

CAD/CAM 冠の現状と将来展望

新谷明一^a, 三浦賞子^b, 小泉寛恭^c, 疋田一洋^d, 峯 篤史^e

Current status and future prospect of CAD/CAM composite crown

Akikazu Shinya, DDS, PhD^a, Shoko Miura, DDS, PhD^b, Hiroyasu Koizumi, DDS, PhD^c,
Kazuhiro Hikita, DDS, PhD^d and Atsushi Mine, DDS, PhD^e

抄 録

小白歯の全部被覆冠として保険収載された CAD/CAM 冠の使用率は、年々増加し続けている。一方で、CAD/CAM 冠の脱落などに代表されるトラブル報告も多くなっている。CAD/CAM 冠は、従来の歯冠補綴装置とは異なった製作方法や材料を使用しており、支台歯形態や接着方法に独自の配慮が必要である。また、多くの脱落が初期に生じているということは、従来の全部被覆冠からは考えられない原因の存在も推測される。本稿では、CAD/CAM 冠に発生したトラブルのリスク因子を明らかにし、それに対応できるよう、支台歯形態、CAD/CAM 冠用レジンプロックの特徴、適切な接着手順および術後管理について考察を行う。

キーワード

CAD/CAM 冠, トラブル分析, リスクファクター, 接着技法, メタルフリー補綴

I. はじめに

コンポジットレジン物の物性改善および CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) 技術の進歩や普及に伴い、平成 26 年 4 月から、小白歯の全部被覆冠としてコンポジットレジンブロックによる「CAD/CAM 冠」が国民健康保険に適用された。さらには、平成 28 年 4 月から対象を金属アレルギー患者に限定して CAD/CAM 冠の大白歯への適用が可能となった。CAD/CAM 冠は金属アレルギー患者への治療や高まる審美的要求、そ

して高騰する金属材料費への対応として保険収載された歯冠補綴装置である。

平成 26 年 12 月 22 日、公益社団法人日本補綴歯科学会医療問題検討委員会から「保険診療における CAD/CAM 冠の診療指針」¹⁾ が提示された (表 1)。これは CAD/CAM 冠に対し、これまでの補綴歯科治療とは異なる対応が求められ、適切な術式の周知に不安があったことなどが背景となっている。本診療指針では、「トラブルのない CAD/CAM 冠を提供するために、CAD/CAM 冠の特徴を理解し、適切な支台歯形成および接着操作、手順を行うことが重要である。」とされている。

^a 日本歯科大学生命歯学部歯科補綴学第 2 講座

^b 東北大学大学院歯学研究科分子・再生歯科補綴学分野

^c 日本大学歯学部歯科補綴学第 III 講座

^d 北海道医療大学歯学部口腔機能修復・再建学系 デジタル歯科医学分野

^e 大阪大学大学院歯学研究科クラウンブリッジ補綴学分野

^a Department of Crown and Bridge, The Nippon Dental University, Life Dentistry at Tokyo

^b Division of Molecular and Regenerative Prosthodontics, Tohoku University Graduate School of Dentistry

^c Department of Fixed Prosthodontics, Nihon University School of Dentistry

^d Division of Digital Dentistry, Department of Oral rehabilitation, Health Sciences University of Hokkaido School of Dentistry

^e Department of Fixed Prosthodontics, Osaka University Graduate School of Dentistry

表 1 保険診療における CAD/CAM 冠の診療指針 (日本歯科補綴学会)

適応症	推奨できない症例	考慮すべき事項
小白歯の単冠症例	咬合面クリアランスが確保できない症例	部分床義歯の支台歯
	過小な支台歯高径症例	事実上の最後臼歯 (後方歯の欠損)
	顕著な咬耗 (ブラキシズム) 症例	高度な審美性の要望

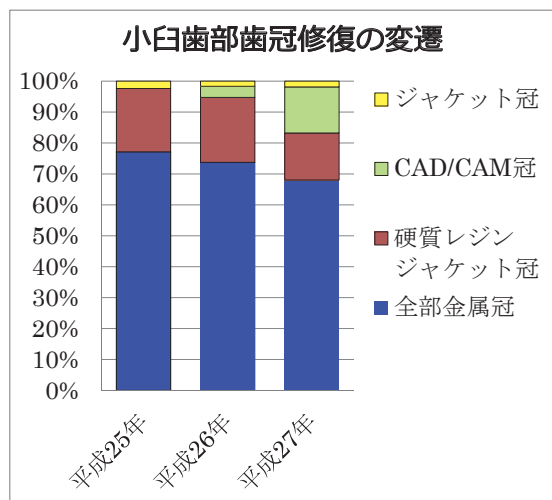


図 1 CAD/CAM 冠健康保険適用前後の小白歯部歯冠修復 (全部被覆冠) の変遷 平成 26 年 4 月より CAD/CAM 冠健康保険適用

CAD/CAM 冠に使用できるコンポジットレジンブロックはフィラー配合技術やマトリックスレジンにも様々な特色があり、一言で CAD/CAM 冠といっても材料特性が大きく異なる。また、オープンシステムの CAD/CAM システムを使用することが前提となっているため、異なるメーカーの機器を自由に組み合わせで使用することも可能であり、その組み合わせは術者である歯科医師や、歯科技工士にゆだねられる。従って CAD/CAM 冠の臨床は、画一的な発想では対応することができないともいえる。

そのような現状をふまえ、公益社団法人日本補綴歯科学会第 125 回学術大会においてイブニングセッション 4「CAD/CAM レジンクラウン、臨床で困っています?!」²⁾ が行われた。本セッションでは問題点を整理し、本質をとらえた解決策や今後必要な研究が議論された。本総説は、このイブニングセッションの内容を反映し、さらに文献的な考察を追加した。

II. CAD/CAM 冠保険導入の背景と現状

1907 年に Taggart により歯科分野に鋳造法が導入され³⁾、間接法による歯科精密鋳造は、歯科補綴学分野とりわけクラウンブリッジ領域における最も重要な技術として、現在の補綴治療の基盤となっている⁴⁾。しかしながら我が国の保険診療を支える金銀パラジウム合金やその他の貴金属の価格高騰により、金属に代わる歯冠修復材料とその加工技術および接着技術が強く求められるようになってきた。また、近年における金属アレルギー患者の増加や審美性に対する高いニーズは、セラミックやハイブリッドレジンなどを使用したメタルフリー修復の需要に拍車をかけている。

これまで小白歯におけるメタルフリークラウンとして、硬質レジンジャケットクラウンが保険適応とされてきたが、硬質レジンジャケットクラウンは強度が低いことからその適応は大きく制限されてきた。これに対し、歯科用 CAD/CAM 技術の応用により、物性の安定したコンポジットレジンブロックを削り出すことで、均質性および表面性状の向上したクラウン製作が可能となった。そして、2009 年 4 月の先進医療導入を経て、2014 年 4 月より CAD/CAM 冠が新たに保険収載された。

厚生労働省は、健康保険の診療行為別統計調査を毎年行っており、6 月に前年度の調査結果が発表される。平成 25 年から平成 27 年までの本統計調査結果における小白歯部の全部被覆冠は、平成 25 年 (CAD/CAM 冠導入前) は全部金属冠 75%、硬質レジンジャケット冠 20% であったが、平成 26 年 (CAD/CAM 冠導入年) は全部金属冠 74%、硬質レジンジャケット冠 21%、CAD/CAM 冠 4%、平成 27 年は全部金属冠 68%、硬質レジンジャケット冠 15%、CAD/CAM 冠 15% の割合となっている (図 1)。つまり、小白歯部の全部被覆冠に対する CAD/CAM 冠の占める割合は、導入年 (平成 26 年) の 4% から 15% (平成 27 年) に増加しており、その反面、全部金属冠の割合は

75% (平成 25 年) から 68% (平成 27 年) へと減少している。

III. CAD/CAM 冠の臨床経過

治療技術としては歴史の浅い CAD/CAM 冠が、今後国民にとって有用な医療技術として定着するためには、より多くの症例を蓄積するとともに適応症例や術式を科学的に検証し、良好な予後を妨げるトラブルのリスク因子を明らかにする必要があることに疑いの余地はない。では現状における CAD/CAM 冠の臨床研究結果はどのようなものであろうか。

先進医療導入前の試作ハイブリッドレジンブロック (CAD/CAM 用ハイブリッドレジンブロック (AGB-01), ジーシー, 東京, 日本) を用いて作製した CAD/CAM 冠 (合計 51 装置) を 6~12 カ月にわたり観察した臨床試験では、4 装置 (7.8%) の脱離が装着後 3 カ月以内に生じ、8 装置 (15.7%) に光沢の消失、3 装置 (5.9%) に着色が認められた⁵⁾。保険算定された CAD/CAM 冠 (多種のブロック使用) の短期経過に関する 1,178 装置のアンケート調査では、装着後 6 カ月間の脱離が 9.0%、破折が 2.0% であった⁶⁾。さらにその調査を発展させた 1 年 8 カ月後の調査では、脱離は 24.5% みられ、その内装着後 1 カ月以内の脱離が 43.8% にものぼり、その約半数は 1 週間以内に脱離していた⁷⁾。

セラスマート (ジーシー, 東京, 日本) を用いた CAD/CAM 冠については 2 つの調査結果が報告されている。180 装置の 22 カ月予後調査では、9 装置 (5.0%) が脱離し (6 装置が 3 カ月以内に脱離)、1 装置 (0.6%) に破折が認められた⁸⁾。214 装置の 10.6 カ月予後調査では、破折が 1 装置 (0.5%)、脱離が 10 装置 (4.7%) に発生した⁹⁾。本研究では破折は装着後 6 カ月、脱離は 6 装置が 3 カ月以内に発生した。

3 種類の CAD/CAM 冠用レジンブロックを使用した三浦ら¹⁰⁾の短期予後調査では、17 カ月の観察で CAD/CAM 冠の脱離は 205 装置中 10 装置 (4.9%) に発生し、その全てが装着後半年以内に発生した。なお、脱離以外のトラブルは認められなかった。この結果から、CAD/CAM 冠に生じる早期脱離等のトラブルの実態を明らかにするため、2014 年 4 月の保険導入後に東北大学病院咬合修復科および研究協力施設にて装着された CAD/CAM 冠の予後報告¹⁰⁾の追跡調査が実施された。

対象は 2014 年 4 月から 2016 年 1 月までの 22 カ

月間に、東北大学病院咬合修復科および研究協力施設の臨床経験 3 年以上の歯科医師 15 名が装着した CAD/CAM 冠 361 症例であった。除外基準は治療対象歯の対合歯が欠損した症例とした。調査項目は性別、装着時年齢、装着した歯種、クラウン内面のシラン処理の有無、装着材料、対合歯の状態、使用したコンポジットレジンブロック、歯科医師の臨床経験年数、トラブル発生の有無とし、歯科診療録および歯科技工記録から抽出した。なお、本研究は東北大学大学院歯学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施された (承認番号: 2015-3-2)。

調査対象となった CAD/CAM 冠の属性を図 2, 3 に示す。装着後のトラブルは 361 装置中 27 装置 (7.5%) に発生し、トラブルの内容は全て脱離であった。装着期間は 0.1~20 カ月で、中央値は 7.2 カ月であった。脱離発生までの期間について、発生した 27 症例の詳細を図 4 に示す。脱離した症例は、いずれも装着後 1 年以内に発生し、27 装置中 21 装置が装着後半年以内に発生した。

CAD/CAM 冠のシラン処理については、行ったものを行わなかったものがそれぞれ約半数を占め、適切な術式が周知されていないことが推測された。神谷ら⁸⁾はリン酸処理、サンドブラスト処理、およびシラン処理の 3 種類を全て行った群といずれかを行わなかった群では、CAD/CAM 冠の脱離に有意差は認められなかったとしている。一方で、末瀬⁶⁾はシラン処理の有無は CAD/CAM 冠の脱離と有意な関連があったとしている。現時点ではシラン処理の有無が早期脱離のリスク因子とは断言できないものの、シラン処理を適切に行うことは接着強さを高めると考えられており、本学会の診療指針¹⁾では CAD/CAM 冠装着時のシラン処理を推奨している。

本調査で使用された装着材料は、診療指針で推奨される接着性レジンセメントではなく、ガラスイオノマー系レジンセメントが多かった。これは、CAD/CAM 冠はあくまで保険内診療であるため、安価でかつ歯科医師が使い慣れたセメントを選択しているなどが理由として考えられる。コンポジットレジンブロックで最も多く使用されていたラヴァTM アルティメット (3M ESPE, メープルウッド, アメリカ) は現在、日本国内では販売中止となっている。その理由は国外での脱離率が一般的な脱離率 (2~4%) と比較して高かったことがあげられているが、国内の脱離率は一般的な脱離率と比較しても極めて低いと報告¹¹⁾している。しかしながら、本研究の結果と突き合わせると、ブロックの組成の違いによる材料特性の問題とは考え

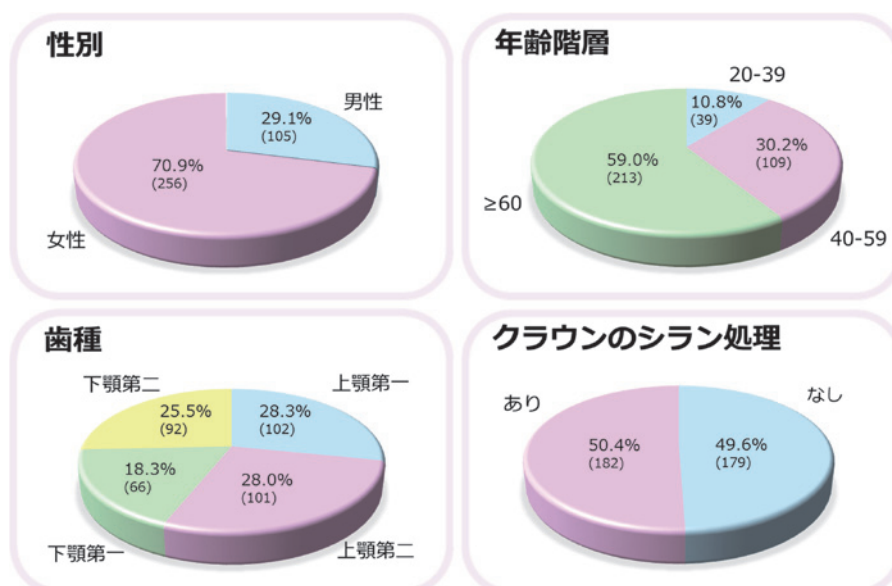


図 2 調査対象 CAD/CAM 冠の属性 1

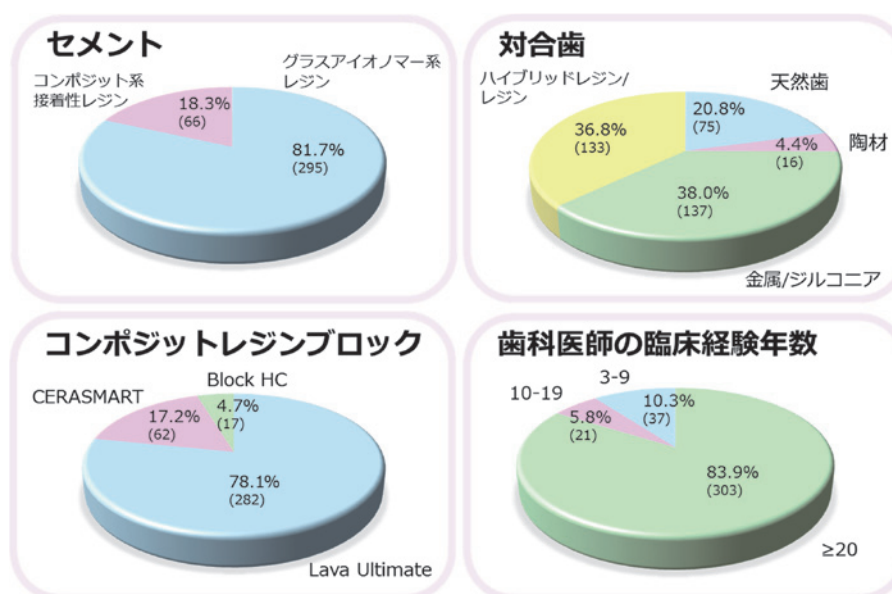


図 3 調査対象 CAD/CAM 冠の属性 2

にくい。近年の報告では、他の材料による審美的歯冠修復のジルコニアオールセラミッククラウンの脱離は 5 年で 4.7%、陶材焼付冠は 5 年で 0.6% と報告¹²⁾されており、CAD/CAM 冠は短期間での脱離の発生率が高い傾向がみられた。

これらの報告に共通する「CAD/CAM 冠装着後に発生するトラブル」の特徴は、そのほとんどが脱離であり、装着後短期間で発生する点である。したがって装着後早期に生じる脱離を防止することが CAD/CAM 冠の良好な長期予後に不可欠であり、その実現のためにはリスク因子を明らかにする必要がある。

なお Schepke ら¹³⁾により、小臼歯 1 歯欠損に対するラヴァ™ アルティメットによる CAD/CAM 冠を口腔外でジルコニアアバットメント（インプラント）にレジンセメントで接着し、そのインプラントを口腔内にスクリュー固定した上部構造の 12 カ月予後（患者 50 名 50 装置）が報告されている。その結果、CAD/CAM 冠とアバットメント間の脱離は 80% で、そのほとんどがジルコニア/セメント界面破壊であったとされており、ラヴァ™ アルティメットの弾性率は 12GPa と低く、一方ジルコニアの弾性率は 210GPa と高いため、セメント層への応力が集中し脱離が起き

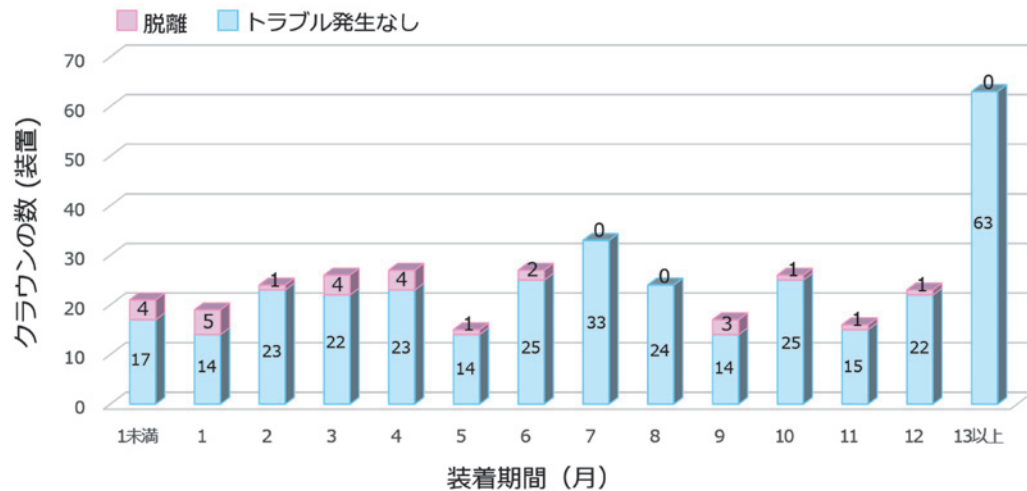


図4 CAD/CAM 冠の装着期間別脱離数

表2 CAD/CAM 冠用レジンプロックの組成

Material/Trade name	Manufacturer	Composition		
		Monomer	Filler	Mass%
Hybrid ceramic block				
Vita Enamic*	Vita Zahnfabrik	UDMA, TEGDMA	Feldspar ceramic enriched with aluminum oxide	86
Composite resin block				
Block HC*	Shofu	UDMA, TEGDMA	Silica filler, fine silica, zirconium silicate	61
Cerasmart*	GC	Bis-MEPP, UDMA, DMA	Silica, barium glass filler	71
Gradia Block*	GC	UDMA, methacrylate copolymer	Silica, Al-silicate glass, prepolymerized filler	76
KZR-CAD Hybrid Resin Block*	Yamamoto precious metal	UDMA, TEGDMA	SiO ₂ , aggregated SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ cluster	
Katana Avencia block**	Kuraray Noritake Dental	UDMA, TEGDMA	Aluminum filler, silica filler	62

*Kamonkhantikul K et al, Dent Mater J 2016; 35: 225-232.

**Koizumi H et al, Dent Mater J 2015; 34: 881-887.

たと考察されている。本報告は、ジルコニアアバットメントへCAD/CAM冠を装着した報告であるため、天然歯に装着されたCAD/CAM冠と単純比較はできないが、高い脱離の傾向は一致している。

IV. CAD/CAM 冠用コンポジットレジンプロックの特徴

CAD/CAM冠は従前から保険適用されていたクラウンの構成材料と大きく異なる。全部金属冠であれば金属からなり、硬質レジンジャケット冠であれば間接修復用コンポジットレジン（以下、コンポジット）で構成されている。CAD/CAM冠用コンポジットレジ

ンプロックはあらかじめ加圧・加熱された状態で重合を行うため、非常に高い重合度を示し、コンポジットをはるかに超えた物性となる。

CAD/CAM冠用コンポジットレジンプロックの組成を表2に示す。コンポジットレジンプロックの組成は、直接あるいは間接修復用コンポジットと同様の構成である。レジンマトリックスには、2官能性モノマーを2種類以上含んだコモノマーとして使用されている。またフィラーには、シリカ、アルミナあるいはジルコニアなどが使用されている。フィラーの含有量は、表2に示すように各製品で異なるが、60 wt%以上である。

CAD/CAM冠用レジンプロックはコンポジットと

異なりあらかじめ高度な重合処理を施されるため安定した物性の硬化体が得られ、耐摩耗性、耐変色性および耐着色性においてコンポジットに比べて優れている。また、レジンマトリックスはUDMA, TEGDMAといった2官能性モノマーを使用していることから、重合後、三次元的な網目状架橋高分子となる。つまりCAD/CAM冠用レジンブロックは、高度な重合処理と網目状架橋高分子構造から、未重合層あるいは不飽和二重結合をほとんど持たない。従来から最も接着に不向きな材料として認識されていた重合後のコンポジットへの接着は、含有されるフィラーに対して、シランカップリング処理にて対応することが基本とされていた。一方、コンポジットでは、重合後に未反応のモノマーが残留し、接着材と反応する可能性も残されていた。しかしながら、CAD/CAM冠用レジンブロックではその高い物性と引き換えに接着困難な材料となったといえ、CAD/CAM冠の内面を機械的かつ化学的に表面処理を行うことで一定の接着力が得られている。

材料力学特性をフィラーやマトリックスレジンの改善というアプローチのみならず、加工・重合方法によって向上させたCAD/CAM冠用レジンブロックでは、新たな課題が浮き彫りとなった。なお、CAD/CAM冠用レジンブロックは専用の切削加工機によって作製され、切削加工時に使用されているミリングバーのサイズは先端径で0.6から2.0 mmである。そのため、支台歯に微細な保持形態を付与しても、CAD/CAM冠内面に再現するのは困難であり、支台歯軸面の高さが確保できない症例では支台歯咬合面に加工、再現しやすい比較的大きなホールなどを形成し、接着操作を行うのが好ましいと考えられる。

V. デジタルデンティストリーを背景としたCAD/CAM冠の適合精度

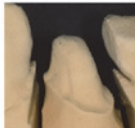
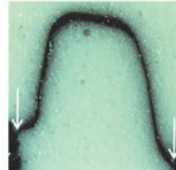
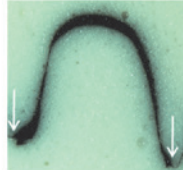
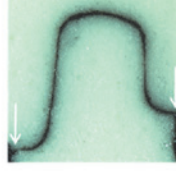
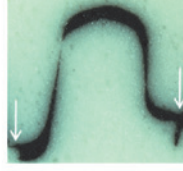
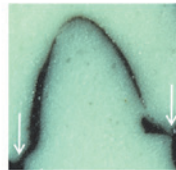
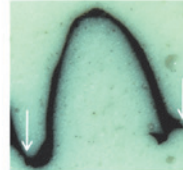
補綴装置製作方法のデジタル化は目覚ましい進歩を遂げ、現在の補綴歯科治療になくてはならない技法の一つとなっている。CAD/CAM冠作製においてはこれまでのクラウン製作方法と同様に歯型の製作が必要であるが、その後の作業はワックスアップ（ジャケットクラウンの場合はレジンの築盛）→鋳造（重合）というステップからスキャニング→デザイン→ミリングという作業となる。したがって、多くの作業が手作業であった鋳造・重合と異なり、CAD/CAM冠ではデジタル技術によってコントロールされ、手作業の工程が減少する。



図5 適合試験を行ったCAD/CAM冠の一例

これまでクラウンの適合精度において、デジタル技法はアナログ（手作業）に劣るとされてきた。しかしながら近年、CAD/CAMの適切な使用によって製作されたクラウンの適合精度は向上しており^{14,15)}、ジルコニア等に代表されるオールセラミッククラウン等の臨床報告^{16,17)}においてもデジタル技法が高い評価を受けている。CAD/CAM冠用レジンブロックとジルコニアブロックではその切削性に違いが存在し、結果として完成したクラウンの適合精度も異なることが予想される。適合精度はクラウンの予後に大きな影響を与え、脱落の要因としても多大な影響を与える。

これまで適合性に関する研究¹⁸⁻²¹⁾では、金属鋳造修復およびCAD/CAMで製作した歯冠修復物において、セメントスペースが120 μm 以下であれば、臨床的に許容可能であるとするMacLeanら¹⁸⁾の報告に同意してきたが、最近の248件の文献レビューによるCAD/CAMによる歯冠修復物の適合性は、80 μm 以内の精度であると報告²²⁾されており、CAD/CAMシステムの適合精度は向上している。また、支台歯のテーパーが12°の場合は、テーパーが4°や8°のときよりも適合性は良好であった²³⁾との報告から、支台歯のテーパーは適合性に影響を与えることが窺える。さらにクラウンの維持力は、軸面テーパー、軸面の状態、セメントの被膜厚さやセメント自体の強度の影響を受け²⁴⁾、支台歯のテーパーが小さいほど、稠度の値が低いセメントでは装着時に浮き上がりが見られている²⁵⁾。しかしながら、セメントスペースを付与することが合着時の浮き上がり対策として非常に有効であり、金属鋳造修復と比較すると、CAD/CAMで製作した補綴装置は術者の任意で適正なセメントスペースを容易に付与できる²⁵⁾ことから、症例に応じたセメ

歯型 (頬側面観)	CAD/CAM システム	セメント スペーサー	クラウンと歯型 の間隙	クラウンと支台歯 の間隙
1. 	Scanning: 3shape Milling: Roland DWX-50	50 μ m		
2. 	Scanning: 3shape Milling: GC Aadva LW-I	10 μ m		
3. 	Scanning: 松風 S-WAVE Milling: Roland DWX-50	70 μ m		

矢印：フィニッシュライン

CAD/CAM 冠製作：1. 和田精密歯研株式会社，2, 3. 仙台市内歯科技工所

図 6 CAD/CAM 冠と歯型および支台歯の間隙

ントスペースの設定が必要であると考えらる。

三浦ら¹⁰⁾の報告では3症例において、CAD/CAM 冠を製作し、その模型上でのクラウンと歯型のセメントスペースおよび口腔内でのクラウンと支台歯のセメントスペースについて、ブラックシリコーン法^{18,19)}により確認した(図5,6)。その結果、クラウンと支台歯のセメントスペースは、クラウンと歯型のセメントスペースよりも、咬合面部、軸面部、辺縁部全てにおいて大きくなる傾向がみられた。歯種、支台歯形成、製作するCAD/CAMシステムやセメントスペースの設定量が異なること、シリコーン印象材の精度の影響などがあり、単純比較はできないが、これらの現象は、スキャン時の補正によるものと考えられ、この補正は適合性に影響を及ぼすことが予想される。

VI. クラウン脱離に影響する要素

CAD/CAM 冠と従来から使用されていた全部金属冠やレジンジャケットクラウンと比較すると、両者の違いは製作方法と構成材料に集約される。しかしながら、その二つの違いの背景には非常に複雑で不確定な要素があり、CAD/CAM 冠にまつわるトラブルの解明を困難なものとしている(図7,8)。クラウンの脱離に影響する要素として、リテンションとレジスタンスが挙げられる。また、接着材を使用することで化学

的結合力も加味することができる。リテンションとレジスタンスは支台歯の形態に大きく影響を受ける。支台歯の高さや大きさ、テーパーなどは直接的な脱離の原因として当てはまる。

CAD/CAM 冠の場合、全部金属冠と比較して大きなクリアランスが必要であるため、同じ大きさの患歯であったとしても支台歯は小さくなる。また、スキャン精度を担保するために、形状が大きく変化する場所から角を取り去って、極力丸みを持った形態と連続性が保たれた辺縁が求められる。これら要素も少なからず脱離に影響を与えていると考えられる。疋田ら⁵⁾も、CAD/CAM 冠は対合歯とのクリアランスを多めにとる必要があるため、軸面の高さは低くなる傾向があるとしている。また、脱離したクラウンの半数以上が、CAD/CAM 冠経験本数の1-2本目で発生していたことから、CAD/CAM 冠の安定した予後のためには、ある程度の経験が必要であり、ここでも歯科医師が支台歯形成や接着操作を確実にを行うことの重要性⁹⁾を示している。

適正に製作されたCAD/CAM 冠は高い適合精度を有する。しかしながら、実際の実臨の場では広すぎるセメントスペースを有するクラウンと出会うことも多い。適合の悪いクラウンは先に説明したとおりリテンションを低下させるのみならず、セメントの接着強さをも低下させる恐れがある。新谷ら²⁶⁾は100、



図7 装着3カ月後のルートプレーニング時に上顎
左側第2大臼歯のCAD/CAM冠が脱離

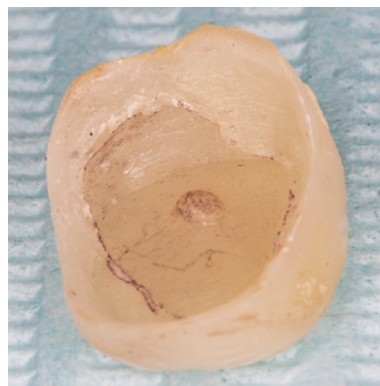


図8 脱離したクラウンの内面

300 μm とセメント層の厚さを増加させた場合に、せん断接着強さが低下することを報告している。また、5, 100, 200, 300 μm の異なるセメント層の厚みを比較した清水ら²⁷⁾ の報告でも、同様の傾向が認められている。黒川ら²⁸⁾ はセメント層の厚みを 50 μm と 200 μm との2条件にてせん断接着強さの計測を行い、セメント層の厚さによって接着強さが変化することを報告している。さらにセメント層 200 μm 試験片の接着界面を走査電子顕微鏡にて観察した結果、象牙質-セメント間に空隙が生じていたことを確認しており、セメントの重合収縮量との関係が示唆されている。重合収縮はレジン材料において避けることができない性質であり、重合収縮量はその体積に正比例する。つまり、広いセメントスペースが存在すると、そのセメントの体積が大きくなり、結果として収縮量が増える。また、そこでセルフアドヒーズセメントを使用した場合、クラウン装着時の象牙質との接着が獲得される前に外からの光照射によって：1) クラウン側から重合が開始され；2) 照射方向へのセメントの収縮が始まり；3) まだ脆弱な接着しか得られていないセメント-支台歯の界面が劣化している可能性がある。これが装着初期に起こる脱落の一因になると推測される。

VII. CAD/CAM 冠の接着理論

1. CAD/CAM 冠用レジンプロック-レジンセメント界面の接着

Higashi ら²⁹⁾ は CAD/CAM 冠用レジンプロック (カタナ アベンシア ブロック, クラレノリタケデンタル, 東京, 日本) を用いて、プライマー型接着性レジンセメント (パナビア V5, クラレノリタケデンタル, 東

京, 日本) およびセルフアドヒーズセメント (SAルーティング, クラレノリタケデンタル, 東京, 日本) との接着を評価した。その結果、サンドブラスト処理でもシラン処理でも接着強さが有意に上がることが確認された。また、接着試験試料の破断面観察から、サンドブラスト処理とシラン処理の両方を行うことが推奨されると結論付けた。本技法を用いた場合、プライマー型接着性セメント群は 80 MPa 以上の非常に高い接着強さを達成し、セルフアドヒーズセメント群も 50 MPa を超え、両セメント群とも临床上十分と考えられる接着強さがあると実験的には確認することができた。

Kawaguchi ら³⁰⁾ は「サンドブラスト処理後の超音波洗浄」および「シラン処理前のリン酸処理」で接着能が上がると仮説を立て、追加実験を行った。その結果、予想に反して、超音波洗浄やリン酸処理による接着強さの向上は認められなかった。本研究結果から、この実験に使用した CAD/CAM 冠用レジンプロックと接着性レジンセメントにおいては、これまでの「サンドブラスト後の超音波洗浄により表面に付着したアルミナを除去する必要がある」、「リン酸処理により OH 基が配向することにより接着能が向上する」とされていた通説が覆された。さらに萩野ら³¹⁾ は CAD/CAM 冠用レジンプロックとしてカタナ アベンシア ブロックにセラスマートも加えてサンドブラスト後の超音波洗浄の影響を確認し、超音波洗浄によりレジンセメントの接着強さが向上しないと報告している。

川口ら³²⁾ は臨床環境を想定し、唾液で汚染させたレジンプロックを用いて接着試験を行った。その結果、唾液汚染後は接着強さが有意に下がることが明らかになった。一方、サンドブラスト処理やリン酸処理によつ

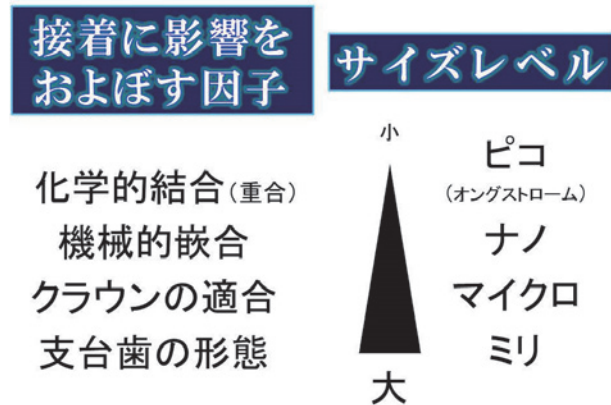


図9 接着に影響をおよぼす因子とそのサイズレベル

て接着強さが回復すると報告している。

これらの研究はCAD/CAM冠用レジンプロックセメントの界面に注目しているため、歯質を使用していない材料に限定した実験である。また、これらの報告は限定されたCAD/CAM冠用レジンプロックやセメントに関するものであり、実際の臨床においては模型に使用された分離材等ほかの接着阻害因子の影響を受けることもあり、実際の臨床に適用する場合にはさらなる研究が必要である。

2. CAD/CAM冠用レジンプロックへの接着に関するシステムティックレビュー

壁谷ら³³⁾はCAD/CAM冠用レジンプロックへの接着に関する研究61論文を確認した。その結果、CAD/CAM冠用レジンプロックに対するサンドブラスト処理の効果を確認している論文全てにおいて接着強さの向上が認められた。サンドブラスト処理は金属被着面処理として、本邦において開発された接着技法であり、CAD/CAM冠用レジンプロックに対してもその有効性は確かである。本レビューでは機械的結合力を高めるブラスト処理法として、トライボケミカル処理の有用性も確認されている。サンドブラスト処理においては酸化アルミニウム（アルミナ）を用いるのに対して、トライボケミカル処理ではシリカでコーティングされたアルミナを用いる。商品としては3M ESPEのCojetやDanville社のSilJetがある。

一方、サンドブラスト（トライボケミカル）処理後の「シラン処理」については、接着強さの向上が認められなかった研究も存在した。シラン処理に関してはCAD/CAM冠用レジンプロックならびにシラン処理材の種類により、その効力が認められないことが示唆されたが、現状ではどのCAD/CAM冠用レジンプロ

ックとどのシラン処理材との相性が良くないかまでは明らかとなっていないため、さらに検討が必要である。

3. 歯質-レジンスメント界面の接着

CAD/CAM冠用レジンプロックの接着に関する研究61論文のレビュー³³⁾では、形成した歯質に対するレジ冠を作製し、その冠ごと引張試験を行った研究も取り上げている。それらの結果から現在のところ、CAD/CAM冠の歯質への接着においてセルフアドヒーズセメントを用いることの優位性を示す報告がないことが明らかとなった。一方、全部金属冠はセルフアドヒーズセメントやガラスイオノマーセメントを使用しても短期間に脱落することは経験しない。また、接着性のないリン酸亜鉛セメントで装着した全部金属冠であっても、その予後は現在のCAD/CAM冠より良好であると考えられる。

冠が脱落した際、歯質にレジンスメントがある場合と、冠側にレジンスメントがある場合とでは、その意味が全く異なる。前者は冠-レジンスメント間に、後者は歯-レジンスメント間に問題があることを意味する。現在、臨床で認められているCAD/CAM冠の脱落症例においては、このどちらの場合も混在している。また、冠内面の被着面処理を適切に行っている場合においても脱落が認められている。この事象は、CAD/CAM冠の脱落は単純に接着技法の問題だけではない可能性があることを示している。

接着に影響をおよぼす因子としては「機械的結合」や「化学的結合」といったマイクロ・ナノレベル以下の要因から、「支台歯や冠の形態」といったセンチ・ミリレベルの要因がある（図9）。したがって、冠脱落の原因が明らかとなっていない現状では接着操作のみならず、その他の要因に対しても細心の注意を払う

べきであると強調したい。

VIII. CAD/CAM 冠の接着術式

1. 支台歯に対して

CAD/CAM 冠を装着する場合、プロビジョナルレストレーションを撤去後、一部の支台歯に残留した仮着材は、象牙質に対する接着阻害因子として知られているため³⁴⁻³⁹⁾、仮着材を除去しなければならない。象牙質表面の仮着材を除去する方法としては、エキスカベーターを用いる方法³⁹⁻⁴¹⁾、超音波スケーラーを用いる方法⁴²⁾、アルミナブラストを用いる方法³⁹⁾、歯面清掃用ペースト^{38,43)}やブラシ⁴²⁾を用いる方法などが挙げられる。エキスカベーターを用いて仮着材を除去した際、一部の装着材料の象牙質に対する接着強度が低下するという報告もある³⁹⁾。そのため、歯面清掃用ブラシを使用して、支台歯表面に付着した唾液⁴³⁾、血液⁴⁴⁾、仮着材などの接着阻害因子を除去後に接着操作を行うことが重要である⁴²⁾。

支台歯側の接着対象は、象牙質とコンポジットレジンや金属などの築造体である。象牙質に対しては、仮着材を除去後、使用する装着材料のシステムに沿った処理を行う。コンポジットレジンに対しては、口腔内に使用可能なアルミナブラスト処理⁴⁵⁾（マイクロエッチャー II，ダンビルマテリアル（モリムラ），東京，日本）を行い、表面に露出したフィラーに対して、シラン処理が有効である⁴⁶⁾。金属に対しては、アルミナブラスト処理後に使用金属に適したプライマーを使用する。健保適用の金属のなかでも金銀パラジウム合金は、接着に適した金属として推奨される⁴⁷⁾。金銀パラジウム合金の表面処理は、アルミナブラスト処理を行った後に、含硫黄化合物を含有した金属用プライマーを使用する⁴⁷⁾。しかし、実際の臨床では、接着対象が複数になることが多く、各対象に適した処理を行うのは煩雑である。よって支台歯の表面積を占める割合が大きい対象物の処理を重視することが推奨される。

2. CAD/CAM 冠に対して

試適調整の終了した CAD/CAM 冠の内面は、唾液、血液あるいは歯肉溝滲出液などの接着阻害因子に汚染されている。その為、試適調整後に冠内面の機械的、化学的接着処理を行う。

機械的処理には、サンドブラスト処理が有効である（「VI. CAD/CAM 冠の接着理論」参照）。サンドブラスト処理に使用される歯科用の砥粒は、酸化ア

ルミニウム、ガラスビーズ（ソーダガラスの球状微粉末）、炭化ケイ素、酸化アルミニウム表面にシリカがコーティングされたものなどが挙げられる。CAD/CAM 冠内面に有効な砥粒は、ガラスビーズ⁴⁸⁾、酸化アルミニウム^{49,50)} および酸化アルミニウム表面にシリカがコーティングされたもの⁵²⁾ である。国産の CAD/CAM 冠用レジンプロックを用いて接着強さを計測した研究によれば、セラスマートにはアルミナブラスト処理^{48,50,52)}、カタナ アベンシア ブロックにおいてもアルミナブラスト処理²⁹⁾、松風ブロック HC（松風，京都，日本）には、ガラスビーズブラスト処理⁴⁸⁾ が有効であると報告されている。いずれにせよサンドブラスト処理を行うことによって、接着阻害因子を除去し、表面を粗造化することによる接着面積の増加、フィラーの表面への露出などの効果がある。サンドブラスト処理の際の噴射圧は、金属への処理とは異なり、0.1～0.3 MPa^{30,48)} にて行うのが推奨される。また、表面の粗造化を目的として、CAD/CAM 冠内面にフッ化水素酸によるエッチングが有効であるとの報告もある^{49,50,52)}。

フッ化水素酸によるエッチングは、シリカ系の陶材で製作されたオールセラミックスクラウンやラミネートベニアの内面処理によく使用され、シリカを選択的に溶解することにより、処理表面を粗造にする。CAD/CAM 冠用レジンプロックに対してもフッ化水素酸によるエッチングの有効性は報告されており^{49,50,52,53)}、シリカ系マクロフィラーの含有率が高い海外の製品には有効と思われるが、国産の CAD/CAM 冠用レジンプロックに対する有効性に関しては報告が少なく、機械的処理としてはアルミナブラスト処理が第一選択になると思われる。なお、アルミナブラスト処理後のリン酸処理、水中超音波洗浄は、接着阻害因子である水分が接着面に残留することになるので、不必要な処理と考えられる³⁰⁾。

化学的処理は機械的な処理が終了した CAD/CAM 冠内面に行う。CAD/CAM 冠用レジンプロックのフィラーには、シリカ系のものが含まれるため、シラン処理が有効である。複数の論文にて CAD/CAM 冠用レジンプロックの接着には、アルミナブラスト処理とシラン処理の併用が有効であると報告されている^{49,51,52,53)}。

3. 装着材料

支台歯および CAD/CAM 冠内面の表面処理が終了後、速やかにレジン系装着材料を用いてクラウンを装着する。レジン系装着材料は、様々な製品が市販され

ており、装着材料の違いが、CAD/CAM 冠の接着耐久性に影響を及ぼすとの報告もある³⁰⁾。

末瀬⁶⁾の CAD/CAM レジン冠の実態調査では、「装着に使用されたセメントはすべて接着性レジンセメントであった」と、報告されている。また、「印象採得に用いられた方法は寒天・アルギン酸連合印象が 83%であった。」と記されていることから、保険診療で選択される材料はコスト面を考慮したものであると考えることができ、装着材料に関しては「接着性レジンセメント」であってもセルフアドヒーズセメントが使用されている可能性が高い。しかしながら、CAD/CAM レジン冠のトラブル原因が明らかとなっていない現状では、より歯質接着能の高い「歯質処理材（プライマー）を有したシステム」を用いるべきであると考えられる。

IX. 今後の課題と展望

本稿では CAD/CAM 冠の現状把握のために臨床研究報告を確認し、CAD/CAM 冠のトラブルは脱落が圧倒的に多く、冠装着後早期に発生する傾向が明らかとなった。そして冠脱落の原因として、接着技法のみではなく、CAD/CAM 冠用レジンブロックの特徴、支台歯形態、冠の適合性（デジタルテクノロジーと実臨床との摺合せの現状）と CAD/CAM 機器の適切な使用方法にも注目して考察した。

CAD/CAM 冠は必要なクリアランスが大きくなるため、支台歯の軸面高さが不足する傾向がある。また、CAD/CAM は角の存在を嫌うため支台歯形態は可及的に丸く仕上げるのが求められ、さらにテーパーも大きく設定しなければならない。それらの要求から、必然的に支台歯形態が有するリテンションやレジスタンスが損なわれ脱落の確率が高まる。従来であれば、そのような支台歯形態に対し、補助的保持形態の応用で対応してきたが、現状ではスキャニング・ミリング精度の低下を招くため付与することができない。今後、CAD/CAM システムが進化していく中で、新しい発想の CAD/CAM 冠特有の保持形態付与（リテンティブグループ等）に関する研究^{54,55)}が期待される。

そして CAD/CAM 冠レジンブロックのさらなる物性向上により、必要とされているクリアランスを減少させられる可能性がある。現に CAD/CAM 冠の調査報告⁶⁾からも破折の報告は非常に少ない。もちろん、レジンセラミックと比較して破折強度が高いという特徴を有する材料ではあるが、その破壊様式は脆性と判断して問題はないであろう。材料学的に脆性材料は、

その装置自体の総合的な強度を接着補強によって担保し、接着不良は破折やチッピングとして現れることが一般的であった。脱離した多くの CAD/CAM 冠が再装着可能であったということは、破折に対する高い抵抗性を有する可能性を示唆している。また、マージン形態の違いがクラウンの応力集中に及ぼす影響を有限要素法解析にて計算すると、レジンクラウンでは非常に小さい応力集中を示した⁵⁶⁾。そして、ナイフエッジのような非常に薄いマージン形態であっても、同様の傾向を示し、セラミッククラウンと比較して少ないマージン部クリアランスを許容できる可能性がある。そして形成量の減少が CAD/CAM 冠の生活歯への応用を容易にする要素となり、補綴領域におけるミニマルインターベンションをより実現化させる可能性がある。

適合性に関して CAD/CAM 冠はスキャニングやミリングなどの機器性能の影響を受ける。また、そのフィッティングに対する感覚も全部金属冠のような friction fit とは異なる。friction fit ではいくつか存在するハイスポットが支台歯と接触することで安定を得る。しかし CAD/CAM 冠では均一なセメントスペースの確保が可能であるため、全部金属冠のような抵抗感は感じられない。これは一見、適合が悪いように勘違いするであろうが、真に適合が良好なクラウンは、均一なクラウン内面－支台歯の間隔が再現されているため、抵抗感は感じられない。適合性の判断に関しては、歯科医師の感覚や経験だけでなく、研究論文を主な情報とするべきである。精密鑄造は、多くの研究結果に裏付けされた蠟型採得－埋没－鑄造等の一連の操作や石膏や材料間の補正で信頼性の高い適合性が得られるのに対し、CAD/CAM 冠ではデジタル情報や加工の精度に対する独自の補正が確立されているとはいえない。今後はスキャナー、設計プログラム、加工機それぞれに対する補正、データ変換後の補正、そして、オープン化されたさまざまな機器の組み合わせに対し精度の最適化に関する研究が求められる。

近年、冠とポスト部が一体になった補綴装置「エンドクラウン」が注目されている⁵⁷⁻⁶⁰⁾。過去に「歯冠継続歯」と呼ばれていた補綴装置と形態は似ているが、その材質、ポスト部の長さ、さらにデジタルテクノロジーが応用できるところに大きな違いがある。今後、CAD/CAM 冠にコア部、ポスト部が付与された補綴装置が治療の選択肢となれば、CAD/CAM 冠におけるクリアランス不足による問題、支台歯形態による問題、セメントスペースの問題が全て解消される可能性が秘められている。

接着阻害因子

CAD/CAM冠 装着への影響度

- | | |
|------------------|-----------------|
| 1. カリエス | × (影響する可能性は低い) |
| 2. オイル(タービン等)の付着 | ○ (他の補綴装置と同様) |
| 3. 分離材 | ○ (模型や支台歯からの影響) |
| 4. 仮着材 | ○ (コア清掃に注意が必要) |
| 5. 唾液 | ◎ (試適時, 特に付着する) |
| 6. エッチング材内の増粘剤 | ◎ (特に付着する可能性あり) |
| 7. 洗浄時の水分 | ◎ (乾燥困難である可能性大) |
| 8. 血液, 歯肉溝滲出液 | ○ (試適時の影響は◎) |
| 9. 呼気中の湿気 | ○ (他の補綴装置と同様) |
| 10. 誤操作 | ◎ (接着理論の習得が必須) |

図 10 接着阻害因子と CAD/CAM 冠装着に与える影響度

接着歯学研究においては、これまで以上に「接着阻害因子」に焦点を当てる必要がある(図 10)。基礎研究における CAD/CAM 冠コンポジットレジンブロックと接着性レジンセメントとの接着に明らかな問題は認められない。このことは臨床で脱離が多く認められていることと乖離しており、そのギャップから目をそらすことは得策ではない。

前向き臨床研究は後向き研究と比べると良質なエビデンスとなるとされている。しかしながら、前向き研究の実行は多くの困難がともなうことが必定であり、研究期間も長くなることを避けられない。一方、後向き研究は比較的容易に行えるものの、必要な情報が担保できない。そのような中、CAD/CAM を応用した場合は治療終了後も支台歯や冠の形態の正確なデータを獲得することが可能である。したがって、これまでの後向き研究と大きく異なる。さらにこれらのデジタルデータを活用し負荷をかけた場合の挙動も分析することができ、より深く考察することができる。さらに、デジタルデータの利点を生かし、多くの施設からデータを採取することで、ビックデータの解析が可能であるため、より信頼性・一般性の高い研究が行えるであろう。今後、CAD/CAM 冠の長期予後を得るための要件が明らかになることにより、保険適用のメタルフリーとしてさらに発展し、歯科治療の効率化、質的向上とコストの低減化など、将来への波及効果ははかりきれない。

X. おわりに

平成 28 年 12 月において、保険適用の CAD/CAM 冠レジンブロックは多種存在し、それぞれマトリック

スおよびフィラーの組成、粒径および含有率が異なる。また、今後新規の CAD/CAM 冠レジンブロックが次々と発売されるであろう。デジタルデンティストリーを応用したメタルフリー補綴治療のニーズは増加の一途をたどっているが、その臨床を支えている材料や治療方法が予後にどのような影響を与えるかという科学的な裏付けは少ない。また、症例に応じた材料・製作方法・治療方法などの選択における歯科医師や歯科技工士の知識不足も否めない。

そのような状況の中、本邦において CAD/CAM 冠が健康保険に適用となり、日常臨床で頻繁に使用されるようになった。現在我々は、本邦におけるデジタルデンティストリーならびにメタルフリー補綴が「推進する道」と「後退する道」の大きな岐路に立っているのかもしれない。今後「推進する道」へ進むために、臨床においては診療指針を遵守した支台歯形成や接着操作を行うとともに、クラウン作製ステップにも十分配慮することが必須である。また、さらにエビデンスレベルの高い診療指針を構築するために、多岐にわたる基礎研究と良質な臨床研究が求められる。

我々日本補綴歯科学会会員は、世界に先駆けてデジタルデンティストリーならびにメタルフリー補綴を広く活用するチャンスに恵まれたと捉えることができる。これこそが、イブニングセッション²⁾でもフォーカスされたことであり、それを会員に伝えることが本稿の真の目的である。本会の研究者、特に若手研究者の奮起を切に願ひ小稿を閉じる。

COI 開示

本稿で紹介した内容に関して、開示すべき COI 関係にある企業はない。

文 献

- 1) 公益社団法人日本補綴歯科学会. 保険診療における CAD/CAM 冠の診療指針. <http://hotetsu.com/j/doc/cadcam.pdf>
- 2) 新谷明一, 三浦賞子, 小泉寛恭, 峯 篤史. CAD/CAM レジンクラウン, 臨床で困っています?! . 日補綴会誌 8・125 回特別号 2016: 105.
- 3) 伊藤 裕. 金属鑄造体の製作. 青木英夫, 田端恒雄, 横塚繁雄ほか編, クラウン・ブリッジ補綴学第 2 版, 東京: 医歯薬出版; 2000, 52-67.
- 4) 吉田恵夫. 歯科鑄造法の実用的精度について. 補綴誌 1958; 2: 159-186.
- 5) 疋田一洋, 舞田健夫, 川上智史, 池田和博, 齊藤正人, 田村 誠ほか. CAD/CAM ハイブリッドレジックロックにより製作したクラウンの臨床評価. 日補綴会誌 2009; 1: 64-70.
- 6) 末瀬一彦. 保健診療に導入された「CAD/CAM 冠」の初期経過に関する調査研究. 日本デジタル歯科学会雑誌 2015; 5: 85-93.
- 7) 末瀬一彦. CAD/CAM 冠装着に関する調査研究. 日補綴会誌 8・125 回特別号 2016: 254.
- 8) 神谷治伸, 高江洲雄, 篠崎陽介, 杉本太郎, 一志恒太, 平川智裕ほか. 小白歯部ハイブリッドレジッククラウンの脱離とクラウン内面接着処理の関係. 第 7 回日本デジタル歯科学会抄録集 2016: 104.
- 9) 疋田一洋, 神成克映, 田村 誠, 舞田建夫, 中川英俊. 装着後平均 10.6 か月における CAD/CAM 冠の臨床調査. 平成 28 年度東北・北海道支部学術大会 2016: 35.
- 10) 三浦賞子, 笠原 紳, 山内しのぶ, 岡崎恵子, 勝田悠介, 原田章生ほか. ハイブリッドレジック CAD/CAM 冠症例の短期予後調査. 平成 27 年度東北・北海道支部学術大会 2015: 26.
- 11) スリーエムジャパン株式会社ヘルスケアカンパニー <http://www.mmm.co.jp/news/info/20150622.pdf>
- 12) Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetusssin BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FPDs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). Dent Mater 2015; 31: 603-623.
- 13) Schepke U, Meijer HJ, Vermeulen KM, Raghoobar GM, Cune MS. Clinical Bonding of Resin Nano Ceramic Restorations to Zirconia Abutments: A Case Series within a Randomized Clinical Trial. Clin Implant Dent Relat Res 2016; 18: 984-992.
- 14) Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. J Prosthet Dent 2015; 114: 587-593.
- 15) Paula Silveira AC, Chaves SB, Hilgert LA, Ribeiro AP. Marginal and internal fit of CAD-CAM-fabricated composite resin and ceramic crowns scanned by 2 intraoral cameras. J Prosthet Dent 2016; doi: 10.1016 [Epub ahead of print].
- 16) Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodesser J. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. J Dent 2010; 38: 553-559.
- 17) Brawek PK, Wolfart S, Endres L, Kirsten A, Reich S. The clinical accuracy of single crowns exclusively fabricated by digital workflow—the comparison of two systems. Clin Oral Investig 2013; 17: 2119-2125.
- 18) Miura S, Inagaki R, Kasahara S, Yoda M. Fit of zirconia all-ceramic crowns with different cervical margin designs, before and after porcelain firing and glazing. Dent Mater J 2014; 33: 484-489.
- 19) 須藤紀博, 三浦賞子, 稲垣亮一, 兼田陽介, 依田正信, 木村幸平. CAD/CAM システムで製作したオールセラミッククラウンの適合に関する基礎的研究. 日補綴会誌 2009; 1: 21-28.
- 20) MacLean JW, Von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. Br Dent J 1971; 131: 107-111.
- 21) Komine F, Iwai T, Kobayashi K, Matsumura H. Marginal and Internal Adaptation of Zirconium Dioxide Ceramic Coping and Crowns with Different Finish Line Designs. Denta Mater J 2007; 26: 659-664.
- 22) Boitelle P, Mawussi B, Tapie L, Fromentin O. A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. J Oral Rehabil 2014; 41: 853-874.
- 23) Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Naumann M. Effect of preparation angles on the precision of zirconia crown copings fabricated by CAD/CAM system. Dent Mater J 2008; 27: 814-820.
- 24) Wiskott HW, Belser UC, Scherrer SS. The Effect of Film Thickness and Surface Texture on the Resistance of Cemented Extracoronary Restorations to Lateral Fatigue Loading. Int J Prosthodont 1999; 12: 255-262.
- 25) 加藤裕光, 笠原 紳, 木村幸平, 奥野 攻. CAD/CAM クラウンのテーパー, セメントスペースと稠度が適合に与える影響. 日補綴会誌 2009; 1: 139-147.
- 26) 新谷明一, 新妻瑛紀, 清水沙久良, 小森太郎, 五味治徳. 歯質用プライマー併用可能型セルフアドヒーズレジンセメントの象牙質に対するせん断接着強さ. 接着歯学 2016; 34: 113.
- 27) 清水沙久良, 新谷明一, 小森太郎, 新妻瑛紀, 黒田聡一, 五味治徳. セメントスペースの厚さが CAD/CAM レジックロックに対するレジンセメントの接着強さに及ぼす影響. 接着歯学 2016; 34: 120.
- 28) 黒川弘康, 今井亜理紗, 須田駿一, 川本 諒, 飯野正

- 義, 宮崎真至. 歯質用接着強化プライマーを用いたセルフアドヒーズレジンセメントの接着性能. 接着歯学 2016 ; 34 : 114.
- 29) Higashi M, Matsumoto M, Kawaguchi A, Miura J, Minamino T, Kabetani T, et al. Bonding effectiveness of self-adhesive and conventional-type adhesive resin cements to CAD/CAM resin blocks. Part 1: Effects of sandblasting and silanization. Dent Mater J 2016; 35: 21-28.
- 30) Kawaguchi A, Matsumoto M, Higashi M, Miura J, Minamino T, Kabetani T, et al. Bonding effectiveness of self-adhesive and conventional-type adhesive resin cements to CAD/CAM resin blocks. Part 2: Effect of ultrasonic and acid cleaning. Dent Mater J 2016; 35: 29-36.
- 31) 萩野僚介, 峯 篤史, 上村 (川口) 明日香, 東 真未, 田尻裕子, 壁谷知茂, 中谷早希, 松本真理子, 矢谷博文. CAD/CAM冠用レジン接着技法の探究—第五報 2種のブロックにおける超音波洗浄の影響—. 平成28年度日本補綴歯科学会関西支部学術大会抄録集 2016:22.
- 32) 川口明日香, 峯 篤史, 松本真理子, 田尻裕子, 東 真未, 壁谷知茂, 南野卓也, 三浦治郎, 矢谷博文. CAD/CAM冠用レジンに対する接着技法の探究—第三報唾液汚染による接着能低下とその解決法—. 接着歯学 2015 ; 33 : 135.
- 33) 壁谷知茂, 峯 篤史, 松本真理子, 今井 大, 東 真未, 川口明日香, 中谷早希, 江崎良真, 矢谷博文. CAD/CAM用レジン接着に関するシステムティックレビュー. 接着歯学 2015 ; 33 : 131.
- 34) Paul SJ, Scharer P. Effect of provisional cements on the bond strength of various adhesive bonding systems on dentine. J Oral Rehabil 1997; 24: 8-14.
- 35) Watanabe EK, Yamashita A, Imai M, Yatani H, Suzuki K. Temporary cement remnants as an adhesion inhibiting factor in the interface between resin cements and bovine dentin. Int J Prosthodont 1997; 10: 440-452.
- 36) Kanakuri K, Kawamoto Y, Kakehashi Y, Matsumura H. Influence of temporary cements on bond strength between resin-based luting agents and dentin. Am J Dent 2006; 19: 101-105.
- 37) Carvalho EM, Carvalho CN, Loguercio AD, Lima DM, Bauer J. Effect of temporary cements on the microtensile bond strength of self-etching and self-adhesive resin cement. Acta Odontol Scand 2014; 72: 762-769.
- 38) Bagis B, Bagis YH, Hasanreisoglu U. Bonding effectiveness of a self-adhesive resin-based luting cement to dentin after provisional cement contamination. J Adhes Dent 2011; 13: 543-550.
- 39) Fiori-Junior M, Matsumoto W, Silva RA, Porto-Neto ST, Silva JM. Effect of temporary cements on the shear bond strength of luting cements. J Appl Oral Sci 2010; 18: 30-36.
- 40) Abo-Hamar SE, Federlin M, Hiller KA, Friedl KH, Schmalz G. Effect of temporary cements on the bond strength of ceramic luted to dentin. Dent Mater 2005; 21: 794-803.
- 41) Kanakuri K, Kawamoto Y, Matsumura H. Influence of temporary cement remnant and surface cleaning method on bond strength to dentin of a composite luting system. J Oral Sci 2005; 47: 9-13.
- 42) Schwartz R, Davis R, Hilton TJ. Effect of temporary cements on the bond strength of a resin cement. Am J Dent 1992; 5: 147-150.
- 43) Chung CW, Yiu CK, King NM, Hiraishi N, Tay FR. Effect of saliva contamination on bond strength of resin luting cements to dentin. J Dent 2009; 37: 923-931.
- 44) Kaneshima T, Yatani H, Kasai T, Watanabe EK, Yamashita A. The influence of blood contamination on bond strengths between dentin and an adhesive resin cement. Oper Dent 2000; 25: 195-201.
- 45) Cal-Neto JP, Castro S, Moura PM, Ribeiro D, Miguel JA. Influence of enamel sandblasting prior to etching on shear bond strength of indirectly bonded lingual appliances. Angle Orthod 2011; 81: 149-152.
- 46) Cotes C, Cardoso M, Melo RM, Valandro LF, Bottino MA. Effect of composite surface treatment and aging on the bond strength between a core build-up composite and a luting agent. J Appl Oral Sci 2015; 23: 71-78.
- 47) Matsumura H, Kamada K, Tanoue N, Atsuta M. Effect of thione primers on bonding of noble metal alloys with an adhesive resin. J Dent 2000; 28: 287-293.
- 48) Nobuaki A, Keiichi Y, Takashi S. Effects of air abrasion with alumina or glass beads on surface characteristics of CAD/CAM composite materials and the bond strength of resin cements. J Appl Oral Sci 2015; 23: 629-636.
- 49) Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: the effect of surface treatments. J Adhes Dent 2014; 16: 531-540.
- 50) Gungor MB, Nemli SK, Bal BT, Unver S, Dogan A. Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials. J Adv Prosthodont 2016; 8: 259-266.
- 51) Peumans M, Valjakova EB, De Munck J, Mishevskia CB, Van Meerbeek B. Bonding Effectiveness of

- Luting Composites to Different CAD/CAM Materials. *J Adhes Dent* 2016; 18: 289-302.
- 52) Lise DP, Van Ende A, De Munck J, Vieira L, Baratieri LN, Van Meerbeek B. Microtensile Bond Strength of Composite Cement to Novel CAD/CAM Materials as a Function of Surface Treatment and Aging. *Oper Dent* 2016, DOI: 10.2341/15-263-L.
- 53) El Zohairy AA, De Gee AJ, Mohsen MM, Feilzer AJ. Microtensile bond strength testing of luting cements to prefabricated CAD/CAM ceramic and composite blocks. *Dent Mater* 2003; 19: 575-583.
- 54) 新妻瑛紀, 新谷明一, 小森太郎, 清水沙久良, 黒田聡一, 五味治徳. CAD/CAM 冠内面に付与した溝が接着強さにおよぼす影響. *日補綴会誌東京支部総会・第20回学術大会プログラム・抄録集* 2016; 24.
- 55) 新妻瑛紀, 新谷明一, 清水沙久良, 小森太郎, 五味治徳. 溝加工の付与とセメントスペースとがCAD/CAM 冠の接着強さに及ぼす影響. *接着歯学* 2016;34:120.
- 56) Akikazu Shinya, Lippo V. J Lassila, Pekka K. Vallittu. The effect of preparation design on the marginal stress of resin-bonded metal-free crowns: A finite element study. *International Journal of Prosthodontics* 2008; 21: 445-447.
- 57) Lin CL, Chang YH, Chang CY, Pai CA, Huang SF. Finite element and Weibull analyses to estimate failure risks in the ceramic endocrown and classical crown for endodontically treated maxillary premolar. *Eur J Oral Sci* 2010; 118: 87-93.
- 58) Garoushi S, Shinya A, Shinya A, Vallittu PK. Fiber-reinforced Onlay Composite Resin Restoration: A Case Report. *J Contemp Dent Pract* 2009;10:104-110.
- 59) 新谷明一, 佐藤文裕, 新谷明喜. 崩壊の著しい失活歯をFRCハイブリッド型レジンポストアンレーで修復. *エコサイジングの修復治療*, 東京: デンタルダイヤモンド; 2009, 32-37.
- 60) 新谷明喜. MI時代の接着修復. 平成16年度生涯研修ライブラリーシリーズ0407, 日本歯科医師会, 2014.

著者連絡先: 新谷 明一

〒102-8159 東京都千代田区富士見1-9-20
日本歯科大学生命歯学部歯科補綴学第2講座
Tel & Fax: 03-3261-5738
E-mail: akikazu_dds@msn.com