

## 歯冠補綴治療における接着技法の現状

南 弘之

鹿児島大学大学院医 歯学総合研究科  
先進治療科学専攻 顎顔面再建学講座  
咬合機能補綴学講座

## Current state of bonding systems in fixed prosthodontic treatment

Hiroyuki Minami

Department of Fixed Prosthetic Dentistry  
Field of Oral and Maxillofacial Rehabilitation  
Advanced Therapeutic Course  
Kagoshima University Graduate School of Medical and Dental Sciences

### ABSTRACT

Progress of bonding techniques in dental materials is prompting to come through with the diverse demands in dental practice. Applications of bonding techniques enable the preservation of intact tooth structures during prosthetic and restorative treatments by minimal tooth reduction, which realize the minimally invasive clinical practice.

In these days, bonding to dentine, enamel, many kinds of alloys, and zirconia has been improved, however, definite technique has not yet been established for the bonding to ceramics and indirect resin composites. This article introduces the current state of bonding systems available to indirect resin composite, ceramics, metal-ceramic gold alloys, and zirconia, on the basis of the study results achieved in our laboratory. Some clinical cases are also presented to show how these bonding techniques should be used in clinical practice.

### 1. はじめに

歯科診療における接着技法の進歩は、多様化する歯科治療のニーズに応えるのにおおいに役立っている。臨床において接着技法を可及的に応用することは、最小限の歯質削除で欠損補綴を行う事により、修復治療において健全歯質を可及的に保存することを可能にしており、ミニマル・インターベンションの概念を具現化していると言える。

また、破折や顎堤との不適合を来した義歯修正は、確実で強固に補修を行うことで、使い慣れた義歯の継続使用を可能にする。これは、超高齢化社会を迎える

にあたり、外来診療への来院回数や、訪問診療時の訪問回数を減らして、患者および術者双方の負担軽減につながる。また、離島巡回診療や災害時の避難所等での診療活動にも有効であろう。

現在では、歯質、金属、ジルコニアなど、種々の修復材料に対する接着性は著しく向上しているが、セラミックス、コンポジットレジンなど、未だに十分な接着が得られていない材料もある。本稿では、日常の歯冠補綴治療に用いる材料について、当講座での研究成果と臨床例を中心に、接着技術の現状を紹介したい。

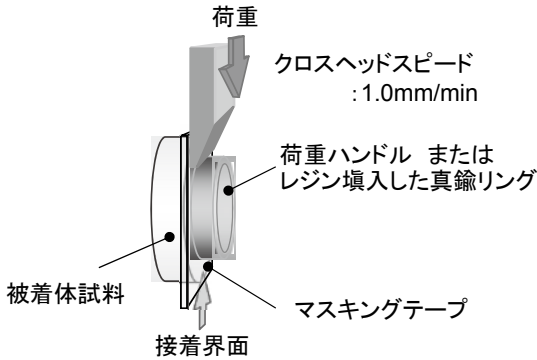


図1. 剪断接着試験片と剪断試験

## 2. 接着試験の概要

接着試験片と、接着強さ測定の概要を図1に示す。接着試験は、当講座では多く場合に剪断接着強さで評価している。剪断接着試験片は、被着体（何かを接着しようとする対象）と荷重用ハンドルを接着材で貼付けた構造、もしくは、被着体の上に目的とする材料を築盛した構造をしている。いずれも、被着体の被着面には評価の対象となる接着のための表面処理を行なう。

完成した試験片は、試験片作製直後の接着強さを測定するとともに、口腔内での接着耐久性を評価することが重要なので、耐久試験（加速試験、疲労試験、加齢試験）に曝される。耐久試験としては、熱サイクル試験が用いられることが多い。これは、試験片を5（±1）℃の冷水と55（±1）℃の温水に各1分ずつ交互に浸漬する方法で、温度変化による接着界面の膨縮とそれに伴う水分の侵入により、接着界面の劣化を促す方法である。5,000回の負荷が口腔内で半年に相当すると言われている<sup>1)</sup>。通常、熱サイクルを数千回から数万回与えた後に接着強さを測定している。

剪断試験は、図1に示すように、接着界面に沿って界面に平行に削ぐような力を加え、剥離に要する荷重を測定することによって行なう。破折に要する荷重(N)を接着面積(mm<sup>2</sup>)で除することによって、剪断接着強さ(N/mm<sup>2</sup>=MPa)を算出している。

## 3. 硬質レジン（ハイブリッドレジン）とレジンセメントの接着

臼歯部の歯冠修復においても、金属による鑄造修復物から、審美的要求を満たす材料の使用が望まれるようになっており、これは、金属アレルギーや辺縁歯肉への着色に対する懸念<sup>2)</sup>もこの傾向を促進している。

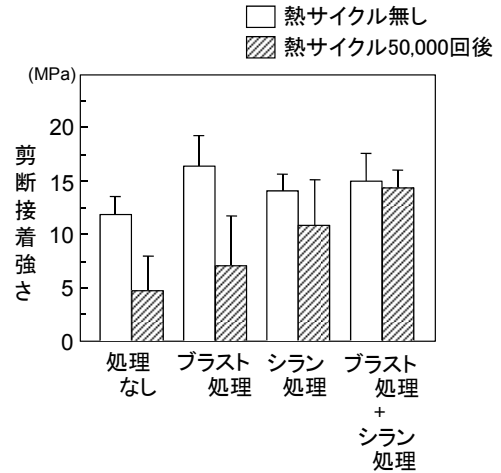


図2. ハイブリッドレジンに対するレジンセメントの接着強さ

その代表はオールセラミック修復であり、生体親和性<sup>3)</sup>や、審美的に優れる<sup>4)</sup>一方で、脆さ<sup>5)</sup>や、歯質切削量が多いこと、テクニクセンシティブであること<sup>6)</sup>、高価であることなどの欠点も持つ。

セラミッククラウンの安価な代替物として、ハイブリッドレジンを含むコンポジットレジンをを用いて製作するジャケットクラウンがある。近年のコンポジットレジンは改良が進み、セラミックに近い機械的強度<sup>7)</sup>や耐磨耗性<sup>8)</sup>を有する。しかし、完全に硬化し、表面の未重合層を除去したコンポジットレジンは、現在の歯科材料の中でも接着が最も困難な材料の一つとされる。

そこで、ハイブリッドレジン (Estenia C&B, クラレ) と接着性レジンセメント (Panavia F2.0, クラレ) の接着の実態を明らかにした<sup>9)</sup>。接着のため表面処理としては、平均粒径50μmのアルミナ粉末を用いたプラスト処理、シランカップリング剤 (Clearfil porcelain bond activator, クラレ) の塗布、およびそれらの組合せである。結果を図2に示した。両者の接着にあたっては表面処理が必須で、アルミナ粉末によるサンドプラスト処理後に、レジン中のガラス系フィラーに対してシラン処理を行なうことが重要であることが明らかとなった。

さらに槌打試験を用いて、ジャケットクラウンの耐久性に及ぼす、支台材料と装着材料の影響について、破折に至るまでの槌打回数によって評価した<sup>10)</sup>。これは、硬質レジン (Meta Color Prime Art, サンメディカル) とハイブリッドレジン (Estenia C&B) の2種類

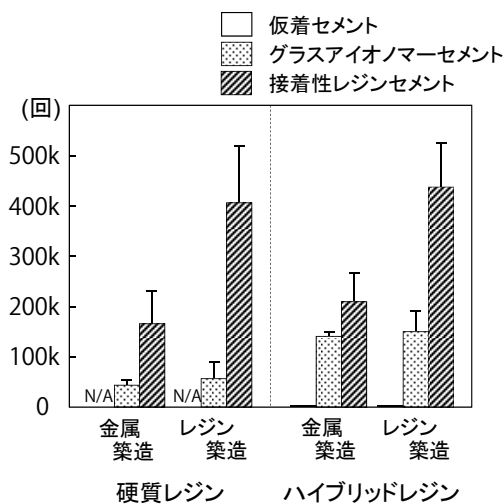


図3. ジャケットクラウンの耐久性に及ぼす支台材料と装着材料の影響



図4. CAD/CAM 冠製作に用いるハイブリッドレジンブロック

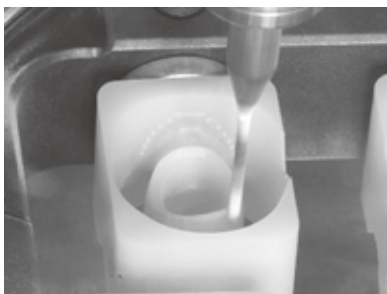


図5. CAD/CAM によるジャケットクラウンの削り出し

の材料で製作したジャケットクラウンを、金属支台またはレジン支台に、維持力の異なる3種類のセメントで装着した場合を比較している。結果を図3に示す。いずれのジャケットクラウンにおいても、支台材料に関わらず、接着性レジンセメントで接着することによって高い耐久性が得られることが実証された。

折しも、平成26年4月より、CAD/CAM 冠が保健診



図6. 支台歯形成



図7. 完成したCAD/CAM 冠



図8. 冠内面の接着用表面処理

療に導入された。これは、ハイブリッドレジンブロック（図4）からCAD/CAM システムを用いてジャケットクラウンを削り出して（図5）補綴物を製作するものである。

CAD/CAM 冠の臨床例を図6～10に示した。口腔内装着にあたって、従来法のジャケットクラウンと同様に、シラン処理が接着処理の要となると思われる。しかし、ブロックのフィラー含有率は製品により異なることから、フッ化水素によるエッチング<sup>9)</sup>が有効な可能性もあり、現在、詳細について検討を継続中である。また、コンポジット材料の修復材料としての導入は今後拡大することが予想されることから、フィラーへのシラン処理のみならず、接着処理が可能なマトリックステジンの開発等、新素材の開発を行なう必要がある。



図9. 支台歯の接着用表面処理



図10. 口腔内装着

4. 金属の接着

修復物の製作材料が、金属から非金属材料に進む一方で、現在のところ、金属を用いなければ達成し得ない治療も存在する。その代表として接着ブリッジが挙げられる。金銀パラジウム合金製の接着ブリッジは、信頼性を増したことから平成20年度に前歯部が、平成24年度に臼歯部が健康保険適応され、臨床で選択される頻度も増加している。金属の接着技法においては、プライマーの使用は不可避である。

1) 近年の金属用プライマー

金属用プライマーは、接着性モノマーを有機溶媒に溶解したもので、それぞれに異なる接着性モノマーを含有している(表1)。最近は、貴金属もしくは貴金属・非貴金属両用のものが普及している(図11)。



図11. 各種の金属接着用プライマー

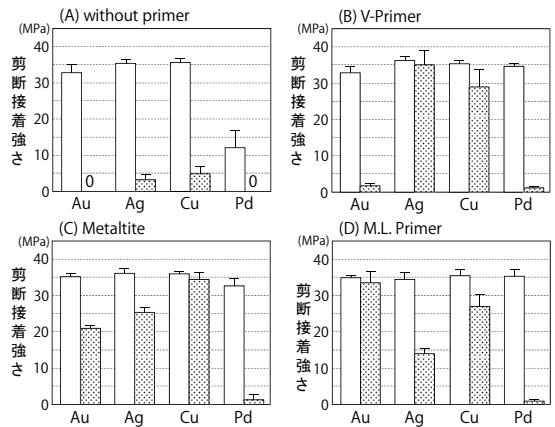


図12. 成分純金属とレジセメントの接着強さに及ぼす各種プライマーの効果

表1. 金属接着性プライマー

用途	製品名	接着性モノマー	製造元
非貴金属用	ボンディングライナー	4-META	サンメディカル
	MR ボンド	MAC-10	トクヤマデンタル
	アクリルボンド	4-AET	松風
	エブリコードオパークプライマー	MDP	クラレノリタケデンタル
貴金属用	V-プライマー	VBATDT	サンメディカル
	メタルタイト	MTU-6	トクヤマデンタル
貴金属・非貴金属両用	アロイプライマー	VBATDT, MDP	クラレノリタケデンタル
	メタルリンク	MDDT, MHPA	松風
	メタルプライマーII	MEPS	ジーシー

4-META, MAC-10, 4-AET: カルボン酸系モノマー  
 MDP: リン酸エステル系モノマー  
 VBATDT: トリアジンジチオール系モノマー  
 MDDT: チオクト酸系モノマー  
 MTU-6: チオウラシル系モノマー  
 MHPA: ホスホン酸モノマー  
 MEPS: チオリン酸エステル系モノマー

成分純金属とスーパーボンドC&Bの接着における貴金属用プライマーの効果を、熱サイクル試験前と熱サイクル2,000回負荷後に評価した<sup>11)</sup>。図12に結果を示した。プライマーによって反応性を示す成分純金属が異なり、V-プライマーは銀と銅、メタルタイトは銅、銀、そして金に対しても効果を認めた。メタルリンクは、金と銅に対して効果が高い効果を示した。これらの結果から、金銀パラジウム合金であるキャストウェル MC12（ジーシー）では、銀を46%、銅を20%含むことから、いずれのプライマーも金銀パラジウム合金に有効であることは想像に難くない。

対象金属の種類に関係なく各接着性モノマーに共通していることは、分子鎖の一端に金属と結合する構造を、他端にレジセメントと結合する構造を持つことである。貴金属用の接着性モノマーの金属に結合する構造にはイオウ（S）が含まれ、これが金属表面に結合する。しかし同時に、この構造はBPO-アミン重合開始系のレジセメントの重合を阻害するとされる。そのため、貴金属接着プライマーを用いる場合には、TBBO 重合開始系のスーパーボンドC&Bを使用することが多い。

2) 陶材焼付用貴金属合金への応用

金銀パラジウム合金を用いて作製される接着ブリッジの問題点は、大きく2点に集約される。一つは、合金などに比較すると、歯肉との親和性、腐食・変色の問題、 casting精度などでは若干劣る可能性である。もう一つは、前装に用いる硬質レジンの磨耗や、外来色素由来の着色、紫外線による変色、歯肉との親和性の悪さ、などである。この問題を解決するためには、貴金属の焼付用合金を使用してリテーナーを作製し、ポントニックを陶材で前装することが望ましいが、臨床応用されてこなかった。これは、初期の貴金属用接着性モノマーが焼付用貴金属合金に効果を示さなかったためであるが、これは、陶材焼成時の変色を防ぐために、接着性モノマーとの反応性が高い銅（Cu）が含まれないことや、やはり反応性の高い銀（Ag）も

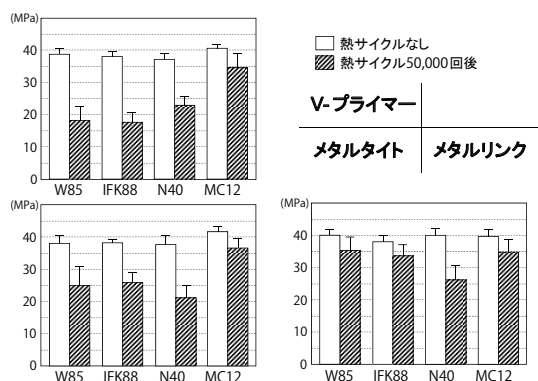


図13. 陶材焼付用貴金属合金とレジセメントの接着強さに及ぼす各種プライマーの効果

多少の変色を来すことから少量しか含まれない（表2）ためと考えられる。しかし、最も新規のメタルリンクが金（Au）に有効であったことから、表2に示す3種類の焼付用合金に対する貴金属用プライマーの効果を、金銀パラジウム合金の場合と比較した<sup>12)</sup>。熱サイクル試験前と熱サイクル50,000回負荷後の接着強さを図13に示した。金の含有率の高い焼付用合金は、メタルリンクを用いることで、金銀パラジウム合金の場合と同等にスーパーボンドC&Bと接着することが明らかとなった。

これらの結果をもとに、陶材焼付用貴金属合金でリテーナーを製作した接着ブリッジの臨床応用を行っている。

図14～18に、上顎左側中切歯欠損例の治療経過を示す。支台歯形成や（図15）印象採得の手順は、金銀パラジウム合金接着ブリッジの場合と何ら違いはない。

完成した接着ブリッジは、口腔内で試適した後に、接着のための処理を行う。金属用プライマーを適用する前に不可欠なことは、50μm 粒径のアルミナ粉末を用いたサンドブラスト処理である（図16）。サンドブラスト処理の目的は、微細な凹凸の形成による機械的嵌合の獲得や被着面積の増大、被着面の機械的清掃、酸化膜の形成、などである。この例では金属用プラ

表2. 各種合金の組成

合金の種類	製品名	製造元	含有率 (重量%)				略号
			Au	Ag	Pd	Cu	
陶材焼付用合金	Super Metal W-85	クラレノリタケデンタル	78	2	10	-	W85
	IFK88 GR	石福金属	88	-	10	-	IFK88
陶材焼付用パラジウム合金	Super Metal N-40	クラレノリタケデンタル	43	2	44	-	N40
金銀パラジウム合金	Castwell M.C.12	ジーシー	12	46	20	20	MC12



図14. 上顎左側中切歯の欠損例



図18. 口腔内装着



図15. 充填物を除去し最小限の支台歯の削合を行なう



図19. 右側中切歯の欠損例



図16. リテーナにプラスト処理後金属用プライマーを塗布

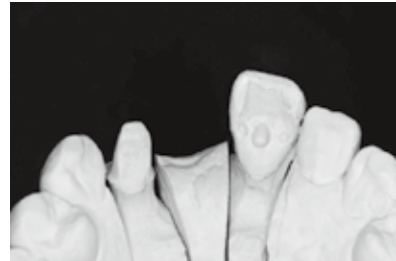


図20. 支台歯形成



図17. 歯面の表面処理後に装着



図21. 歯面の表面処理後に装着

イマーとしてメタルリンクを、メーカー指示に従ってスポンジペレットを用いて塗布した(図16)。支台歯にも必要な表面処理を施したうえで、スーパーボンドC&Bを用いて支台歯に強固に接着することができる(図17, 18)。

図19~22には上顎右側中切歯の治療例を示した。ボンティックを陶材焼成により作製した接着ブリッジ(図18, 22)では、審美的にも隣接する天然支台歯に近い質感が得られる。製作に要する期間や装着手順も従来の硬質レジンで前装するブリッジとほとんど変わ



図22. 口腔内装着

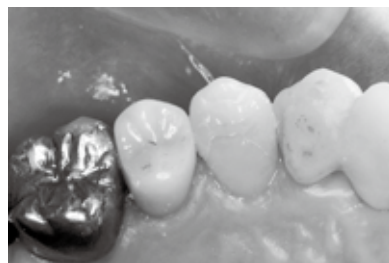


図26. 歯面および修復物の表面処理後に装着

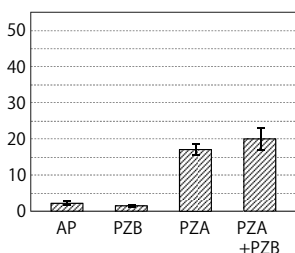


図23. 陶材とレジンセメントの接着に及ぼす各種プライマーの効果



図27. 口腔内装着



図24. 窩洞形成 (第一小臼歯)



図25. 加圧成形によって製作した修復物

### 5. セラミックスの接着

金属に替わる修復材料の一つがセラミックスである。インレーやアンレー、ラミネートベニアの製作に用いる、アルミノシリケートガラスセラミック（ヴィンテージ ZR プレスオーバー，松風）に対する接着性レジンの接着強さを報告している<sup>13)</sup>。セラミック表面には、ブラスト処理後に非貴金属用接着性モノマーを含有するプライマー（アロイプライマー，クラレ：AP，およびPZプライマーB液，サンメディカル：PZB）と，シラン処理材（PZプライマーA液：PZA，およびPZプライマーA液とB液の混合：PZA+PZB）を適用し，スーパーボンドC&Bを接着した。熱サイクルを50,000回付与した後の接着強さを図23に示した。非貴金属用接着性モノマーのAPおよびPZBはセラミックスには効果がなく，シラン処理材を含むPZAまたはPZA+PZBが有効であった。

近年は，加圧成形によって修復物を製作する二ケイ酸リチウムガラスセラミックス（IPS e.max Press，Ivoclar Vivadent）を用いる機会も増えている。従来の陶材に比較してセラミックス自体の物性が高く<sup>14)</sup>，シラン処理<sup>15, 16)</sup>によって得られる接着強さはリユーサイト系セラミックスと同等である<sup>14, 17)</sup>とされている。

このセラミックスによる上顎右側第一小臼歯の修復例を図24～27に示した。歯質と強固に接着し，一体化するこのよって成立している。また，部分的な修復で

りない。なお，プライマーを含む接着システムのみ頼ることは危険である。機械的な維持力や嵌合力をできる限り利用することが好ましい（図15, 20）。

も、周囲の歯質に調和した修復が可能である。

## 6. ジルコニアの接着

審美歯冠修復物の中では、陶材焼付鑄造冠の代替としてジルコニアを用いたクラウンが使用される頻度も

増えてきた。これは、ジルコニアが高い強度をもちながら、高いレベルでの審美的再現性や生体親和性を持ち合わせている<sup>18-20)</sup>ためである。ジルコニアを用いた審美歯冠修復物の臨床例を図28～33に示した。支台歯に適合するクラウンの下層構造を、ジルコニアを用い



図28. 補綴治療前(矯正終了後)

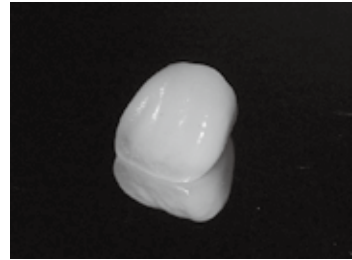


図32. 陶材の焼成



図29. 支台歯形成



図33. 口腔内装着



図30. CAD/CAMシステムを用いて製作したジルコニア下層構造

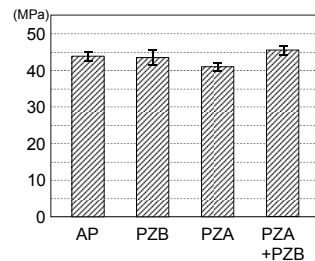


図34. ジルコニアとレジメンの接着強さに及ぼす各種プライマーの効果



図31. 口腔内試適, 色調選択



図35. 下顎根分割歯への応用





図36. 口腔内装着



図37. 上顎白歯部ブリッジへの応用



図38. 口腔内装着

てCAD/CAMシステムにより製作し(図30)、これに陶材を焼成してクラウンを製作する(図32)。陶材焼付鑄造冠と同様の二層構造からなるが、歯頸部での金属の影響がなく、透過光を応用できるため、審美的に優れた修復物が得られる(図33)。

ジルコニアは非常に強度の高い材料であるが、口腔内では支台歯に対して接着性レジンセメントを用いて強固に装着することにより、破壊強度が改善することが報告されている<sup>21)</sup>。そこで、ジルコニア(Cercon, Dentsply)とスーパーボンドC&Bの接着強さを評価した<sup>13)</sup>。前項目のセラミックスとの接着(図23)と同じ条件で表面処理を行ない、熱サイクル50,000回負荷後のデータのみを図35に示した。ジルコニアは、非貴金属用プライマーやシランカップリング剤など、多くの方法で強力に接着できることが明らかとなった。

一方で、陶材焼付ジルコニアクラウンでは、両者の焼付状態に問題が生じることがあり、陶材が剥がれたり欠けたりすることが報告されている<sup>22)</sup>。したがって、近年は強い咬合力が加わる臼歯部では、全体をジルコニアで作製し、審美的表現は表面への着色(シェイディング)のみで行なう方法が用いられるようになった。これは、クラウン(図35, 36)でもブリッジ(図37, 38)でも応用可能である。審美的な限界が許容されれば、強度と審美性のバランスがとれ、しかも強力に接着できることから、非常に優れた修復物として普及するものと考えられる。

### 今後の課題

接着技法の進歩は、ミニマルインターベンションの具現化とともに、耐久性に優れた審美補綴治療を可能にしている。これは、接着材の高強度化、修復材料自身の強度や、接着剤との反応性の高い修復材料の開発などを通じて、リテーナーの小型化や、複数歯欠損へのブリッジの応用などが実現するものと考えている。今後も、日常の臨床に速やかに役立つ成果を生むような研究を続けていきたい。

### 引用文献

- 1) Gale, M.S., Darvell, B.W.: Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent*, 27, 89-99, 1999.
- 2) Wataha, J.C.: Biocompatibility of dental casting alloys: a review. *J Prosthet Dent*, 83, 223-234, 2000.
- 3) Sjögren, G., Sletten, G., Dahl, J.E.: Cytotoxicity of dental alloys, metals, and ceramics assessed by Millipore filter, agar overlay, and MTT tests. *J Prosthet Dent*, 84, 229-236, 2000.
- 4) Siervo, S., Pampalona, A., Siervo, P., Siervo, R.: Where is the gap? Machinable ceramic systems and conventional laboratory restorations at a glance. *Quintessence Int*, 25, 773-779, 1994.
- 5) Anusavice, K.J.: Recent developments in restorative dental ceramics. *J Am Dent Assoc*, 124, 72-84, 1993.
- 6) Kassem, A.S., Atta, O., El-Mowafy, O.: Fatigue resistance and microleakage of CAD/CAM ceramic and composite molar crowns. *J Prosthodont*, 21, 28-32, 2012.
- 7) Andriani, W. Jr., Suzuki, M., Bonfante, E.A., Carvalho, R.M., Silva, N.R., Coelho, P.G.: Mechanical testing of indirect composite materials directly applied on

- implant abutments. *J Adhes Dent* 12: 311-317, 2010
- 8) Ghazal M, Albashaireh ZS, Kern M: Wear resistance of nanofilled composite resin and feldspathic ceramic artificial teeth. *J Prosthet Dent* 100: 441-448, 2008.
  - 9) Hori, S., Minami H., Minesaki, Y., Matsumura, H., Tanaka, T.: Effect of hydrofluoric acid etching on shear bond strength of an indirect resin composite to an adhesive cement, *Dent Mater J*, 27, 515-522, 2008.
  - 10) Sakoguchi, K., Minami, H., Suzuki, S., Tanaka, T.: Evaluation of fracture resistance of composite crowns by cyclic impact test: Influence of indirect composite and abutment material, *Dental Materials Journal*, 32, 433-440, 2013.
  - 11) Okuya, N., Minami H., Kurashige H., Murahara, S., Suzuki, S., Tanaka, T.: Effects of metal primers on bonding of adhesive resin cement to noble alloys for porcelain fusing, *Dent Mater J*, 29, 177-187, 2010.
  - 12) Minami, H., Murahara, S., Suzuki, S., Tanaka, T.: Effects of metal primers on the bonding of an adhesive resin cement to noble metal ceramic alloys after thermal cycling, *J Prosthet Dent*, 106, 378-385, 2011.
  - 13) 村原貞昭, 南 弘之, 迫口賢二, 塩向大作, 柳田廣明, 村口浩一, 嶺崎良人, 鈴木司郎, 田中卓男: メタルフリー修復物の装着に広く応用可能なプライマーの開発に関する研究, *接着歯学*, 30, 129, 2012.
  - 14) Lin, W.S., Ercoli, C., Feng, C., Morton, D.: The effect of core material, veneering porcelain, and fabrication technique on the biaxial flexural strength and weibull analysis of selected dental ceramics. *J Prosthodont*, 21, 353-62, 2012.
  - 15) Marocho, S.M., Ozcan, M., Amaral, R., Bottino, M.A., Valandro, L.F.: Effect of resin cement type on the microtensile bond strength to lithium disilicate ceramic and dentin using different test assemblies. *J Adhes Dent*, 5, 361-368, 2013.
  - 16) Kalavacharla, V., Lawson, N, Ramp, L., Burgess, J.: Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength. *Oper Dent*, [Epub ahead of print], 2014.
  - 17) Rigolin, F.J., Miranda, M.E., Flório, F.M., Basting, R.T.: Evaluation of bond strength between leucite-based and lithium disilicate-based ceramics to dentin after cementation with conventional and self-adhesive resin agents. *Acta Odontol Latinoam*, 27, 16-24, 2014.
  - 18) Stawarczyk, B., Ozcan, M., Roos, M., Trottmann, A., Sailer, I., Hämmerle, C.H.: Load-bearing capacity and failure types of anterior zirconia crowns veneered with overpressing and layering techniques. *Dent Mater*. 27, 1045-1053, 2011.
  - 19) Raigrodski, A.J., Hillstead, M.B., Meng G.K., Chung, K.H.: Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: A systemic review. *J Prosthet Dent*, 107, 170-177, 2012.
  - 20) Stawarczyk, B., Ozcan, M., Roos, M., Trottmann, A., Sailer, I., Hämmerle, C.H.: The fracture load and failure types of veneered anterior zirconia crowns: an analysis of normal and Weibull distribution of complete and censored data. *Dent Mater*, 28, 478-87, 2012.
  - 21) Lim, H.P., Yoo, J.M., Park, S.W., Yang H.S.: Fracture load of implant-supported zirconia all-ceramic crowns luted with various cements. *Int J Prosthodont*, 23, 361-363, 2010.
  - 22) Zesewitz, T.F., Knauber A.W., Northdurft, F.P.: Fracture resistance of a selection of full-contour all-ceramic crowns: an in vitro study. *Int J Prosthodont*, 27, 264-266, 2014.