

베릴륨이 함유되지 않은 니켈-크롬 합금 코어와 코발트-크롬 합금 코어의 적합도 비교평가

김 기 백, 김 재 흥, 김 웅 철, 김 지 환

고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공

Comparison of the marginal and internal fit of cores fabricated by Ni-Cr alloy(non-beryllium) and Co-Cr alloy

Ki-Baek Kim, Jae-Hong Kim, Woong-Chul Kim, Ji-Hwan Kim

Department of Health Science Specialized in Dental Lab. Science & Engineering, Graduate School, Korea University

[Abstract]

Purpose: The aim of this study measured and compared the marginal and internal fit of metal cores with two base metal alloy (Ni-Cr alloy(non-beryllium), Co-Cr alloy).

Methods: Maxillary right first molar abutment fabricated by titanium was prepared for this study. Impressions(10ea) were made from titanium model, and study models were poured with improved dental stone. Wax cores of twenty were prepared for burn-out and casting. Ten wax cores cast Ni-Cr alloy(non-Be), and finally ten cast Co-Cr alloy. Marginal and internal fit of cores was evaluated using silicone replica technique and digital microscope(x160). The data were statistically analyzed with the independent samples *t*-test ($\alpha<.05$).

Results: Mean(standard deviation, SD) marginal and internal fit total size of Ni-Cr alloy(non-Be) group was 73.3(14.4) μm and of Co-Cr alloy group 65.6(17.4) μm . The marginal and internal fit total size of Ni-Cr alloy group(non-Be) was statistically significantly greater than that of Co-Cr alloy group ($P=.004$).

Conclusion: Co-Cr alloy cores in this study had a better marginal fit than Ni-Cr alloy(non-Be) cores.

Key words : Base metal alloy, Co-Cr, Marginal fit, Ni-Cr

교신저자	성명	김 지 환	전화	02-940-2843	E-mail	kjh2804@korea.ac.kr	
	주소	서울시 성북구 정릉3동 산1번지 고려대학교 보건과학대학 호림관 420호					
접수일	2012. 9. 3		수정일	2012. 11. 5		확정일	2012. 12. 21

I. 서 론

금속 도재관은 하부 금속 코어 위에 상부 도재가 축성되는 과정으로 제작이 되는데, 하부 금속 코어 재료로서 합금이 주로 사용된다. 귀금속 합금은 치과 보철용 금속 주조 시 대조균으로서 간주되는데, 그 이유는 뛰어난 기계적 성질과 우수한 변연 적합도 등의 이유 때문이다(Byrne G et al, 1986; Tosches NA et al, 2009). 그러나 귀금속 합금의 가격이 최근 몇 년 간 크게 상승함에 따라 몇몇 대체 금속이 소개되었다.

대체 금속으로서 처음에는 주조용 티타늄이 소개되었다. 주조용 티타늄은 우수한 생체적합도와 뛰어난 기계적 성질, 합리적인 가격 등의 장점이 있으나 주조를 하기 위한 특별한 장비가 필요하다는 점과 변연 적합도가 귀금속만큼 우수하지 못한 단점이 있다. 또한 티타늄과 도재와의 결합력 역시 이상적이지 못하다고 보고되었다(Eliopoulos D et al, 2005). 반면 니켈-크롬 합금과 같은 비 귀금속 합금은 우수한 기계적 성질과 함께 도재와의 우수한 결합력 그리고 가격이 저렴한 장점이 있다(OConnor RP et al, 1996). 니켈-크롬 합금과 코발트-크롬 합금은 가장 많이 사용하는 비 귀금속 중 하나이다.

비 귀금속 합금은 귀금속에 비교하였을 때, 다소 주조성이 떨어지며, 변연 적합도 역시 귀금속 합금만큼 우수하지 못하다(Spiekermann H, 1986; Tosches NA et al, 2009). 치과 보철물에 있어서 최상의 적합도는 보철물이 구강 내에서 길게 수명하기 위한 필수 조건 중에 하나이다(Gassino G et al, 2004). 몇몇 연구자들은 구강 내 보철 치료를 위한 고정성 보철물의 변연 적합도의 임상 허용수치로서 120 μ m을 제시하고 있다(McLean JW and von Fraunhofer JA, 1971). 우수하지 못한 변연 적합도를 갖는 보철물의 경우 치석의 축적률이 높으며, 이는 결국 구강 내 연조직 또는 경조직에도 나쁜 영향을 미친다(Waerhaug J, 1953).

금속 도재관의 코어 재료로서 니켈-크롬 합금은 무게가 가벼우며, 저렴한 가격과 함께 도재와 결합력도 우수한 비 귀금속 합금이다(OConnor RP et al, 1996). 이러한 의견들을 근거로 몇몇 연구들에서는 니켈-크롬 합금이 금속 도재관을 제작할 때 금합금보다 더 많은 장점을 가지고 있

다고 보고하였다(Preswood RG et al, 1980; Ringle RD et al, 1979). 그러나 니켈-크롬 합금 사용 허용에 관련해서는 연구가 끊임없이 이루어지고 있는데, 그 이유는 구강 내에서 특히 알리지 반응 등과 같은 생물학적으로 예민하게 부정적인 반응을 일으키기 때문이다(Bezzon OL, 1993). 스웨덴의 보건복지부에서는 합금 내 니켈의 함량을 1%미만으로 제한하고 있다(Anusavice KJ, 2003). 그동안 대 부분의 니켈-크롬 합금은 주조성 증가와 함께 상부 도재와의 결합력을 증진하고자 합금 내 첨가물로서 베릴륨을 일정량 포함하였다(Bezzon OL, 1998). 베릴륨의 경우 주조하거나, 주조 후 연마 단계에서 해당 금속 가루를 마시게 되면 그것이 발암물질로 작용한다고 보고되었다(OConner RP, 1996). 때문에 현재 시판되고 있는 치과용 니켈-크롬 합금은 베릴륨을 첨가하고 있지 않으며, 이미 유럽을 비롯한 몇몇 나라에서는 금속 도재관의 하부 코어 재료로서 코발트-크롬 합금의 사용 빈도가 늘고 있다. 그러나 코발트-크롬 합금으로 제작된 보철물의 임상적인 적합도에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 동일 모형에 코발트-크롬 합금 코어와 전통적인 금속 코어의 재료인 니켈-크롬 합금을 이용하여 코어를 제작하여 코발트-크롬 합금의 적합도를 니켈-크롬 합금의 적합도와 비교하였을 때 어떠한 결과를 보이는지 비교평가하고, 코발트-크롬 합금의 적합도가 임상적으로 허용 가능한 수치인지에 대하여 평가하여 보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 모형 제작

본 연구를 위하여 상악 우측 제1대구치를 지대치로 결정하였다(Frasaco GmbH, Tett nang, Germany). 지대치로 삭제하기 전 자연치를 재현한 형태의 모형을 치과용 스캐너(Sensable, Wilmington, NC USA)를 이용하여 디지털화 한 후 해당 프로그램을 이용하여 지대치로 삭제하였다. 변연부는 깊이 1.2mm의 챔퍼 형태로 360° 삭제하였으며, 측벽은 각도를 6°로 부여하였다. 지대치의 디자인이 완료된 디지털 지대치 정보를 절삭장비로 보내어 티

타늄 블록을 가공하여 <Fig. 1> 티타늄 주 모형을 제작 완료하였다.



Fig. 1. Master model (titanium)

연구 모형을 제작하기 위하여 주 모형을 대상으로 실리콘(Deguform, Degudent GmbH, Hanau-wolfgang, Germany)을 이용하여 몰드를 10개 제작하였다. 제작된 10개의 몰드에 치과용 석고(GC Fujirock, Alsip,

America)를 이용하여 연구모형 10개를 제작 완료하였다.

2. 시편 제작

제작이 완료된 연구모형 10개에 치과용 왁스(ABF-Wax special, Metalor, Swiss)를 이용하여 각 시편 당 두 개씩 코어를 제작하였다. 제작이 완료된 20개의 납형은 통상적인 방법을 이용하여 주입선 부착 후 매물, 소환을 진행하였다. 소환이 완료된 후 10개는 니켈-크롬 합금(Wiron[®]99, BEGO, Germany)을 이용하여 주조하였고, 나머지 10개는 코발트-크롬 합금(Wiron[®]C, BEGO, Germany)을 이용하여 주조 완료하였다. 주조가 끝난 후 통상적인 방법대로 시편을 연마하여 총 20개의 시편을 제작 완료하였다. 사용한 니켈-크롬 합금과 코발트-크롬 합금의 조성은 <Table 1>과 같으며, 니켈-크롬 합금은 베릴륨이 첨가되지 않은 합금을 이용하였다.

Table 1. Alloy compositions provided by manufacturers (wt%)

	Ni	Co	Cr	W	Mo	Si	Fe	Ce
Co-Cr alloy		63.3	24.8	5.3	2.1	<1	<1	<1
Ni-Cr alloy	65		22.5		9.5	<1	<1	<1

3. 적합도의 정의 및 측정

적합도를 평가하는 연구에서 적합도의 정의를 내리는 것은 대단히 중요하다. 본 연구에서는 <Fig. 2>와 같이 총 6부위를 지정한 후 변연부(P1, P6), 축벽부(P2, P5), 교합면(P3, P4) 세 부위로 축소하여 정의 내렸다. 측정에는 실

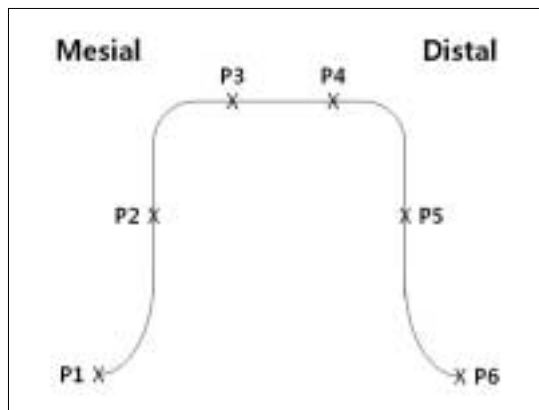


Fig. 2. Measurement point (margin: P1, P6; axial: P2, P5; occlusal: P3, P4)

리콘 복제 기술을 이용하였다. 본 방법에 의하면 보철물인 시편의 내면에 연질의 실리콘을 붓고 보철물을 지대치 위에 장축 방향으로 압력을 가한다. 연질의 실리콘의 경화가 끝나면 조심스레 보철물을 제거한다.

지대치와 보철물의 사이 공간이 복제된 연질 실리콘의 두께는 매우 얇으므로 측정이 곤란하다. 때문에 그 위에 경질의 실리콘을 이용하여 보강하였다. 보강이 끝난 후 근원심 방향으로 실리콘 복제본을 절단하고 <Fig. 2>와 같이 6부위를 측정하였다. 측정에는 digital microscope (KH-7000, HIROX, Japan)를 이용하였다. 절단된 실리콘 복제본의 단면을 전자 현미경으로 <Fig. 3>과 같이 160배 확대하여 측정하였다.

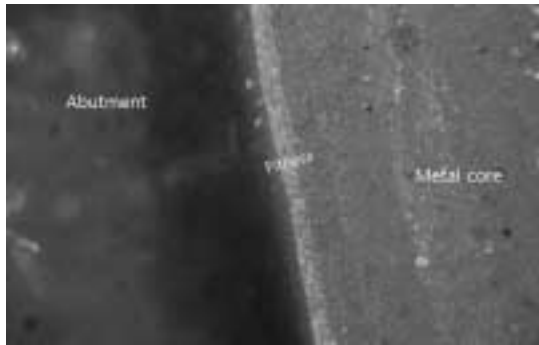


Fig. 3. Fit measurement of metal cores (magnification x160)

4. 통계 분석

니켈-크롬 합금 코어와 코발트-크롬 합금 코어의 적합도를 측정 후 두 그룹 간 적합도의 평균에는 통계적으로 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 SPSS 12.0K를 이용하여 독립표본 t-검정을 실시하였다(유의수준 95%).

III. 결 과

니켈-크롬 합금 코어 그룹과 코발트-크롬 합금 코어 그룹의 적합도를 측정 한 결과는 <Table 2>와 같다. 니켈-크롬 합금 코어 그룹에서의 P1의 평균(표준편차)은 68.2(11.9) μm 이었고, P2는 68.7(14.7) μm , P3 81.6(9.5) μm , P4 83.8(14.0) μm , P5, P6은 각각 69.8(17.8) μm , 67.7(9.5) μm 이었다. 코발트-크롬 합금 코어 그룹에서의 적합도 평균(표준편차)은 <Table 2>와 같이 P1 60.9(8.7) μm , P2 64.7(17.1) μm , P3 75.1(10.9) μm , P4 76.4(15.4) μm , P5 58.0(12.0) μm , P6 58.5(11.4) μm 으로 측정되었다. 두 그룹에서 측정된 각 지점별 평균의 차이를 비교하기 위하여 실시한 독립표본 t-검정의 결과 <Table 2>에서와 같이 6 지점 모두에서 통계적 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P>.05$).

Table 2. Mean marginal and internal fit and standard deviation of Ni-Cr(non-BE) alloy cores and Co-Cr alloy cores (P1-P6)

Measurements	N	Ni-Cr	Co-Cr	p-value
P1	10	68.2(11.9)	60.9(8.7)	.135
P2	10	68.7(14.7)	64.7(17.1)	.582
P3	10	81.6(9.5)	75.1(10.9)	.173
P4	10	83.8(14.0)	76.4(15.4)	.275
P5	10	69.8(17.8)	58.0(12.0)	.100
P6	10	67.7(9.5)	58.5(11.4)	.067

각 지점별 비교 후 6지점을 3부위 변연부(margin: P1,P6), 축벽부(axial: P2,P5), 교합면(occlusal:P3,P4)로 축소하여 비교하였다. 그 결과 <Table 3>에서와 같이 니켈-크롬 합금 코어 그룹의 변연부의 평균(표준편차)은 67.9(10.5) μm , 축벽부 69.3(16.0) μm , 교합면 82.7(11.7) μm 이었으며, 코발트-크롬 합금 코어 그룹의 변연부는

59.7(9.9) μm , 축벽부 61.4(14.8) μm 그리고 교합면은 75.8(13.0)이었다. 두 그룹의 평균을 비교하기 위하여 실시된 독립표본 t-검정의 결과 변연부에서는 <Table 3>에서와 같이 $P=.015$ 로 유의한 차이를 보였으며, 그 외 축벽부와 교합면에서는 두 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 3. Mean marginal and internal fit and standard deviation of Ni-Cr(non-BE) alloy cores and Co-Cr alloy cores (Margin: P1, P6; Axial: P2, P5; Occlusal: P3, P4)

Measurements	N	Ni-Cr	Co-Cr	p-value
Margin	20	67.9(10.5)	59.7(9.9)	.015
Axial	20	69.3(16.0)	61.4(14.8)	.112
Occlusal	20	82.7(11.7)	75.8(13.0)	.084

세 부위 별 비교가 끝난 후 전체적인 비교를 위하여 두 그룹에서 측정된 모든 부위를 중심으로 비교하였다. 그 결과 <Fig. 4>와 같이 니켈 크롬 합금 코어 그룹의 평균(표준편차)는 73.3(14.4) μm 이었고, 코발트 크롬 합금 코어 그룹은 65.6(17.4) μm 이었다. 독립표본 t-검정의 결과는 $P=.004$ 로 두 그룹에서 측정된 모든 부위의 평균은 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

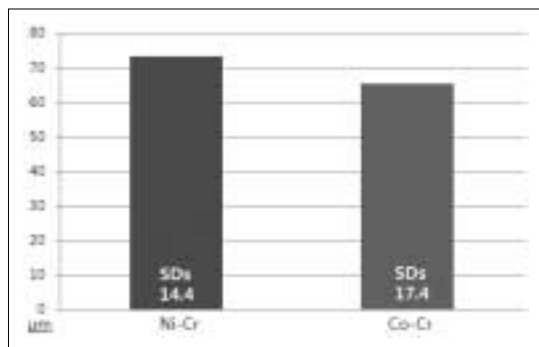


Fig. 4. Mean total fit values and standard deviation according to metal alloy ($P=.004$)

IV. 고 찰

본 연구에서는 베릴륨이 첨가되지 않은 니켈-크롬 합금과 코발트-크롬 합금으로 금속 도재관용 코어를 제작하여 적합도를 측정하고 두 그룹에서 측정된 적합도를 비교 평가하였다. 그 결과 베릴륨이 포함되지 않은 니켈-크롬 합금 코어의 적합도 보다 코발트-크롬 합금을 이용하여 제작된 코어의 적합도가 통계적으로 유의한 차이를 보이며 우수한 결과를 보였다($P=.004$). 그러나 두 그룹의 차이가 크지는 않았으며 베릴륨이 포함되지 않은 니켈-크롬 합금에서 측정된 적합도의 모든 부위에서 McLean이 제시한 임상적 허용수치인 120 μm 을 넘지 않았다(McLean JW and von Fraunhofer JA, 1971).

본 연구에서는 적합도 측정을 위하여 실리콘 복제 기술을 이용하였는데, 이 방법에 의하면 지대치와 보철물 모두가 보호되는 비 파괴적인 방법으로 간편하며, 손쉬운 측정법으로서 금속 보철물, 지르코니아 보철물 등의 적합도와 관련한 여러 선행 연구에서 이미 사용되었다(Ki-Baek Kim et al, 2012; Wettstein F et al, 2008). 그

러나 본 방법을 이용할 때 적합도가 복제된 실리콘을 절단하여 절단된 단면을 현미경을 이용하여 측정하는 방법인 만큼 다양한 방향에서의 측정은 한계가 있으며, 실리콘 수축 등의 문제가 있다.

최근 금합금의 높은 가격 탓에 치과 합금으로서 금합금을 대신할 수 있는 합금을 찾게 되었다. 대신할 수 있는 합금은 이것을 사용하는 치과 기공사, 치과의사 그리고 환자 모두에게 안전해야만 한다. 안전성을 갖추어야만 치료를 위한 금속으로 사용되었을 때 구강 내에서 오랫동안 사용될 수 있기 때문이다. 금속 중에서 금합금이 최고의 생체적합성을 가지고 있다는 것은 의심할 여지가 없다. 그러나 금속 도재관 제작 시 코어 재료로서 금합금을 대신하여 니켈-크롬 합금의 사용이 점차 증가하였으며, 국소치 금속 구조물 제작의 경우 코발트-크롬 합금의 사용이 증가하였다(Wataha JC, 2000).

게다가 치과용 수복물의 금속 재료로서 사용되기 위해서는 우수한 부식저항성을 보여야 하는 것은 필수 조건 중에 하나이다. 니켈-크롬 합금은 우수한 주조성과 코어를 제작한 후 상부 도재를 측정할 때 우수한 결합 강도를 갖으며, 조작이 용이하다. 그러나 니켈-크롬 합금 내에 함유되어 있는 베릴륨의 독성 탓에 최근 공급되는 니켈-크롬 합금은 베릴륨이 첨가되어 있지 않으며, 금속 도재관의 코어 재료로서 코발트-크롬 합금의 사용이 증가하고 있다.

금속 도재관의 완성도를 위하여 코어의 완성도를 평가하는 것은 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 최근 새롭게 사용되는 재료인 베릴륨이 첨가되지 않은 니켈-크롬 합금의 코어와 코발트-크롬 합금의 임상적 허용을 논하기 위하여 적합도를 평가하였는데, 코어의 적합도만 평가하였다는 점에서 본 논문의 한계점으로 지적된다. 코어의 적합도는 상부에 도재를 소성을 하게 되면 코어가 뒤틀림 변형을 일으키면서 변형이 오기 때문에 결과적으로 완성된 금속 도재관의 적합도가 증가한다는 보고가 있다(Campbell SD and Pelletier LB, 1992a). Campbell은 금속 코어의 collar 넓이를 각각 0.1, 0.4, 0.8mm로 설정하여 세 그룹으로 코어를 제작한 뒤 상부에 도재를 측정하는 과정에서의 적합도를 관찰한 결과 세 그룹 모두에서 적합도가 증가하였으며, 약 10-20 μm 정도 증가되었다고

보고하였고, 증가량은 0.1mm의 collar를 부여한 그룹이 0.8mm의 collar를 부여한 그룹보다 적합도의 증가량이 더 컸다고 보고하였다(Campbell SD and Pelletier LB, 1992a). 이러한 뒤틀림 변형은 주조하는 동안 그것이 산화되면서 내부에 존재하게 된 응력이 완화됨으로써 야기되거나(Campbell SD and Pelletier LB, 1992b; Dehoff PH and Anusavice KJ, 1984), 상부 도재의 소성 수축으로 인하여 야기된다고 보고되었으며, 이러한 현상은 특히 비 귀금속의 경우 귀금속 합금보다 더 심하다고 보고되었다(Buchanan WT et al, 1981).

본 연구에서는 베릴륨이 첨가되지 않은 니켈-크롬 합금과 코발트-크롬 합금으로 금속 도재관을 제작할 때 코어의 적합도를 중심으로 임상적 허용 가능성을 평가하였다. 때문에 본 연구가 가지는 한계점은 코어의 적합도 평가에서 그쳤다는 점이다. 때문에 임상적 허용 가능성을 보다 자세히 논하기 위해서는 추후에 이들 합금으로 제작된 코어 위에 상부 도재를 소성하는 과정에서의 고온이 이들 코어에 어떠한 영향을 미쳤는지 규명되어야 할 것이다. 또한 금속 도재관의 완성도를 논하기 위하여 적합도 만큼 중요한 것이 하부 금속 코어와 상부 도재와의 결합력이다. 추후에는 이들 합금과 상부 도재와의 결합력 실험도 수행되어야 할 것이다. 이러한 실험들을 바탕으로 끊임없는 연구가 계속 이어진다면 금속 도재관 제작을 위한 코어 재료로서 임상적으로 허용이 가능한지 여부를 가늠할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

제한된 조건 하에서 베릴륨이 포함되지 않은 니켈-크롬 합금 코어와 코발트-크롬 합금의 적합도를 측정하여 비교 평가하기 위하여 수행된 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 측정된 P1-P6까지의 지점 모두에서 코발트-크롬 합금으로 제작된 코어의 적합도가 베릴륨이 포함되지 않은 니켈-크롬 합금 코어의 적합도보다 우수하였으나, 독립 표본 t-검정의 결과 6부위 모두에서 통계적 유의한 차이

를 보이지 않았다($P > .05$).

2. 측정된 P1-P6까지의 지점을 세 부위(변연부: P1, P6; 축벽부: P2, P5; 교합면: P3, P4)로 축소하여 비교 평가한 결과 세 부위 모두에서 코발트-크롬 합금으로 제작된 코어의 적합도가 우수하였으며, 변연부에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였으나($P = .015$), 나머지 두 부위 축벽부($P = .112$)와 교합면($P = .084$)에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

3. 본 연구를 위하여 측정된 모든 적합도의 평균을 비교한 결과 코발트-크롬 합금으로 제작된 코어의 적합도가 통계적으로 유의한 차이를 보이며($P = .004$), 베릴륨이 포함되지 않은 니켈-크롬 합금의 적합도 보다 우수하였다.

그러나 본 연구에서 측정된 두 그룹의 적합도 어떤 부위에서도 McLean이 제시한 임상적 허용수치인 $120\mu\text{m}$ 을 넘는 값을 보이지 않은 것으로 보아 두 비 귀금속 합금 모두 금속 도재관 코어 재료로서 사용이 가능할 것으로 사료되며, 보다 정확한 임상적 허용 여부 평가하기 위하여 두 합금을 이용하여 완성된 금속 도재관의 적합도와 코어와 상부 도재와의 결합 강도 등의 실험이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Anusavice KJ. Phillips' science of dental materials. 11th ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 621-654, 2003.
- Bezzon OL. Allergic sensitivity to several base metals: a clinical report. J Prosthet Dent, 69, 243-244, 1993.
- Bezzon OL, de Mattos M da G, Ribeiro RF, Rollo JM. Effect of beryllium on the castability and resistance of ceramometal bonds in nickel-chromium alloys. J Prosthet Dent, 80, 570-574, 1998.

- 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.
- Byrne G, Goodacre CJ, Dykema RW, Moore BK. Casting accuracy of high-palladium alloys. *J Prosthet Dent*, 55, 297-301, 1986.
- Campbell SD, Pelletier LB. Thermal cycling distortion of metal ceramics. Part I. Metal collar width. *J Prosthet Dent*, 67, 603-608, 1992a.
- Campbell SD, Pelletier LB. Thermal cycling distortion of metal ceramics. Part II - Etiology. *J Prosthet Dent*, 68, 284-289, 1992b.
- Dehoff PH, Anusavice KJ. Effect of metal design on marginal distortion of metal ceramic crowns. *J Dent Res*, 63, 1327-1331, 1984.
- Eliopoulos D, Zinelis S, Papadopoulos T. The effect of investment material type on the contamination zone and mechanical properties of commercially pure titanium castings. *J Prosthe Dent*, 94, 539-548, 2005.
- Gassino G, Barone Monfrin S, Scanu M, Spina G, Preti G. Marginal adaptation of fixed prosthodontics: a new in vitro 360-degree external examination procedure. *Int J Prosthodont*, 17, 218-223, 2004.
- Ki-Baek Kim, Jae-Hong Kim, Woong-Chul Kim, Hae-Young Kim, Ji-Hwan Kim. Marginal fit evaluation of 3 unit fixed dental prostheses fabricated by rapid prototyping method. *The Journal of Korean Academy of Dental Technology*, 34(2), 105-111, 2012.
- McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131, 107-111, 1971.
- O'Connor RP, Mackert JR Jr, Myers ML, Parry EE. Castability, opaque masking, and porcelain bonding of 17 porcelain-fused-to-metal alloys. *J Prosthet Dent*, 75, 367-374, 1996.
- Preswood RG, Skjonsky HS, Hopkins G, Preswood TL, Pendleton M. A base metal alloy for ceramometal restoration. *J Prosthet Dent*, 44, 624-629, 1980.
- Ringle RD, Fairhurst CW, Anusavice KJ. Microstructures in non-precious alloys near the porcelain-metal interaction zone. *J Dent Res*, 58, 1987-1993, 1979.
- Spiekermann H. The marginal fit of crowns and bridges. *Dtsch zahnarztl*, 41, 1015-1019, 1986.
- Tosches NA, Bragger U, Lang NP. Marginal fit of cemented and screw-retained crowns incorporated on the Straumann (ITI) Dental Implant System: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res*, 20, 79-86, 2009.
- Waerhaug J. Tissue reactions around artificial crowns. *J Periodontol*, 24, 172-185, 1953.
- Wataha JC. Biocompatibility of dental casting alloys: a review. *J Prosthet Dent*, 83, 223-234, 2000.
- Wettstein F, Sailer I, Roos M, Hammerle CHF. Clinical study of the internal gaps of zirconia and metal frameworks for fixed partial dentures. *Eur J Oral Sci*, 116, 272-279, 2008.