

도재 소성과정이 Ni-Cr 금속도재관의 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향

김기백 · 김석환¹ · 김재홍[†]

고려대학교 보건과학대학 보건과학연구소, ¹김천대학교 의료경영학과

Effect of Porcelain Firing Process on the Marginal and Internal Fit of Ni-Cr Alloy Metal-Ceramic Crown

Ki-Baek Kim, Seok-Hwan Kim¹ and Jae-Hong Kim[†]

Institute for Health Science, College of Health Science, Korea University, Seoul 136-703,

¹Department of Medical Management, Gimcheon University, Gimcheon 740-704, Korea

The purpose of this study *in vitro* investigation was to compare the marginal and internal fit of Ni-Cr alloy metal ceramic crown before and after porcelain veneering. Furthermore, this study evaluated whether the influence of the porcelain firing on the precision of fit of dental prostheses. The maxillary right incisor was selected as an abutment for experiments. Ten working models were prepared. Ni-Cr alloy cores appropriate for each abutment were prepared by lost wax technique. The marginal area and four internal areas of the crowns were measured at two stages: before veneering process and after upper porcelain firing. Silicone replica techniques were used. The data were statistically analyzed with the paired t-test ($\alpha=0.05$). Mean \pm SD marginal and internal gap were $67.1\pm 23.3\ \mu\text{m}$ for the nickle chrome alloy core group and $74.4\pm 21.9\ \mu\text{m}$ for the metal ceramic crown group. There were statistically significant differences in all investigated areas ($p<0.05$). Within the limitations of this study, none of the Ni-Cr alloy metal crown values measured after porcelain firing process exceeded $120\ \mu\text{m}$, which is the clinically acceptable threshold.

Key Words: Internal fit, Marginal fit, Ni-Cr alloy, Porcelain firing process

서론

최근 심미보철 소재(치과용 지르코니아, 글라스 세라믹)의 개발로 전부도재관의 사용이 증가하고 있으나, 금속도재관은 여전히 도재 수복물의 보편적 하부구조로 선택되고 있다¹⁾. 금속도재관은 1956년 Brecker²⁾에 의해서 도입된 치과용 수복물의 한 종류로, 지대치에 적합되는 얇은 주조 금속 코핑과 융합되는 도재층으로 구성되어 있다. 이러한 금속도재관은 주조 금속 코핑의 강도와 정확한 적합성에 도재의 심미성이 결합된 보철물로서³⁾, 도재의 내마모성, 내부식성, 생체친화성 등의 성질과 합금의 내충격성 등을 겸비하고 있다.

1970년대 이전에는 금속도재관의 코핑으로 금합금이 선호되었으나, 체적이 큰 고정성 보철물에는 적합하지 않은 낮은 강도와 탄성계수 등 물성의 한계가 드러나면서 이를 대체할 비귀속합금의 사용이 증가하였다. 현재 금속도재관 코핑으로 사용되는 비귀속합금은 주된 금속에 따라 크게 Ni-Cr, Co-Cr, 티타늄 합금으로 분류할 수 있다⁴⁾. 금속도재관의 제작에 사용되는 치과용 Ni-Cr 합금은 귀속합금에 비해 도재 소성 시 가열에 의한 변형과 구강 내 장착 후 교합압에 의한 변형이 작기 때문에 하부구조물인 금속코핑의 두께를 귀속합금보다 얇게 할 수 있는 장점이 있다. 또한 비중이 귀속합금의 1/2 정도로 작아 동일 구조체의 제

Received: July 30, 2014, Revised: August 29, 2014, Accepted: August 30, 2014

ISSN 1598-4478 (Print) / ISSN 2233-7679 (Online)

[†]Correspondence to: Jae-Hong Kim

Institute for Health Science, College of Health Science, Korea University, 161, Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-703, Korea

Tel: +82-2-940-2700, Fax: +82-2-916-5943, E-mail: noreason07@korea.ac.kr

Copyright © 2014 by the Korean Society of Dental Hygiene Science

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

작에 사용되는 금속의 양이 적으며 내마모성 및 내변색성과 고온 유동저항성이 우수한 장점들이 있다⁵⁾.

도재 소성이 금속도재관의 적합도에 미치는 영향에 대한 연구 결과는 다양하다. Shillingburg 등⁶⁾은 금속도재관의 코핑이 가열과정에서 변연 간격이 증가한다고 보고하였으며, Buchanan 등⁷⁾은 특히 산화과정 시 비귀금속(Ni-Cr, Co-Cr) 코핑의 변연 및 내면 부위에서 변형이 크다고 보고하였다. 도재 소성 시 적합도의 변화는 대부분 산화과정에서 나타나며⁸⁾, 이는 주조 및 절삭 연마 과정에서 생긴 잔류응력이 해소되면서 생성된다⁹⁾. Shokry 등¹⁰⁾은 CP-Ti 합금을 computer-aided design/computer-aided manufacture (CAD/CAM)과 주조 방식으로 제작하여 비교했을 때 CAD/CAM 방식으로 제작된 금속도재관만이 도재 소성 과정 후 적합도 저하를 보인다고 하였다.

금속도재관 보철물이 오랜 기간 동안 성공적으로 구강 내에서 기능하기 위해서는 우수한 변연적합도 및 내면적합도가 필수적이다. 변연적합도의 결함은 음식물과 세균의 침투를 야기하는데 이런 것들이 축적이 되면 치주염 등을 일으킬 수 있으며¹¹⁾, 내부 간극은 수복물의 유지에 영향을 미친다¹²⁾. 보철물의 변연과 내면의 우수한 적합성은 치아 우식증의 재발과 치주질환을 감소시키며, 보철물의 수명을 연장시킬 수 있다¹³⁾.

따라서 본 연구에서는 Ni-Cr alloy로 코어를 제작하여 변연 및 내면 적합도를 측정하고, 코어 위에 도재를 축성하고 소성하여 금속도재관을 완성한 후, 변연 및 내면 적합도를 측정하여 코어의 변연 및 내면 적합도를 측정하였다. 또한 도재를 축성하여 소성하는 과정이 Ni-Cr alloy의 변연 및 내면 적합도에 영향을 미치는지 알아보려고 한다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

1) 주 모형의 제작

본 연구를 위해 레진 표준 치아 모형(AG-3; Frasco GmbH, Tettang, Germany) 가운데 상악 우측 중절치를 선택하여 순면, 설면, 절단부는 1.5 mm, 변연부는 1.0 mm, 360° chamfer margin, 측면 경사도는 6°를 부여하여 삭제하였다. 날카로운 모서리가 생기지 않도록 모두 둥글게 처리하였다. 지대치 디자인이 완료된 파일을 토대로 티타늄 블록을 가공하여 티타늄의 주 모형을 제작하였다(Fig. 1).



Fig. 1. Titanium master model.

2) 석고 지대치 모형의 제작

반복 작업으로 인한 지대치 손상을 방지하기 위해서 티타늄 지대치 모형을 복제용 silicone (Deguform; DeguDent-GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany)으로 복제하였고, 복제된 silicone mold의 내면에 치과용 초경석고(GC Fujirock EP; GC Europe N.V., Leuven, Belgium)를 주입하여 10개의 초경석고 지대치 작업모형을 제작하였다.

3) Ni-Cr alloy 코어 제작(Ni-Cr alloy core, NCC 그룹)

초경석고 지대치 모형에 die spacer (Space-It; George Taub Products, Jersey City, NJ, USA)를 도포함으로써 내면 공간을 부여하였다. 내면공간은 시멘트 합착 공간의 의미이며 이를 위해 margin에서 상방 1 mm부터 25 μm의 공간을 부여하였다. 완성된 wax pattern에 plastic sprue former를 부착하고 매몰을 하였고 소환 과정을 거친 후, Ni-Cr 합금(Wiron 99, BEGO Dental, Bremen, Germany)을 안정적으로 용융시키기 위하여 고주파 주조기(Fornax T; Bego Dental)로 주조를 하였다. 매몰, 소환, 주조는 제조 회사 사용설명서를 준수하였다.

2. 연구방법

1) 변연 및 내면 적합도의 정의

Reich 등¹⁴⁾과 Colpani 등¹⁵⁾의 연구에서 사용된 정의를 참고하여 본 연구에 알맞게 수정하여 사용하였다. 이 정의에 의하면 변연부의 적합도(margin are)는 MA 부분, 경사도의 적합도(rounded chamfer)를 RC 부분, 축벽의 적합도(axial

wall)는 AW 부분, 절단면 적합도(incisal)를 In₁, In₂로 정의하였다(Fig. 2).

2) 실리콘 복제본 제작 및 측정

변연 및 내면 적합도는 silicone replica technique을 이용하여 측정하였다. 제작이 완료된 금속도재관용 coping의 내면에 light body silicone (Aquasil Ultra XLV; Dentstly Caulk, Milford, MA, USA)을 채운 후, 곧바로 stone die에 위치시키고 지압(finger pressure)을 가하여 적합시켰다. 일률적인 지압이 유지되기 위하여 전자저울 상에서 50 N의 압력이 되도록 가압하였다. 경화된 light body silicone을 보철물로부터 조심스럽게 분리시킨다. 이 light body silicone film은 coping과 die와의 간격을 나타내주는 역할을 한다. Stone die에 밀착된 light body silicone film은 두께가 매우 얇아서 찢어짐에 대한 저항이 작고, 형태를 유지하기 힘들기 때문에 그 위에 강도가 있는 heavy body silicone (Aquasil Ultra Monophase; Dentstly Caulk)을 추가적으로 덮어 안정화시켰다. 복제가 완료된 silicone은 razor blade를 사용하여 순-설, 근-원심 방향으로 분할하였고, 그 실리콘의 두께를 160배율의 digital microscope (KH-7700; Hirox, Tokyo, Japan)로 관찰하였다(Fig. 3).

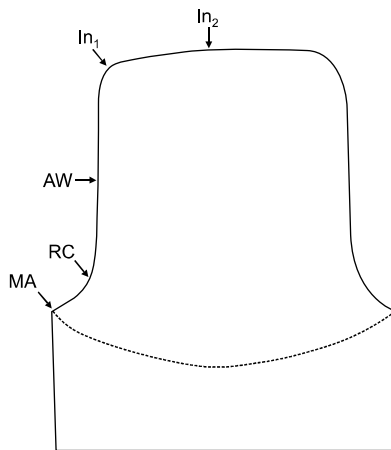


Fig. 2. Definition of marginal and internal fit. MA: margin area, RC: rounded chamfer, AW: axial wall, In: incisal.

3) Ni-Cr alloy 금속도재관 제작(Ni-Cr Metal Ceramic, NMC 그룹)

1차 측정이 끝난 후 NCC 그룹에 동일한 치과기공사가 제조회사의 권장사항을 준수하여 금속도재관을 완성하였다. 사용된 도재는 Noritake Super Porcelain EX-3 (Noritake Dental Supply Co., Kyoto, Japan)이며 도재 소성 과정은 Table 1과 같다. 완성된 금속도재관은 1차 측정 때와 마찬가지로 5부분 측정하였으며, 측정 방법도 실리콘 복제 기술을 이용하였다. 측정된 실리콘의 단면은 디지털 전자 현미경을 이용하여 160배 확대하여 측정하였다.

4) 통계분석

통계 분석은 SPSS ver. 12.0 for Windows 프로그램 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 상부도재 측정과정 전과 후인 NCC 그룹과 NMC 그룹의 변연 적합도 및 내면 적합도의 변화를 평가하기 위하여, 정규성 검정을 실시한 후 모수 검정인 대응표본 t검정(paired t-test)으로 분석하였으며, 제 1종 오류의 수준은 0.05로 하였다.

결 과

NCC 그룹과 NMC 그룹의 변연 및 내면 적합도를 측정한

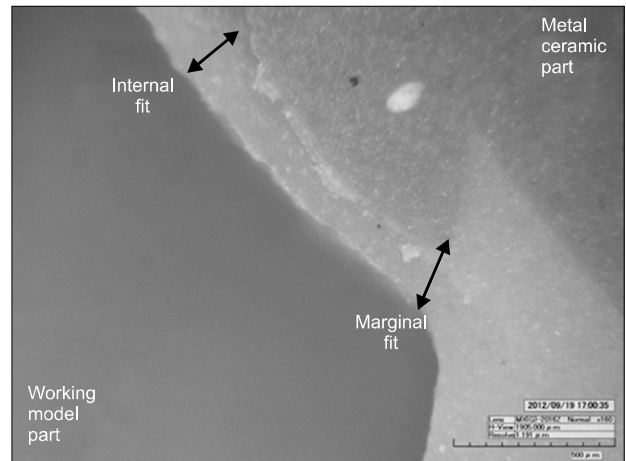


Fig. 3. Measurement of marginal and internal fit by digital microscope at ×160 magnification.

Table 1. Firing Schedules for Veneering Porcelains

Procedure	Start temperature (°C)	Drying time (min)	Temperature increase (°C/min)	Final temperature (°C)	Holding time (min)
Degassing	300	0	30	1,080	20
Opaque	500	8	65	980	1
Body	600	7	45	920	0

Table 2. Light Body Silicone Thickness (μm) for 5 Reference Points in Ni-Cr Alloy Core (NCC) Group and Metal-Ceramic Crown (NMC) Group

Reference point	NCC group	NMC group	p-value
MA	50.6±11.8	59.5±11.3	0.102
RC	56.5±12.5	62.1±11.2	0.216
AW	46.4±13.0	61.9±15.5	0.062
In ₁	77.4±10.4	82.8±9.0	0.179
In ₂	71.5±13.5	75.2±9.4	0.316

Values are presented as mean±standard deviation.
 MA: margin area, RC: rounded chamfer, AW: axial wall, In: incisal.

결과 MA 부위에서의 평균±표준편차는 Table 2와 같이 NCC 그룹 50.6±11.8 μm , NMC 그룹 59.5±11.3 μm 였고, RC 부위에서는 NCC 그룹 56.5±12.5 μm , NMC 그룹 62.1±11.2 μm , AW 부위는 NCC 그룹 46.4±13.0 μm , NMC 그룹 61.9±15.5 μm 였다. 절단면 부위의 In₁ 부위는 NCC 그룹 77.4±10.4 μm , NMC 그룹 82.8±9.0 μm , In₂에서는 NCC 그룹 71.5±13.5 μm , NMC 그룹 75.2±9.4 μm 였다. 두 그룹에서 각각 측정된 5부위의 평균을 대응표본 t검정을 실시하여 평균을 비교한 결과에서는 모든 부위에서 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

각 측정된 5부위를 구분 없이 전체의 평균±표준편차를 측정한 결과 Fig. 4에서와 같이 NCC 그룹에서는 67.1±23.3 μm , NMC 그룹은 74.4±21.9 μm 로 나타났으며, 두 그룹 간의 평균 비교를 위하여 실시한 대응표본 t검정의 결과 $p=0.044$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

고찰

본 연구에서는 상부도재 축성과정 시 금속도재관의 변연 및 내면 적합도에 미치는 영향을 확인하기 위하여 두 차례로 나누어 측정 후 그 결과 값을 비교하였는데, 1차는 lost wax technique을 이용하여 NCC (Ni-Cr)를 제작한 후 도재를 축성하기 전에 실시되었고, 2차 측정은 1차 측정이 끝난 후 NCC (Ni-Cr) 위에 치과용 도재를 축성한 후 금속도재관을 완성한 뒤에 측정하였다. 측정방법은 총 5부위로 나누어 측정하였고, 순-설, 근-원심 4방향으로 분할하여 실리콘 복제 기술을 사용하였다. 그 결과 Table 2과 같이 측정된 5부위 모두에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만 ($p > 0.05$), NCC (Ni-Cr)의 변연 및 내면 적합도 보다 상부도재를 축성하고 소성하는 과정을 거친 금속도재관의 변연 및 내면 적합도가 측정된 5부위에서 모두 비교적 큰 측정값을

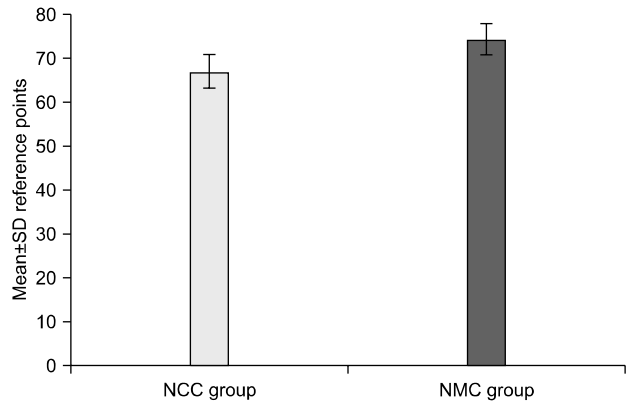


Fig. 4. Total mean±standard deviation (SD) for all reference points (n=200) of NMC group according to porcelain firing process ($p < 0.05$). NCC group: Ni-Cr alloy core group, NMC group: metal-ceramic crown group.

보였다.

선행 연구를 보면 금속도재관이 상부도재 소성 과정에 의해 영향을 받는다고 하였고^{7,16}, Balkaya 등¹⁷)은 금속도재관 제작 시 뒤틀림 변형은 사용된 합금의 종류, 도재가 소성되는 동안 발생하는 수축량의 차이, 하부 코어의 디자인, 두 재료 간의 열팽창 계수의 차이 그리고 변연부 디자인 등에 영향을 받는다고 보고하였다. Buchanan 등⁷)은 금속과 도재의 수축계수가 다르므로 하부 금속 코어에 도재를 축성하고 소성하는 과정에서 금속도재관의 변형이 생긴다고 보고하였으며, 도재는 강성의 물질인 반면 하부 금속은 탄성 물질이기 때문에 소성 후 완성된 금속도재관 보철물과 지대치와의 변연간격이 증가된다고 하였다. 본 연구에서도 하부 코어 상태일 때보다 금속도재관 상태일 때 지대치와의 간격이 증가된 것을 확인하였으며, 원인은 위와 같은 원인으로 생각된다. 금속도재관 제작 시 금속 코어 위에 도재를 각 단계별로 여러 번 소성하게 된다. 그 중에서 금속 코어의 산화막 처리를 위한 소성 단계와 금속도재관 완성 후 광택을 부여하기 위하여 글레이즈 처리를 소성 단계에서 가장 많은 변형이 발생된다고 보고하였으며¹⁶), 그 이유로는 산화막 처리와 글레이즈 처리 단계가 가장 고온으로 소성하기 때문이라고 보고하였다. 같은 이유로 Campbell과 Pelletier¹⁸)는 금속도재관의 뒤틀림 변형의 대부분은 금속도재관의 산화막 소성 과정에서 발생한다고 보고하였다. 이와 같은 결과들을 토대로 금속도재관 제작 시 Ni-Cr 합금으로 제작된 코어 위에 상부도재를 축성하고 소성하는 과정이 금속도재관의 변연 및 내면 적합도에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

이러한 실험 방법으로 측정된 결과치가 임상적으로 허용 가능한 범위에 속하는지에 대한 기준에 대해 판단해 보아야

할 것이다. 임상적으로 허용 가능한 변연 간극의 범위에 대한 여러 연구가 보고되고 있다. 보철물의 변연 적합도는 American Dental Association specification¹⁹⁾에서 ‘접착된 보철물의 임상적 허용한계’를 25 μm 이하로 간주하였으나, 실제로 이런 적합도를 얻는 것은 쉽지 않다. Sorensen 등²⁰⁾은 변연 오차로 인해 발생하는 골소실 등을 억제하기 위해서는 변연 간극이 50 μm 이하이어야 한다고 하였고, Assif 등²¹⁾의 연구에 따르면 평균적인 변연 적합도가 약 140 μm 라고 하였고, Hung 등²²⁾의 연구에서는 50~75 μm 로 제시하였다.

이와 같이 변연 적합도에 관한 임상적 허용 한계를 결정하는 것은 연구자에 따라 많은 차이를 나타냈다. 이렇듯 임상적 기준에 대하여 여러 가지 견해가 있었지만, 아직까지 많은 선행연구들에서는 McLean과 von Fraunhofer의 연구²³⁾에서 제시하였던 120 μm 의 변연 간격을 임상적 허용 한계로 기준을 두고 있다. 본 연구에서 나타난 모든 그룹에서의 변연 적합도는 근-원심, 순-설 방향 모두에서 100 μm 미만의 간격을 보였다. 이에 따라 120 μm 를 임상적 허용 기준으로 보았을 때 모든 실험 그룹의 변연 간격은 임상적으로 허용 가능한 한계 내에 존재하였다.

하지만 본 연구에서는 변연부의 디자인을 chamfer 형태로만 삭제한 것과, 시편 수가 10개이긴 하였으나 단일 금속도재관 보철물 한 가지 증례의 시편만을 가지고 실험하였다는 한계점이 있었다. 때문에 추후에 수행될 연구에서는 보다 길이가 긴 교의치를 포함한 다양한 증례의 시편과 다양한 변연부의 디자인 그리고 코어의 디자인도 다양하게 시편을 제작하여 각각의 변수에 따른 소성 과정이 적합도에 영향을 미치는가에 대한 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있다.

요 약

본 연구는 심미보철 치료에서 사용되는 금속도재관 제작 시 Ni-Cr alloy 하부 구조물에 상부도재를 축성하고 소성하는 과정이 완성된 보철물의 적합도에 미치는 영향을 조사함으로써 임상적 허용을 재확인하기 위함이다. 1차로 lost wax technique으로 제작된 NCC (Ni-Cr alloy core)의 변연 및 내면 적합도를 측정하였고, 2차로 NCC에 상부도재 축성, 소성하여 금속도재관을 최종 완성하여 2차로 측정된 뒤 비교한 결과는 다음과 같다.

금속도재관 제작 시 Ni-Cr alloy로 제작된 코어 위에 상부도재를 축성하고 소성하는 과정이 금속도재관의 적합도를 악화시키는 결과를 보였으며, 부위 별 구분 없이 두 그룹에서 측정된 모든 값의 평균을 비교한 결과 NCC 그룹에서는

67.1±23.3 μm , NMC 그룹에서는 74.4±21.9 μm 로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 이와 같은 결과를 토대로 Ni-Cr alloy로 금속도재관 제작 시 상부도재를 축성하는 과정에서 적합도를 악화시킨다는 결론을 얻었으나, 본 실험에서 측정된 결과 값은 임상적 허용 수치(120 μm)를 넘지 않아 적합도의 기준으로 평가하였을 때 임상적으로 허용 가능할 것으로 생각된다.

References

1. Azer SS, Ayash GM, Johnston WM, Khalil MF, Rosenstiel SF: Effect of esthetic core shades on the final color of IPS Empress all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 96: 397-401, 2006.
2. Brecker SC: Porcelain bakes to gold-a new medium in prosthodontics. *J Prosthet Dent* 6: 801-810, 1956.
3. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J: Contemporary fixed prosthodontics. 4th ed. Mosby, St. Louis, pp.599-608, 2006.
4. Wataha JC: Alloys for prosthodontic restorations. *J Prosthet Dent* 87: 351-363, 2002.
5. Eliasson A, Arnelund CF, Johansson A: A clinical evaluation of cobalt-chromium metal-ceramic fixed partial dentures and crowns: A three- to seven-year retrospective study. *J Prosthet Dent* 98: 6-16, 2007.
6. Shillingburg HT Jr, Hobo S, Fisher DW: Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations. *J Prosthet Dent* 29: 276-284, 1973.
7. Buchanan WT, Svare CW, Turner KA: The effect of repeated firings and strength on marginal distortion in two ceramometal systems. *J Prosthet Dent* 45: 502-506, 1981.
8. Dederich DN, Svare CW, Peterson LC, Turner KA: The effect of repeated firings on the margins of nonprecious ceramometals. *J Prosthet Dent* 51: 628-630, 1984.
9. Anusavice KJ, Carroll JE: Effect of incompatibility stress on the fit of metal-ceramic crowns. *J Dent Res* 66: 1341-1345, 1987.
10. Shokry TE, Attia M, Mosleh I, Elhosary M, Hamza T, Shen C: Effect of metal selection and porcelain firing on the marginal accuracy of titanium-based metal ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 103: 45-52, 2010.
11. Pierce LH, Goodkind RJ: A status report of possible risks of base metal alloys and their components. *J Prosthet Dent* 62: 234-238, 1989.

12. Passon C, Lambert RH, Lambert RL, Newman S: The effect of multiple layers of die-spacer on crown retention. *Oper Dent* 17: 42-49, 1992.
13. Abbate MF, Tjan AH, Fox WM: Comparison of the marginal fit of various ceramic crown systems. *J Prosthet Dent* 61: 527-531, 1989.
14. Reich S, Uhlen S, Gozdowski S, Lohbauer U: Measurement of cement thickness under lithium disilicate crowns using an impression material technique. *Clin Oral Investig* 15: 521-526, 2011.
15. Colpani JT, Borba M, Della Bona A: Evaluation of marginal and internal fit of ceramic crown copings. *Dent Mater* 29: 174-180, 2013.
16. Komine F, Shiratsuchi H, Kakehashi Y, Matsumura H: Influence of porcelain-firing procedures on the marginal distortion of electroformed metal-ceramic restorations. *Quintessence Int* 38: E583-E588, 2007.
17. Balkaya MC, Cinar A, Pamuk S: Influence of firing cycles on the margin distortion of 3 all-ceramic crown systems. *J Prosthet Dent* 93: 346-355, 2005.
18. Campbell SD, Pelletier LB: Thermal cycling distortion of metal ceramics: part I—metal collar width. *J Prosthet Dent* 67: 603-608, 1992.
19. Council on Dental Materials and Devices: Revised American National Standards Institute/American Dental Association specification No. 8 for zinc phosphate cement. *J Am Dent Assoc* 96: 121-123, 1978.
20. Sorensen SE, Larsen IB, Jørgensen KD: Gingival and alveolar bone reaction to marginal fit of subgingival crown margins. *Scand J Dent Res* 94: 109-114, 1986.
21. Assif D, Rimer Y, Aviv I: The flow of zinc phosphate cement under a full coverage restoration and its effect on marginal adaptation according to the location of cement application. *Quintessence Int* 18: 765-774, 1987.
22. Hung SH, Hung KS, Eick JD, Chappell RP: Marginal fit of porcelain-fused-to metal and two types of ceramic crown. *J Prosthet Dent* 63: 26-31, 1990.
23. McLean JW, von Fraunhofer JA: The estimation of cementfilm thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 131: 107-111, 1971.