with indocyanine green (ICG) application ($p < 0.05$). Values are presented as mean \pm standard deviation ($n = 10$)

用条件で比較した。ICG 併用条件では、調製した ICG 溶液を各試料表面に 0.04 mL 滴下した。

各群の試料数は $n = 10$ とし、照射時間は 12 秒とした。実験は蛍光灯下、室温 25°C の環境で行った。パワーメーターは試料直下に設置し、レーザーは試料直上に固定した。統計解析には、得られるデータの非正規性を考慮して、多群比較に Kruskal-Wallis 検定を、各試料条件における ICG 併用の有無の 2 群比較に両側 Mann-Whitney U 検定を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

5. 温度上昇測定

レーザー照射による温度変化の評価には、厚さ 1 mm のウシ歯象牙質ブロックを用い、ICG 併用群および非併用群で比較した。照射条件は以下のとおりである。

レーザー出力：1.0~3.0 W (0.5 W 刻み)

照射モード：CW

照射距離：2 mm (非接触)

照射時間：12 秒

温度測定には放射温度計 (TMHX-CSE0500-0040H0.7-000) を用い、試料中央部を垂直方向から測定した。象牙質ブロックの作製および研磨条件は、透過性実験と同一とした。各出力ごとに試料を ICG 併用群および非併用群それぞれ 10 試料 ($n = 10$) で測定した。各試料は 1 回のみ照射し、照射中に記録された最大温度上昇値を代表値とした。

各測定値は平均 \pm 標準偏差で示し、統計解析には、群比較に Kruskal-Wallis 検定を、各出力条件における ICG 併用の有無の 2 群比較に両側 Mann-Whitney U 検定を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

6. OCT 観察

OCT を用いて、レーザー照射前後の組織表面変化を非破壊的に観察し、ICG 併用の有無による差を比較した。照射条件は以下のとおりである。

レーザー出力：3.0 W

照射モード：CW

照射距離：2 mm (非接触)

照射時間：12 秒

OCT 観察は照射前後で同一部位を撮影し、表層の OCT 断面像 (表層形態および反射傾向の確認) を評価した。

結 果

1. レーザー透過性

透過率は平均 \pm 標準偏差で示した。

レーザー透過性の評価において、ダイオードレーザーは硬組織および軟組織のいずれに対しても一定の透過性を示した (Fig. 1)。一方、ICG を滴下した群では透過率が著しく低下し、透過率は約 1.1% ときわめて低値を示した。ICG の有無で比較したところ、すべての試料において ICG 併用群は非併用群に比べ透過率が有意に低かった ($p < 0.05$)。さらに、豚肉試料を厚さ別に比較したところ、試料の厚さにより透過率は段階的に低下する傾向を示した。厚さ 1, 2, 3, 4 mm の各群間において、いずれも有意な差が認められ ($p < 0.05$)、組織の厚みがレーザー光の透過性に影響を及ぼすことが示された。

2. 温度上昇

温度上昇は平均 \pm 標準偏差で示した。

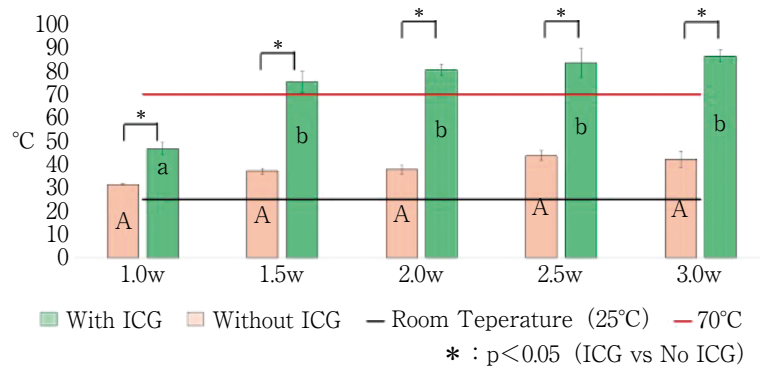


Fig. 2 Surface temperature changes of bovine dentin during diode laser irradiation

Temperature changes were measured under different laser power settings with and without ICG. The ICG-applied group showed significantly higher temperature increases at all power levels compared with the non-ICG group ($p < 0.05$). The black line indicates room temperature, and the red line (70°C) represents a reference temperature at which thermal alteration of biological tissues may occur. Values are presented as mean \pm standard deviation ($n = 10$).

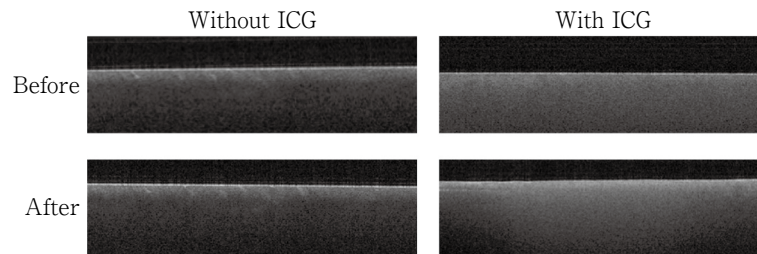


Fig. 3 Optical coherence tomography (OCT) images of bovine dentin before and after laser irradiation

Representative OCT images show no marked differences in surface structure between the non-ICG group and the ICG-applied group after laser irradiation. Under the present irradiation conditions, no pronounced surface alterations were observed. The x-axis was standardized to 5 mm across all figures.

レーザー照射による温度変化の結果を、Fig. 2に示す。ICGを使用していない群では、レーザー出力を増加させても表面温度の上昇はおおむね30~50°C程度にとどまった。

一方、ICGを添加した群では、レーザー出力の増加に応じて段階的な温度上昇が認められた。各出力条件においてICGの有無を比較したところ、すべての条件でICG併用群のほうが有意に高い温度上昇を示した($p < 0.05$)。なお、ICG併用群では1.5 W以上の出力条件で表面温度が70°Cを超え、3.0 Wでは80°C以上に達した。

3. OCT 観察

OCTによる観察結果を、Fig. 3に示す。ICGを使用していない群では、レーザー照射前後で象牙質表面に明ら

かな変化は認められなかった。

一方、ICGを併用した群でも今回の条件設定では、OCT断面像からは歯質表面性状に著明な変化はみられなかった。また、反射強度の傾向についても両群間で顕著な差異は認められなかった。

考 察

本研究により、ダイオードレーザーは硬組織および軟組織のいずれにおいても一定の透過性を有することが示された。この結果は、近赤外領域のレーザー光が生体組織中を一定程度透過するという既報の知見と整合する¹⁶⁻¹⁸⁾。一方、ICGを併用することでレーザー光の透過

が著しく抑制され、照射エネルギーが表層に集中することが明らかとなった。ICGは近赤外光を効率的に吸収し、光エネルギーを熱エネルギーへ変換する特性を有することが報告されており¹¹⁻¹³⁾、本研究の結果はこれらの基礎的知見と一致している。

温度上昇の結果から、ICG併用により局所的な温度上昇が生じることが示された。レーザー照射に伴う温度上昇と歯髄・硬組織への影響についてはこれまでも検討されており^{19,20)}、本研究は表面温度評価に限定されるものの、レーザー照射条件および吸収体の有無が温度挙動に影響を及ぼすことを示す結果と考えられる。本研究では、ICG併用群において1.5 W以上の出力条件で表面温度が70°Cを超え、3.0 Wでは80°C以上に達する条件も認められた。一般に60~70°C以上では生体タンパク質の変性が生じることが知られており、さらに高温では歯牙に炭化や微細クラックの形成などの熱的損傷が生じる可能性がある。本研究におけるOCT観察では顕著な表層構造変化は確認されなかったものの、高出力条件下では表面の過度な加熱が生じうる点には注意が必要である。

一方で、ICG併用によりレーザーエネルギーの深部透過が抑制される可能性が示されたことは、歯髄など深部組織への熱影響を軽減するという利点を有する。すなわち、ICGはエネルギーを表層に集中的に吸収させることで透過を抑制する一方、表面温度の上昇を伴う可能性がある。そのため、ICG併用下でのレーザー照射においては、出力および照射時間を適切に制御し、過度な表層加熱を避けることが重要である。

OCT観察においては、ICGの併用にかかわらず、表層構造および反射強度の著明な変化は確認されなかった。OCTは歯科領域において齲蝕、歯質欠損、クラックなどの評価に有用であることが報告されており^{21,22)}、本研究においてもレーザー照射による歯質表層に著明な変化がないことを非破壊的に確認することが可能であった。一方で、ICGを使用しない条件では、レーザー光が歯質を透過することが本研究の透過性評価から示されており、表層に明らかな変化が認められなかった場合であっても、表層下組織への影響については注意が必要と考えられる。これに対し、ICGを併用した条件では、パワーメーターによる測定結果からレーザー光の透過が著しく抑制されており、表層下組織へレーザーが到達する可能性は低いものと推察される。ただし、これらの変化が組織学的にどのような変化に対応するかについては、本研究の範囲では明らかではなく、今後の検討が必要である。

結 論

ICGの併用はダイオードレーザーの光透過性および熱

的影響に大きく関与し、照射エネルギーを選択的に制御できる可能性が示された。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない

文 献

- 1) Sachelarie L, Cristea R, Burlui E, Hurjui LL. Laser technology in dentistry: from clinical applications to future innovations. *Dent J (Basel)*. 2024; 12: 420.
- 2) Grzech-Leśniak K. Lasers in dentistry—Overview based on FDI policy statement. *Int Dent J* 2026; 76: 109369.
- 3) Borzabadi-Farahani A. The adjunctive soft-tissue diode laser in orthodontics. *Compend Contin Educ Dent* 2017; 38: e18-e31.
- 4) Azma E, Safavi N. Diode laser application in soft tissue oral surgery. *J Lasers Med Sci* 2013; 4: 206-211.
- 5) Elanchezhiyan S, Renukadevi R, Vennila K. Comparison of diode laser-assisted surgery and conventional surgery in the management of hereditary ankyloglossia in siblings: a case report with scientific review. *Lasers Med Sci* 2013; 28: 7-12.
- 6) Yu S, Zhao X, Zhang Y, Liu Y, Li A, Pei D. Clinical effectiveness of adjunctive diode laser on scaling and root planing in the treatment of periodontitis: is there an optimal combination of usage mode and application regimen? A systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci* 2022; 37: 759-769.
- 7) Theodoro LH, Marcantonio RAC, Wainwright M, Garcia VG. LASER in periodontal treatment: is it an effective treatment or science fiction? *Braz Oral Res* 2021; 35: e099.
- 8) Hu Q, Liu X, Zhao Z, Guo Z, Liu Q, Liu N. Clinical efficacy and pain control of diode laser-assisted flap surgery in the treatment of chronic periodontitis: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon* 2024; 10: e33510.
- 9) Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA, Mizutani K, Sasaki KM, Izumi Y. Application of lasers in periodontics: true innovation or myth? *Periodontol* 2000 2009; 50: 90-126.
- 10) Muraleedharan S, Tripathy K. Indocyanine Green (ICG) Angiography. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK580479/> (cited 2026. 4. 10).
- 11) Schaafsma BE, Mieog JS, Hutteman M, van der Vorst JR, Kuppen PJ, Löwik CW, Frangioni JV, van de Velde CJ, Vahrmeijer AL. The clinical use of indocyanine green as a near-infrared fluorescent contrast agent for image-guided oncologic surgery. *J Surg Oncol* 2011; 104: 323-332.
- 12) Alander JT, Kaartinen I, Laakso A, Pätälä T, Spillmann T, Tuchin VV, Venermo M, Välisuo P. A review of indo-

- cyanine green fluorescent imaging in surgery. *Int J Biomed Imaging* 2012; 2012: 940585.
- 13) Chen WR, Adams RL, Higgins AK, Bartels KE, Nordquist RE. Photothermal effects on murine mammary tumors using indocyanine green and an 808-nm diode laser: an in vivo efficacy study. *Cancer Lett* 1996; 98: 169-173.
 - 14) Bashir NZ, Singh HA, Virdee SS. Indocyanine green-mediated antimicrobial photodynamic therapy as an adjunct to periodontal therapy: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2021; 25: 5699-5710.
 - 15) Wiench R, Fiegler-Rudol J, Latusek K, Brus-Sawczuk K, Fiegler H, Kasperski J, Skaba D. Indocyanine green as a photosensitizer in periodontitis treatment: A systematic review of randomized controlled trials. *Life (Basel)* 2025; 15: 1015.
 - 16) Jacques SL. Optical properties of biological tissues: a review. *Phys Med Biol* 2013; 58: R37-61.
 - 17) Pacheco RR, Garcia-Flores AF, Lesseux GG, Lancelotti A, Rettori C, Urbano RR, Giannini M, Rueggeberg FA. Comparison of blue and infrared light transmission through dental tissues and restorative materials. *Oper Dent* 2024; 49: 300-310.
 - 18) Guiselini MJ, Deana AM, Mascaro MB, Mesquita-Ferrari AA, da Mota AC, Bussadori SK, França CM, Fernandes KP. Evaluation of effective transmission of light through alveolar bone: A preliminary study. *J Lasers Med Sci* 2016; 7: 159-162.
 - 19) Penn C, Beninati C, Mariano A, Dooley D, Harsono M, Perry R, Kugel G. Thermal effects on pulp due to laser and handpiece usage. *Compend Contin Educ Dent* 2014; 35: e41-44.
 - 20) Oelgiesser D, Blasbalg J, Ben-Amar A. Cavity preparation by Er-YAG laser on pulpal temperature rise. *Am J Dent* 2003; 16: 96-98.
 - 21) Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Application of optical coherence tomography (OCT) for diagnosis of caries, cracks, and defects of restorations. *Curr Oral Health Rep* 2015; 2: 73-80.
 - 22) Shimada Y, Yoshiyama M, Tagami J, Sumi Y. Evaluation of dental caries, tooth crack, and age-related changes in tooth structure using optical coherence tomography. *Jpn Dent Sci Rev* 2020; 56: 109-118.

Fundamental Investigation of Optical Transmittance, Temperature Rise, and Tissue Heating Effects Induced by Diode Laser Irradiation

AKABANE Kodai, HIRAISHI Noriko, MINATO Yosuke, KITAKA Ryo and SHIMADA Yasushi

Department of Cariology and Operative Dentistry, Division of Oral Health Sciences,
Graduate School of Medical and Dental Sciences, Institute of Science Tokyo

Abstract

Purpose: Diode lasers have been widely used in oral soft tissue procedures because of their favorable hemostatic and coagulative properties. However, the effects of diode laser irradiation on hard tissues have not been sufficiently investigated. In clinical situations, laser irradiation applied to the gingival sulcus or subgingival areas may unintentionally reach adjacent hard tissues. The purpose of this study was to evaluate laser transmittance, temperature changes, and surface alterations in hard and soft tissues following diode laser irradiation, and to clarify the influence of indocyanine green (ICG) as an optical absorber.

Methods: A diode laser with a wavelength of 810 nm (Sheep810, UNITAC, Japan) was used in continuous wave (CW) mode. Glass slides, bovine dentin specimens (1 mm thick), porcine gingiva (1 mm thick), and porcine muscle tissues (1-4 mm thick) were prepared. Laser transmittance was measured using a power meter placed beneath each specimen. Surface temperature changes of bovine dentin were recorded using an infrared thermometer at laser outputs ranging from 1.0 to 3.0 W with an irradiation time of 12 s. Optical coherence tomography (OCT) was employed to non-destructively observe surface structural changes before and after irradiation. All experiments were performed with and without ICG application. Statistical analysis was conducted using the Kruskal-Wallis test followed by the Mann-Whitney *U* test, with a significance level set at $p < 0.05$.

Results: The diode laser showed measurable transmittance through both hard and soft tissues. However, when ICG was applied, laser transmittance was significantly reduced to approximately 1.1% in all specimens ($p < 0.05$). In the temperature evaluation, specimens without ICG exhibited limited surface temperature increases, whereas specimens treated with ICG demonstrated significantly higher temperature elevations in a laser output-dependent manner. OCT observations revealed no marked structural alterations in either ICG-treated or non-treated specimens under the present irradiation conditions.

Conclusion: The presence of ICG markedly influenced laser transmittance and thermal effects during diode laser irradiation. The application of ICG effectively reduced laser penetration and enabled selective concentration of thermal energy at the tissue surface. These findings suggest that ICG may be a useful adjunct for controlling the safety and selectivity of diode laser irradiation, and may contribute to future applications in minimally invasive caries treatment.

Key words: diode laser, indocyanine green, laser transmittance

Corresponding author: HIRAISHI Noriko, Department of Cariology and Operative Dentistry, Division of Oral Health Sciences, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Institute of Science Tokyo, 5-45, Yushima, 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8549, Japan

TEL: +81-3-5803-5483, FAX: +81-3-5803-0195, E-mail: hiraishi.ope@tmd.ac.jp

Received for Publication: January 15, 2026/Accepted for Publication: March 27, 2026

日本歯科保存学会 市民公開フォーラム

2025年度の市民公開フォーラムは、2月に横浜市、3月に福岡市で開催され、学会活動の成果を一般市民へ伝えることが叶った。なお2026年度についても開催が予定されており、検討中である。

(学術委員長 河野 哲)

・「健康なお口で美味しく楽しく」(横浜市開催)

2026年2月18日(水) 13:00~14:30

鶴見医師歯科医師会館

(横浜市鶴見区鶴見1-16-5)

実行委員会：鶴見大学歯学部保存修復学講座

実行委員長：山本雄嗣

参加人数：25名

今回の市民公開フォーラムでは、超高齢社会の現代において生涯食事を美味しく楽しんで食べるためにはどのようなすればよいか、何をすればよいか、という課題を挙げ、この課題に対して、口腔領域を健康に保つことの重要性を説明し、自分自身が日常で行えること、また、そのために地域歯科医療に携わる歯科医師が行っている活動内容について講演しました。

講師

1. 佐藤信二 ((一社)横浜市歯科医師会会長)
2. 山本雄嗣 (鶴見大学歯学部保存修復学講座教授)

講演では、はじめに口腔の働きや機能について説明し、加齢によってもたらされる口腔の老化現象について示しました。老化現象に伴い起こる口腔内のトラブルの例に歯科疾患を挙げ、具体的に根面齲蝕などの齲蝕、歯周病および粘膜疾患について参加者にわかりやすく、視覚素材や資料を用いて解説しました。これら歯科疾患の原因には、口腔内の細菌が深くかかわっており、この口腔内の細菌が、誤嚥性肺炎や糖尿病などの全身疾患にも関連していると報告されていることを参加者に周知しました。疾患を予防するためには、口腔内の細菌をコント

ロールする必要があると、日常の口腔清掃が最も重要であることを改めて強調しました。また、歯科疾患の予防には唾液が重要な役割を担っていることについても示し、その働きについて解説しました。加齢によって唾液分泌量は低下するため、唾液の分泌を促すには何をすればよいか、唾液腺マッサージや舌運動の方法を実演し参加者とともに練習しました。食事を美味しく、楽しく摂るためには、口腔内だけでなく、咀嚼筋や表情筋の老化を防ぐことも重要であるため、顔面体操についても実演し参加者に実施を促しました。顔面体操を行い参加者は笑顔のまま、盛況のうちに講演を終了しました。その後、質疑応答が行われ、地域住民の皆様から口腔の健康にかかわるたくさんのご質問を頂戴し、皆様が口腔の健康に強い関心をもたれている様子が窺われました。

最後に本公開市民フォーラムを開催するにあたりご後援いただきました(一社)横浜市歯科医師会、鶴見区役所および鶴見区歯科医師会各位に厚く御礼申し上げます。

(山本 記)



・口から健康寿命を延ばそう！

—根面むし歯から全身の健康まで—（福岡市開催）

2026年3月18日（水）13：30～15：30

九州大学病院キャンパス 第2薬局棟2階大会議室
（福岡市東区馬出3-1-1）

実行委員会：九州大学大学院歯学研究院総合診療歯科
学分野

実行委員長：和田尚久

参加者数：61名

今回の市民公開フォーラムでは、「口から健康寿命を延ばそう！—根面むし歯から全身の健康まで—」をテーマに、高齢化に伴い増加している根面う蝕に焦点を当て、その成り立ちや予防、さらにはう蝕を放置した場合に生じる歯髄炎・根尖性歯周炎について解説するとともに、口腔の健康と全身の健康との関わりについて理解を深めていただくことを目的として開催しました。3名の講師がそれぞれの専門の立場から講演を行い、講演後には参加者との意見交換（パネルディスカッション）を実施しました。

講演演題および講師

1. 「根面むし歯ってなに？—いつまでも自分の歯で過ごすために—」

松崎英津子（福岡歯科大学口腔治療学講座歯科保存学
分野教授、日本歯科保存学会う蝕治療ガイドライン

作成小委員会委員長）

2. 「外から見えない歯の根の話—あなたの大切な歯のために—」

御手洗裕美（九州大学病院口腔総合診療科助教）

3. 「No More むし歯！—正しく予防できていますか？—」

有水智香（九州大学病院医療技術部歯科衛生室主任）

当日は雨が降るあいにくの天気でしたが、福岡県内外より60名を超える参加者を迎えることができました。冒頭では、日本歯科保存学会が「う蝕（虫歯）」「歯髄炎・根尖性歯周炎（歯の神経と根の病気）」「歯周病（歯槽膿漏）」の治療および予防に関する研究を通じ、国民がいつまでも自分の歯で噛めるように維持・保存し機能させていくことを目的とした学術団体であることを紹介しました。続いて、3名の講師よりそれぞれ30分間の講演が行われました。講演中は、多くの参加者が熱心に聞き入っている様子で、メモをとる姿が見受けられました。講演後の質疑応答では多数の質問が寄せられ、口腔の健康に関する関心の高さが窺えました。ご参加いただいた市民の皆様に深く御礼申し上げます。

最後になりましたが、本市民公開フォーラムの開催にあたりご後援をいただきました、ライオン歯科材株式会社様および九州大学病院口腔総合診療科同門会に厚く御礼申し上げます。

（和田 記）



日本歯科保存学雑誌投稿規程

1. この学術雑誌は、研究成果の論文発表による発信を通して、歯科保存学（保存修復学、歯内療法学、歯周病学）の発展に寄与することを目的としている。そのため、歯科保存学の基礎、臨床、教育ならびに歯科保存学を基盤とした歯科医学全般に関する論文を掲載する。
2. 論文の種類は、原則として原著論文（独創性がある研究の成果に関するもの）、総説（歯科保存学に関する争点を整理して今後の方向性を示唆しようとするもの、あるいは既発表論文の内容をまとめて新たな概念を提唱しようとするもの）、ミニレビュー（歯科保存学に関する最近のトピックを総説形式で簡潔にまとめたもので、各賞の受賞論文を含む）、症例・臨床報告（歯科保存学領域から広く歯科医療の実践と発展に有用となる臨床の記録）の4種に分類する。なお、総説とミニレビューは、編集委員会からの依頼によるものと投稿によるものとに分ける。
3. 原著論文および症例・臨床報告の内容は、過去に他誌に掲載されたり、現在投稿中あるいは掲載予定でないものに限る。
4. 論文の採否は、査読を経て決定する（編集委員会からの依頼によるものを除く）。
5. 投稿原稿は、日本語または英語で簡潔に記述されたものとする。
6. 原著論文の形式は、原則として和文（英文）抄録、緒言、材料および方法、結果あるいは成績、考察、結論、文献、英文（和文）抄録の順に記載する。原著論文以外の論文も、原則としてこれに準ずる。
7. 本誌の発行は、原則として2月、4月、6月、8月、10月および12月に行う。6月および12月には英文誌“Operative Dentistry, Endodontology and Periodontology”として発行する。また、必要があれば増刊する。
8. 筆頭著者が会員の場合のみ、一定額の掲載料補助を行う。また、筆頭著者が会員であるが共著者に非会員が含まれる場合については、掲載料補助は行われるが非会員の人数に応じて別途負担金を求める。なお、図表・写真などの実費、発送および別刷にかかわる費用、J-STAGE 登載用データ作成代は、著者負担とする。ただし、編集委員会からの依頼によるものは除くものとする。
9. 論文投稿票は、最新のものを用い、投稿原稿に必ず添付する。
10. 受付日は、投稿原稿が学会事務局へ到着した日付とする。また、受理日は、査読担当者から採択可と判定された日付とする。
11. 掲載順序は、受理順とする。なお、採択論文の掲載証明は希望がある場合に発行する。
12. 論文投稿はE-mail 投稿または学会ホームページ等からのWeb 投稿とする。投稿原稿の送付先は、学会事務局とする。
13. 著者による校正は、原則として2校までとする。その際には、字句の著しい変更、追加、削除などは認めない。校正刷は所定の日までに必ず返却する。校正不要の場合には、その旨表紙左側に明記する。
14. 本誌掲載の著作物の著作権は、本学会に帰属するものとする。
15. 機関リポジトリへは、掲載号の電子公開時点から著者最終原稿あるいは出版社版（PDF）の登録を認める。出典表示を行うこととする。
16. この規程にない事項は、別に編集委員会で決定する。

附則

1. 本規程は平成6年11月10日から施行する（第38巻第1号より適用）。
2. 本規程は平成7年10月26日から一部改正し施行する。
3. 本規程は平成9年6月5日から一部改正し施行する。
4. 本規程は平成11年11月17日から一部改正し施行する。
5. 本規程は平成16年6月9日から一部改正し施行する。
6. 本規程は平成18年11月9日から一部改正し施行する。
7. 本規程は平成20年6月5日から一部改正し施行する。
8. 本規程は平成21年10月28日から一部改正し施行する。
9. 本規程は平成22年6月3日から一部改正し施行する。
10. 本規程は平成24年6月28日から一部改正し施行する。
11. 本規程は平成25年6月27日から一部改正し施行する。
12. 本規程は令和2年6月25日から一部改正し施行する。

13. 本規程は令和3年6月9日から一部改正し施行する。
14. 本規程は令和6年5月16日から一部改正し施行する。
15. 本規程は令和8年1月8日から一部改正し施行する。
投稿にあたっては「投稿規程」のほか、必ず各巻の1号に掲載されている「投稿の手引き」に準拠すること。

複写をご希望の方へ

本学会は、本誌掲載著作物の複写複製に関する権利を学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写複製をご希望の方は、学術著作権協会 (<https://www.jaacc.org/>) が提供している複製利用許諾システムを通じて申請ください。

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、直接本学会へお問い合わせください。

Reprographic Reproduction outside Japan

The Japanese Society of Conservative Dentistry authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (<https://www.jaacc.org/en/>) and confirm appropriate organizations to request permission.

編集後記

- 2025年度より日本歯科保存学会の編集委員を拝命いたしました大阪歯科大学の前田と申します。どうぞよろしくお願いたします。
- 私は以前に、日本歯周病学会で10年間編集委員を担当したことがありますが、一昨年から日本歯内療法学会でも編集委員を拝命しており、編集委員会とは縁があるようです。編集委員は査読が主な業務となるため、出版までに可能なかぎり論文原稿のクオリティ向上に寄与できるよう努力していきたくと思っています。特に、本会では2026年度から英文誌である Operative Dentistry, Endodontology and Periodontology (ODEP) の発行を年1回から2回に増やすことになり、国際性と学際性に優れた論文の出版に貢献したいと思っています。
- さて、これまで編集委員を長年担当してきましたが、恥ずかしながら編集後記なるものをほとんど読んだことがありませんでした。今回、編集後記を執筆するにあたり、最近の本誌の編集後記を拝読させて頂き、本会の編集後記では時事ネタが取り上げられていることに気付きました。
- 最近の話題といえば、やはりイランでの戦争になります。ウクライナ戦争がかき消されるような世界情勢は、遠い国の話ではすまされない状況です。現在のわが国の物価高問題にも拍車がかかることは避けられません。科学・学問の領域に大きな影響が出ないことを願うばかりです。
- 学術雑誌を取り巻く問題としては、公的資金による学術論文等の即時オープンアクセスの実施、オープンアクセス掲載・公開料の高騰、あるいは機関リポジトリへの掲載などが挙げられます。なかでもオープンアクセス掲載・公開料の高騰に対しては強い懸念を抱きます。科学や学問の領域において営利的な要素が大きくなることは好ましくありません。
- 本会の編集委員として、真摯な態度で投稿論文に向き合いたいと思っています。今後も本誌への投稿をよろしくお願いたします。

(前田博史 記)

日本歯科保存学雑誌編集委員会

委員長	武市 取 (日本大学歯学部)
副委員長	西谷 佳浩 (鹿児島大学大学院医歯学総合研究科)
	音琴 淳一 (松本歯科大学)
	北村 和夫 (日本歯科大学)
	小峯 千明 (日本大学松戸歯学部)
	鈴木 規元 (昭和医科大学歯学部)
	高橋 慶壮 (奥羽大学歯学部)
	長野 孝俊 (鶴見大学歯学部)
	野田 守 (岩手医科大学歯学部)
	前田 博史 (大阪歯科大学)
	諸富 孝彦 (愛知学院大学歯学部)
	山田 聡 (東北大学大学院歯学研究科)
	横瀬 敏志 (明海大学歯学部)
	和田 尚久 (九州大学大学院歯学研究院)
幹事	鈴木 裕介 (日本大学歯学部)

編集・発行予定

号	投稿締切日	発行日
1	前年11月15日	2月末日
2	1月15日	4月末日
ODEP 1	3月15日	6月末日
3	5月15日	8月末日
4	7月15日	10月末日
ODEP 2	9月15日	12月末日

(50音順)

令和8年4月30日 発行

編集兼発行者

特定非営利活動法人 日本歯科保存学会理事長

制作者

北村 知昭

一般財団法人 口腔保健協会

<https://www.kokuhoken.or.jp/>

印刷所

三報社印刷株式会社

発行所

特定非営利活動法人 日本歯科保存学会

日本歯科保存学雑誌編集委員会

〒170-0003 東京都豊島区駒込1-43-9

(一財) 口腔保健協会内

電話 03 (3947) 8891

FAX 03 (3947) 8341

特定非営利活動法人 日本歯科保存学会賛助会員名簿

賛 助 会 員 名	郵便番号	所 在 地	電話番号
アグサジャパン株式会社	540-0004	大阪市中央区玉造 1-2-34	(06)6762-8022
医 歯 薬 出 版 株 式 会 社	113-8612	東京都文京区本駒込 1-7-10	(03)5395-7638
イボクラールピバデント株式会社	113-0033	東京都文京区本郷 1-28-24 4F	(03)6801-1303
長田電機工業株式会社	141-8517	東京都品川区西五反田 5-17-5	(03)3492-7651
エンピスタジャパン株式会社	140-0001	東京都品川区北品川 4-7-35 御殿山トラストタワー 13F	(0800)111-8600
カボプランメカジャパン株式会社	140-0001	東京都品川区北品川 4-7-35 御殿山トラストタワー 15F	(0800)100-6505
クラレノリタケデンタル株式会社	100-0004	東京都千代田区大手町 2-6-4 常盤橋タワー	(03)6701-1700
クルツァー ジャパン株式会社	113-0033	東京都文京区本郷 4-8-13 TSK ビル 2F	(03)5803-2151
小林製薬株式会社	567-0057	大阪府茨木市豊川 1-30-3	(072)640-0117
コルテンジャパン合同会社	190-0012	東京都立川市曙町 2-25-1 2F	(042)595-6945
株式会社サンギ	104-8440	東京都中央区築地 3-11-6 築地スクエアビル	(03)3545-6000
サンメディカル株式会社	524-0044	滋賀県守山市古高町 571-2	(077)582-9981
株式会社ジーシー	113-0033	東京都文京区本郷 3-2-14	(03)3815-1511
株式会社ジーシー昭和薬品	113-0033	東京都文京区本郷 1-28-34	(03)5689-1580
株式会社松風	605-0983	京都市東山区福福上高松町 11	(075)561-1112
ソルベントム合同会社	141-8684	東京都品川区北品川 6-7-29	(03)6409-3800
タカラベルモント株式会社	542-0083	大阪市中央区東心斎橋 2-1-1	(06)6212-3619
デンツプライシロナ株式会社	106-0041	東京都港区麻布台 1-8-10	(03)5114-1005
株式会社東洋化学研究所	173-0004	東京都板橋区板橋 4-25-12	(03)3962-8811
株式会社トクヤマデンタル	110-0016	東京都台東区台東 1-38-9 イトーピア清洲橋通ビル 7F	(03)3835-2261
株式会社ナカニシ	322-8666	栃木県鹿沼市下日向 700	(0289)64-3380
株式会社ニッシン	601-8469	京都市南区唐橋平垣町 8	(075)681-5346
日本歯科薬品株式会社	750-0025	山口県下関市竹崎町 4-7-24	(083)222-2221
ネオ製薬工業株式会社	150-0012	東京都渋谷区広尾 3-1-3	(03)3400-3768
白水貿易株式会社	532-0033	大阪市淀川区新高 1-1-15	(06)6396-4455
ピヤス株式会社	132-0035	東京都江戸川区平井 6-73-9	(03)3619-1441
マニ 株式会社	321-3231	宇都宮市清原工業団地 8-3	(028)667-1811
株式会社茂久田商会	650-0047	神戸市中央区港島南町 4-7-5	(078)303-8246
株式会社モリタ	564-8650	大阪府吹田市垂水町 3-33-18	(06)6388-8103
株式会社モリムラ	110-0005	東京都台東区上野 3-17-10	(03)3836-1871
Y A M A K I N 株式会社	543-0015	大阪市天王寺区真田山町 3-7	(06)6761-4739
株式会社ヨシダ	110-0005	東京都台東区上野 7-6-9	(03)3845-2931

(五十音順)

貴稿が日本歯科保存学雑誌の投稿規程に沿ったものであるかを確認し、1～12の項目については、必ず著者チェック欄にチェック（√印）して下さい。さらに、その項目について、所属機関の編集連絡委員のチェックを受けてから投稿して下さい。（編集連絡委員名簿は各巻1・4号に掲載しています）

なお、13～20の項目については該当する場合にチェックして下さい。

チェック 著者 編集連絡委員	チェック 編集委員会
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1. 保存学会 HP 掲載の最新の投稿票を用いていますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2. 原稿（図、表を含む）は A4 サイズで作成していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 3. 原稿は和文（英文）表紙、和文（英文）抄録、本文、文献、英文（和文）表紙、英文（和文）抄録の順になっていますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 4. 和文抄録、英文抄録には、見出しが付いていますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 5. 和文・英文各表紙の末尾に責任著者連絡先が記入してありますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 6. 和文・英文各キーワード（索引用語）を3語程度、和文抄録・英文抄録の末尾に記入してありますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 7. 表紙には、ランニングタイトルが記入してありますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 8. 原稿には通しページ番号（表紙から文献まで）が記載されていますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 9. 文献は所定の書き方で、引用順になっていますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 10. 図表にはそれぞれ番号が記入してありますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 11. 図表とその説明は英語で表記していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 12. 投稿論文に関わる利益相反（COI）自己申告書を添付していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 13. トレースの必要な図は、余白にその旨記載してありますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 14. カラー掲載希望の場合にはカラーデータを、モノクロ掲載希望の場合にはモノクロデータを添付していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 15. 英文論文の場合は、ネイティブスピーカー等による英文校閲証明書を添付していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 16. ヒトを対象とする研究について、所属機関の長もしくはその長が委託する倫理委員会等の承認を得ていますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 17. 再生医療等安全性確保法に定められている再生医療等技術を含む症例発表については、その法に従い患者に提供された技術であることを明記していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 18. 適応外使用の薬剤・機器あるいは国内未承認の医薬品、医療機器、再生医療等製品を用いた治療法を含む症例発表については、所属機関の長もしくはその長が委託する倫理審査委員会、未承認新規医薬品等審査委員会等の承認を得ていますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 19. 患者資料（臨床写真、エックス線写真など）を症例報告論文に掲載するにあたり、患者（保護者・代諾者）から同意を得ていることを明記していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 20. 論文発表に際して、研究対象者（患者）個人が特定できないよう、個人情報を保護していますか。	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

編集連絡委員名 _____ (印)

編集委員会からのお願い：所属機関に編集連絡委員がおられない場合には、その旨明記の上、締切日に余裕をもって事務局までお送り下さい。

ESTECEM II BONDMER Lightless II で 簡単前処理、術式の統一



CR充填時の
ボンディング



支台築造時の
前処理



補綴物・補綴装置の
前処理



セメンティング時の
前処理



補綴物も歯質も操作はひとつ



混和



塗布



エアブロー

塗布後の待ち時間も光照射も不要!

エステセム II

- CAD/CAMハイブリッドレジンも安定した接着力。
- 垂れにくく、余剰セメントも除去しやすいペースト。
- 無機フィラー74wt%で高強度を実現。

歯科接着用レジンセメント

エステセム II

ボンドマー ライトレス II セット

(管理医療機器) 認証番号228AFBZX00129000



オートミックスセット

標準医院価格 ¥20,500 / セット



ハンドミックスセット

標準医院価格 ¥20,500 / セット



詳細は特設サイトで!

<https://www.tokuyama-dental.co.jp/bondmer2>



株式会社トクヤマデンタル

お問い合わせ・資料請求
インフォメーションサービス

0120-54-1182

本社 〒110-0016 東京都台東区台東1-38-9

受付時間

9:00~12:00/13:00~17:00(土日祝日は除く)

Webにもいろいろ情報載っています!!

トクヤマデンタル

検索

Thinking ahead. Focused on life.



Spaceline EX

スペースライン EXが iFデザイン賞の金賞を受賞

ドイツのiFデザイン賞は、50年以上の歴史を有し、各国から選ばれた審査員によって厳正に選考される世界的に権威のあるデザイン賞です。世界中から6,400以上のエントリーがあった中、最優秀デザインとして75件に授与される金賞（iF GOLD AWARD）をスペースライン EXが受賞しました。人間工学に基づき緻密に計算されたデザインは、患者さんだけでなく術者にも理想的で洗練されたデザインであると評価されました。



発売

株式会社 **モリタ**

大阪本社 大阪府吹田市垂水町3-33-18
〒564-8650 T 06. 6380 2525

東京本社 東京都台東区上野2-11-15
〒110-8513 T 03. 3834 6161

お問合せ お客様相談センター 歯科医療従事者様専用
T 0800. 222 8020 (フリーコール)

製造販売・製造

株式会社 **モリタ製作所**

本社工場 京都府京都市伏見区東浜南町680
〒612-8533 TEL 075-611-2141

久御山工場 京都府久世郡久御山町市田新珠城190
〒613-0022 TEL 0774-43-7594

販売名: スペースライン
一般的名称: 歯科用ユニット
機器の分類: 管理医療機器(クラスII)
特定保守管理医療機器
医療機器認証番号: 228ACBZX00018000

www.dental-plaza.com

Super Low

1色^{*}で天然歯色に親和するフロアブルCR

※白歯部の場合

Low

High

クリアフィル[®] マジエスティ[®] ES フロー-

Super Low Low High

Universal

なぜ色が親和するのか？物性は？操作性は？詳しい特長は特設サイトへ！ →



単品 クリアフィル[®] マジエスティ[®] ES フロー-

Universal

管理医療機器 歯科充填用コンポジットレジン 医療機器認証番号：224ABBZX00170000

○本品は、袋包装です。

Super Low

- レジン充填材
(Super Low) (U, UD) 各2.7g (1.5mL)
- 付属品 ニードルチップ (N)(5個)
ニードルチップキャップ (5個)



Low

- レジン充填材
(Low) (U, UD, UOP, UW) 各2.7g (1.5mL)
- 付属品 ニードルチップ (N)(5個)
ニードルチップキャップ (5個)



High

- レジン充填材
(High) (U, UD, UOP) 各2.7g (1.5mL)
- 付属品 ニードルチップ (N)(5個)
ニードルチップキャップ (5個)



クラレノリタケデンタル株式会社

〒100-0004 東京都千代田区大手町2丁目6-4 常盤橋タワー

お問い合わせ | ☎ 0120-330-922 平日 10:00~17:00

ホームページ | www.kuraraynoritake.jp

- 仕様及び外観は、製品改良のため予告無く変更することがありますので、予めご了承ください。
- 印刷のため実際の色調と異なる場合があります。
- ご使用に際しましては電子添文等を必ずお読みください。

【製造販売元】クラレノリタケデンタル株式会社 【販売元】株式会社モリタ
〒959-2653 新潟県胎内市倉敷町2-28 〒564-8650 大阪府吹田市垂水町3-33-18

お客様相談センター：0800-222-8020 (医療従事者様向窓口)

・「クリアフィル」及び「マジエスティ」は株式会社クラレの登録商標です。

う蝕病変を明確に捉える**咬翼法**の規格撮影に



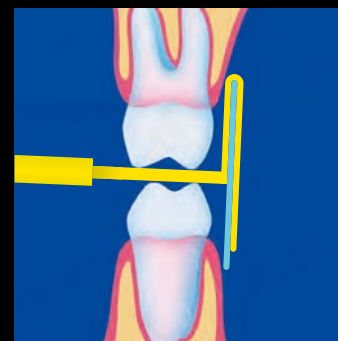
デンタルフィルム、イメージングプレート用
クイックバイト/フィルムホルダー



CCDセンサー用
クイックバイト/センサーホルダー

咬翼法は臼歯部の隠れたう蝕や隣接面う蝕、咬合面う蝕など、視診だけでは検出が困難な病変の補助的診査として優れた撮影方法です。

クイックバイトを用いるとフィルムタブは不要で、毎回正しい位置と角度の咬翼法による規格撮影を簡単に行うことができます。



クイックバイトによる
撮影ポジション



クイックバイトの使用方法を
動画でチェック

フィルムホルダー 一般医療機器 歯科用X線ビームアラインメント装置 医療機器製造販売届出番号:13B1X10405100100
センサーホルダー 一般医療機器 歯科用X線ビームアラインメント装置 医療機器製造販売届出番号:13B1X10405102700

Customer's
Voiceのご案内



伊藤 直人 先生、藤森 直子 先生ご執筆、
咬翼法に関する臨床レポートを公開中。
是非、ご覧ください。



エンビスタジャパン
Webサイト

 **Envista エンビスタジャパン株式会社**
〒140-0001 東京都品川区北品川 4-7-35 御殿山トラストタワー
TEL:0800-111-8600 FAX:03-6866-7273
www.envistaco.jp

MerSSage



歯科医院用

メルサーージュ エピック 2in1 NEO 歯科用多目的超音波治療器

超音波スケーラーとパウダーデバイス
2つの機能を搭載した
メルサーージュ エピック 2in1 NEO



標準医院価格：一式…¥750,000
販売名：メルサーージュ エピック 2in1 NEO
一般的名称：歯科用多目的超音波治療器
管理医療機器 認証番号 307ALBZX00024A01
特定保守管理医療機器

パウダーもメルサーージュブランドとして新登場!

メルサーージュ エピック パウダー ペリオ

歯肉線および歯肉線下用パウダー
バイオフィルム・軽微なステインの除去

容量：160g×2本
標準医院価格：¥9,000
販売名：メルサーージュ エピック パウダー ペリオ
一般的名称：歯面研磨材
一般医療機器 届出番号 09B2X00016000159

メルサーージュ エピック パウダー ステイン

歯肉線上用パウダー
強固なステインの除去

容量：300g×4本
標準医院価格：¥19,500
販売名：メルサーージュ エピック パウダー ステイン
一般的名称：歯面研磨材
一般医療機器 届出番号 09B2X00016000158



製品の詳細はこちらまで…



価格は2026年4月現在の標準医院価格(消費税抜き)です。



世界の歯科医療に貢献する

株式会社 松風

●本社：〒605-0983京都市東山区福福上高松町11 お客様サポート窓口(075)778-5482 受付時間8:30~12:00 12:45~17:00(土日祝除く) www.shofu.co.jp

●支社：東京(03)3832-4366 ●営業所：札幌(011)232-1114/仙台(022)713-9301/名古屋(052)709-7688/京都(075)757-6968/大阪(06)6330-4182/福岡(092)472-7595