도포법 및 침전법을 이용한 지르코니아의 색조 재현성 비교 연구

이 희 정, 김 재 홍, 김 웅 철, 김 지 환, 김 혜 영
고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공

Comparative study of color reproducibility of zirconia using a dipping method and coating method

Hee-Jung Lee, Jae-Hong Kim, Woong-Chul Kim, Ji-Hwan Kim, Hae-Young Kim
Department of Health Science Specialized in Dental Lab. Science & Engineering, Graduate School, Korea University

[Abstract]

Purpose: The aim of this study was to compare with color reproducibility of the coating method and dipping method using a colour liquid.

Methods: Two groups of square-shaped specimens (10㎜ ×10㎜ in diameter, 1.5㎜ thickness) were prepared for analysis(n=15/group). The CM(Coating Method) group was fabricated as full zirconia specimens with the coating coloring method and Group DM(Dipping Method) was prepared as specimens of 0.7 mm-thick zirconia plate using the dipping coloring method and veneered with 0.8mm-thick porcelain. Color parameters were measured with ShadeEye NCC® spectrophotometer and color differences were calculated using the equation $\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2\}^{1/2}$. Non-parametric statistical methods, the Mann-Whitney test, and the Kruskal-Wallis test were used to analyze the data. Type one error rate was set at 0.05.

Results: Color difference values larger than 7 were observed between specimens with the coating method and the dipping method, which were detectable difference in a clinical setting.

Conclusion: Cautious application of the coating coloring method in a clinical setting and further researches to standardize the coating method are needed.

Key words : colour liquid, veneer, all-ceramic crown, color difference

교신저자	성 명	김 혜 영	전 화	02-940-2840	E-mail	Kimhaey@korea.ac.kr
	주 소	서울시 성북구 정릉3동 산1번지 고려대학교 보건과학대학				

접 수 일	2013. 7. 24	수 정 일	2013. 9. 9	확 정 일	2013. 9. 13

Ⅰ. 서 론

여러 가지 원인으로 인하여 결손된 치아 및 치아 주위 조직의 기능 회복을 위하여 대체 수복물이 다양한 재료로 제작되고 있다. 기존의 금속도재관으로 제작된 보철물의 사용은 충분한 강도와 변연적합성을 가져 기능적인 면에서 환자나 의사에게 적절한 보철 재료로 여겨져 왔으나(MaLean, 1983), 단점으로 치경부위의 잇몸색의 변색 등 심미적인 면에서 취약점이 있어 최근 그 대안으로 지르코니아를 사용한 전부도재관의 적용이 빠른 속도로 확대되고 있다(Belles DM, 1991). 그 결과 현재 상실된 치아의 기능 회복과 더불어 심미성을 더 중요시하는 환자가 늘면서 전치부 수복물의 코아 재료로 금속을 대체하여 지르코니아 재료가 널리 사용되고 있다. 지르코니아는 높은 기계적인 물성을 보이기 때문에 최근 부하를 많이 받는 구치부에도 그 사용이 확대되고 있는 추세이다(Suarez et al, 2004).

지르코니아를 이용한 전부도재관은 구조에 따라 크게 코어와 상부도재로 이루어지는 이중구조 전부도재관과 단일구조로 이루어진 단일구조 전부도재관으로 나눌 수 있다. 이중구조 전부도재관은 상부도재 축성을 위해 추가적인 소성을 필요로 하며 심미성이 뛰어나지만, 상부도재의 파절강도가 약하고 지대치의 삭제량이 많다는 단점이 있다(정희찬, 2006). 또한, 지르코니아 코어는 금속에 비해 심미적이지만 불투명한 백색이므로 자연치의 심미성을 구현하는데 한계가 있다. 따라서 지르코니아를 절삭한 후 코어를 용액에 담궈 색을 부여하는 침전법(dipping method)을 사용하여 색을 보완하거나 처음부터 색조가 가미된 유색 지르코니아를 사용하기도 한다(Shah K et al, 2008). 코어를 제작할 때 사용하는 침전법은 예비소결 된 지르코니아를 담구는 착색용액(colour liquid)의 농도 및 시간을 변화시킴으로써 원하는 색조를 얻는다(Ocana M et al, 1998).

단일구조로 이루어진 단일구조 전부도재관은 기존의 제작법과는 달리 한 번의 CAD/CAM 작업으로 제작된다(Bindl A et al, 2006). 전자에 비해 제작 시간이 단축되고 최소한의 삭제량으로 충분한 강도를 얻을 수 있는 장점이 있으나 상부도재가 생략되어 심미성 구현에 한계가 있으므로 구치부의 수복에 주로 사용된다. 단일구조 전부도재관의 색조를 부여하기 위하여 일반적으로 도포법(coating method)을 사용하는데 제조사의 지시에 따라 해당하는 착색용액에 붓을 담근 후 반 소결된 지르코니아 표면에 칠하여 색조의 종류 및 칠하는 횟수로 적정량을 침투시켜 색조를 재현한다. 도포한 후에 소결과정을 거쳐 이를 통하여 자연치와 유사한 색을 재현한다.

이중구조 전부도재관에 주로 이용되는 색조의 침전법 이용과 관련하여 많은 연구가 이루어진 바 있다. 백기현 등(2008)은 지르코니아 코어의 색조 부여가 이중구조 전부도재관의 색조의 영향에 대하여 연구하였고, 최성민과 남상용(2011)은 지르코니아의 색조 침전에 따른 착색 시간은 색조에 영향을 미친다고 하였다. 염미옥 등(2011)은 지르코니아 최종 색조가 전부도재관 제작방법에 따라 영향을 미친다고 하였고, 허성윤 등(2012)은 지르코니아 코어 두께에 따라 전부도재관의 축성방법이 색조에 미치는 영향을 미친다고 하였다. 이와 같이 core와 veneer의 색과 두께, 그리고 제작방법이 색조에 영향을 미친다는 연구가 보고 되고 있다. 반면 지르코니아 단일구조 전부도재관의 경우, 강도(Guazzato M et al, 2003; Preis V et al, 2012)나 투명도(Beuer F et al, 2011)에 관한 연구가 일부 보고되고 있으나 착색용액에 붓을 이용하여 도포횟수를 달리한 도포법의 색조 재현성에 관한 연구는 현재까지 거의 없는 실정이다. 그러므로 단일구조 전부도재관의 색조 처리에 관한 기존 연구가 거의 없어 제조사의 지시에 따른 방법이 실제 색조를 제대로 구현해 내는 지에 관한 실증적 평가가 이루어지지 않았고 실제 임상에서도 제조사의 지시에 따라 적용한 결과가 기대하는 색조에 맞지 않아 치과기공사가 임의로 조절하여 사용하는 등 혼란스러운 상황이므로 도포법의 색조 재현성에 관한 실증연구 검증이 필요하다고 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 단일구조 전부도재관의 색조를 재현 시 사용되는 도포법의 색조 재현성을 알아보고자 일반적으로 많이 사용되고 있는 침전법과 비교하여 색조 재현 정도를 비교 분석하고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 실험 재료

이중구조 전부도재관 제작에 사용되는 침전법의 시편 재료로는 Zirkonzahn (Brueneck, Italy)의 지르코니아 Trans 블록, ICE porcelain powder를 이용하였고 A1, A2, A3의 색조를 재현하는 코어용 착색용액을 사용하였다. 단일구조 전부도재관 제작에 이용되는 도포법의 시편 재료로는 Zirkonzahn의 full contour zirconia 소재인 Prettau 블록과 Prettau 전용 착색용액 사용하였다 (Table 1).

Table 1. Materials used in the study

Group	Material	Thickness	Manufacture
CM*	Full contour zirconia: Prettau Block	1.5㎜	Zirkonzahn (Brueneck, Italy)
DM	Core : Trans Block	Core 0.8㎜	
	veneer : ICE porcelain powder	Veneer 0.7㎜	

CM : Coating Method, DM : Dipping Method

2. 시편 제작

1) 침전법을 이용한 시편 제작

Zirkonzahn (Brueneck, Italy)의 지르코니아 Trans 블럭을 이용하여 두께는 0.8㎜이며 가로10㎜, 세로10㎜의 정사각형 형태인 core용 시편을 제작하였다. 제조사에서 제공한 수축률에 기초하여 확대된 시편을 제작하며 A1, A2, A3에 해당하는 용액에 3초 동안 침전시킨 후 제조사에서 요구하는 소성 스케쥴에 따라 소결하였다. 소결된 시편을 1000-grit SiC paper(Buehler Ltd., USA)를 이용하여 크기와 형태를 조정하였다. 그리고 시편을 초음파 세척기에서 10분간 세척 후 건조하였다. 각각의 shade 당 5개씩 총 15개의 core시편을 제작하였다.

동일한 두께를 일률적으로 축성하기 위해 시편 크기에 맞는 실리콘(Deguform, DeguDent GmbH, Hanau-wolfgang, Germany)를 이용하여 몰드를 제작하였다. 제작한 코어를 실리콘 몰드 안에 위치시킨 후 Zirkonzahn의 ICE powder를 이용하여 두께 0.7㎜와 가로10㎜, 세로10㎜의 정사각형 형태로 A1, A2, A3 shade에 해당하는 dentin 도재를 축성하였다. 도재의 소성온도 스케쥴은 제조사의 지시에 따라 소성하였다. 1차 도재 소성에 따라 도재의 수축이 일어났으므로 도재를 첨가하여 2차 소성을 하여 일정한 크기와 두께를 갖는 시편을 제작하였다. 소성된 시편은 크기 조절과 표면연마를 실시하였고 전자식 캘리퍼(Model No.CD-20PSX, Mitutoyo, Japan)로 최종두께를 확인하였다.(Fig. 1)

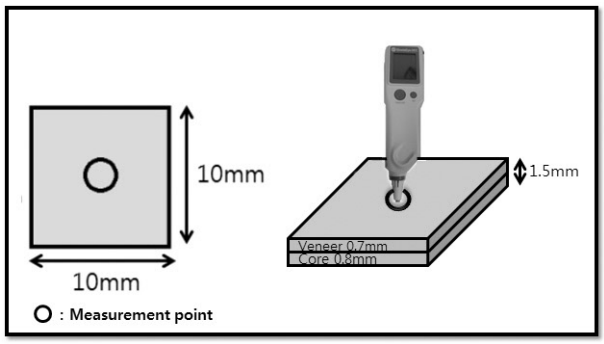

Fig. 1. Measurement point and the sample size

2) 도포법을 이용한 시편 제작

Zirkonzahn (Brueneck, Italy)의 지르코니아 Prettau 블럭를 이용하여 두께 1.5㎜와 가로10㎜, 세로 10㎜의 정사각형 형태의 시편을 제작하였다. 소성 전의 블록의 크기는 제조사에서 명시하는 수축률 20%를 고려하여 조절하였다. 소결된 시편위에 A1, A2, A3 shade에 해당하는 Prettau 전용 착색용액을 도포하였다. 제조사의 지시대로 착색용액을 사용하여 도포횟수를 달리하여 A1, A2, A3 shade를 재현하였다. 도포한 후에 착색용액을 충분히 건조시키고 Zirkonzahn furnace의 Prettau 전용의 소성 스케쥴에 따라 소성을 실시하였다. 시편의 수는 각 shade 그룹 당 5개씩 총 15개의 시편을 제작하였다.

3. 분광측색장치에 의한 측정

색조의 정량적인 분석을 위해 분광측색장치(Spectrophotometer)인 ShadeEye-Ncc® dental chromameter(Shofu dental, Japan)를 이용하였다.(Fig. 2) 먼저 색상 조정(calibration)을 한 후 'analyze mode'에서 측정기의 tip을 직각으로 밀착시켰다.(Fig. 1) 한 개 시편당 중앙부위를 5회씩 측정하여 산술평균값을 이용하여 CIE 표색계의 L*, a*, b* 값으로 산출하였다.

Fig. 2. ShadeEye-NCC® dental chromameter (Shofu Dental, Kyoto, Japan)

4. 색조차이(⊿E*)의 계산

측정된 L*, a*, b* 값은 3차원 색 공간에서의 거리를 나타내는데 시편을 측정하여 산출된 L*값은 명도로 0-100 사이의 값을 가지며, 값이 클수록 밝은 것을 의미한다. a*, b*는 색도좌표로 +a*는 적색에, -a*는 녹색에 가까움을 의미하고 +b*는 황색, -b*는 청색에 가까움을 의미한다. L*, a*, b*값을 이용하여 평균 색차 값(mean color difference, ⊿E*)으로 제작방법에 따른 색조의 차이를 계산하였다. 색조 차이인 ⊿E* 값의 산출 공식은 다음과 같다.

$\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2\}^{1/2}$

⊿L* = DM군 시편의 L*값 - CM군 시편의 L*값

⊿a* = DM군 시편의 a*값 - CM군 시편의 a*값

⊿b* = DM군 시편의 b*값 - CM군 시편의 b*값

5. 통계 분석

측정된 결과는 통계적 유의성을 검증하기 위하여 SPSS Version 20.0 for win(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 착색용액 처리 방법에 따른 A1, A2, A3색조별로 두 그룹에서 측정된 L*, a*, b*값의 차이를 통계적 유의차를 평가하기 위해 비모수 검정인 Mann-Whitney test를 통해 검정하였으며, 처리 방법에 따른 색차가 각 A1, A2, A3 색조 별로 같은지 알아보기 위해 Kruskal-Wallis test로 검정하였다. 모든 통계분석은 95%의 유의수준에서 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 착색용액 처리방법에 따른 L*, a*, b*값 분석

CM, DM그룹의 시편을 측정한 L*, a*, b*값을 mean, standard deviation으로 나타냈으며 비모수 검정인 Mann-Whitney test 결과, 두 그룹 사이에 유의한 차이가 나타났다.($p<0.05$) 두 그룹의 시편에서 A1, A2, A3로 색조가 변화할수록 L*값은 모두 감소하는 경향을 보이며, a*, b*값은 증가하는 경향을 보였다.

명도지수인 L* 값은 CM와 DM그룹 모두 A1에서 A3로 갈수록 점차 감소하는 값을 나타냈으나, DM그룹과 비교하여 CM그룹에서는 값의 큰 변화가 없었다. A1, A2, A3 시편에서 L* 값은 CM그룹이 DM그룹에 비하여 유의하게 높았다($p<.010$).

채도지수인 a*, b*값 모두 CM그룹이 DM그룹보다 낮은 값을 나타내는 경향을 보였으며 모두 유의한 차이를 보였다($p<.000$). CM그룹에서 a*값은 A1, A2 시편에서 녹색계열을 보였고, A3시편에서는 적색계열을 나타냈으며 DM그룹에서는 A1, A2, A3 모두 적색계열로 나타났다. b*값은 CM그룹과 DM그룹 모두 황색계열을 나타내는 경향을 보였다(Table 1).

Table 1. means value of L*, a*, b* according to manufacturing method

mean(SD)

	L*		a*		b*	
	CM	DM	CM	DM	CM	DM
A1	81.71 (0.88)	81.04 (0.43)	−0.36 (0.36)	0.18 (0.06)	10.89 (1.25)	17.44 (0.66)
p-value	.010		.001		.001	
A2	80.50 (0.67)	77.13 (0.33)	−0.25 (0.47)	1.53 (0.11)	11.10 (1.43)	22.32 (1.14)
p-value	.001		.001		.001	
A3	80.38 (0.25)	76.12 (0.65)	0.07 (0.13)	2.13 (0.35)	11.64 (0.60)	22.78 (0.93)
p-value	.001		.001		.001	

CM : Coating Method / DM : Dipping Method

2. 착색용액 처리방법에 따른 ⊿E*값 분석

처리방법에 따른 CM그룹과 DM그룹의 차이를 색차(⊿E*)값을 이용하여 계산하였다. Kruskal-Wallis test로 분석한 결과에 따르면 A1, A2, A3의 시편 간 색조에서는 제작방법에 따라 유의한 차이를 나타났다($p<0.05$). A1는 7.09±1.14, A2는 11.88±0.80, A3는 12.10±0.62의 색차 값으로 A1에서 A3로 갈수록 점점 증가하는 경향을 보였다(Table 2).

Table2. Kruskal-Wallis results of comparison of △E* value for each group

shade	mean △E*(SD)	P-value
A1	7.09(1.14)	.008
A2	11.88(0.80)	
A3	12.10(0.62)	

Ⅳ. 고 찰

지르코니아의 물성 개선이 가속화됨에 따라 강도와 심미성 및 치질 삭제 감소 등의 장점을 겸비한 단일구조 전부도재관의 장점이 가시화하면서 점차 그 사용이 증가하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 단일구조 전부도재관의 색조 처리에 관한 기존 연구가 거의 없고 임상에서 경험에 의존하여 색조가 구현되고 있는 상황에서 실증적 검증을 통하여 단일구조 전부도재관의 도포법에 의한 색조 구현을 평가하고자 수행되었다. 통상적으로 사용되는 이중구조 전부도재관의 지르코니아 코어의 색조 재현에 이용되는 침전법과 단일구조 전부도재관의 색조 재현에 이용되는 도포법의 색조 재현정도가 유사한지 비교 평가하고자 하였다. 실험 결과, 도포법을 이용하여 A1, A2 및 A3의 색을 구현한 경우 침전법을 사용한 시편에 비하여 색차값이 모두 7 이상으로 나타나 △E*값이 육안으로 구별 가능한 3.7이상을 보였다. 세 가지 색의 차원으로 분리하였을 때 침전법에 비하여 도포법을 적용했을 경우, L*값이 높아서 더 밝고, a*값이 낮아서 녹색 방향의 색조 경향을 보였고, b*값이 작아 황색 경향이 연한 것으로 나타나 전체적으로 밝고 환한 색을 나타냈으며, 모든 차이는 통계적으로 유의하였다($P<.05$). A1, A2, A3에 해당하는 색조를 비교하면 도포법과 침전법 사용 모두 공통적으로 L*값은 감소하여 어두워지고 a*값은 증가하여 적색 방향으로 b*값은 증가하여 황색방향으로 강한 경향을 보이고 있다. 침전법 사용 시의 값은 Luo와 Zhang(2010)의 결과와도 유사한 결과를 나타내었다.

색조를 측정하기 위해서는 이 실험에 사용된 Spectrophotometer인 ShadeEye-NCC® 시스템은 spot의 형태로 측색하도록 고안된 장치로서 조명이나 주변 색, 술자의 경험 등에 좌우되지 않고 객관적으로 정확

한 정보를 얻을 수 있다. 반사광의 세 자극치는 Guide number(Vita shade), Chroma(채도), Value(명도), Hue(색상)의 정보로 값을 확인할 수 있다. 이 시스템은 3가지 좌표, 즉 L*, a*, b*의 색 공간으로 정의할 수 있다. 그리고 L*, a*, b*의 값을 측정한 후 구하는 두 색의 차이인 △E*값은 $\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2\}^{1/2}$라는 공식을 이용한다. 색차의 정도를 나타내는 △E*값이 증가하면 색조가 상호 차이가 난다는 의미이다. 미국 치과의사 협회(ADA)는 △E*값이 2일 때를 임상적으로 색상차를 구별할 수 있는 기준 값으로 규정하고 있다. Johnston과 kao(1989)는 색차가 3.7 이하이면 치과용 수복재료로 임상에서 사용할 때 유사한 색조로 허용 가능하다고 하였으며 Crispin 등(1991)은 △E*값이 2일 때 육안으로 식별 가능한 기준점으로 삼았다. O'Brien 등(1990)은 △E*이 1이하일 경우 색의 일치가 우수하고 2이하일 경우 임상적으로 허용 가능하며 3.7이상일 경우 임상적으로 확연히 구별된다고 하여 여러 연구자들에 의하여 다양한 기준이 제시되고 있다.

CAD/CAM 시스템마다 다양한 종류의 블럭을 사용하기 때문에 코어 자체의 색조와 투명도가 최종보철물의 심미성에 영향을 끼친다. 최종 보철물의 심미성에 영향을 주는 요소로는 두께, 외형, 표면질감, 반투명도, 색조 등 많은 요소들이 있다(Douglas RD & Przybylska M, 1999). 지르코니아 분말에 금속산화물 색소체를 섞어 제작된 블록은 처음부터 색조를 부여할 수는 있지만 개별적인 특성에 맞는 색조를 얻기가 어려운 것은 물론 물리적 성질에 영향을 주어 강도 저하를 초래할 수도 있다(Sceeram KJ et al, 2007). 실제로 자연치의 색조는 다양하고 같은 치아라 할지라도 다른 색조를 가지기 때문에 정확한 색조를 표현하기 어려우며(Preston, 1985), 수복물과 자연치는 빛의 반사와 흡수 양상이 다르기 때문에 도재 수복물을 조화롭게 제작하는 데에는 한계가 있다(McMauch DR, 1977)고 하였다.

단일구조 전부도재관의 최종 색조는 적용하는 착색용액 종류, 붓에 묻어나는 용액의 양과 도포횟수 등에 따라 영향을 받는 것으로 판단된다. 따라서 착색용액 사용 시 그 양과 도포횟수를 고려하여야 임상적으로 만족할 만한 색체를 구현하는 전부도재관을 제작할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 도포법은 숙련된 기공사라 할지라도 경험이나 손기술에 의해 색조가 달라질 수 있으므로 지속적인 연구와 표준화가 필요하며 또한 도포법에 사용되는 착색용액의 침투 정도와 깊이에 따른 색조에 관한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Ⅴ. 결 론

본 연구는 단일구조 전부도재관의 도포법에 의한 색조재현을 침전법과 비교 평가하고자 수행되었다. 임상적으로 허용 가능한 색차 기준 값은 3.7이하이다. 그러므로 도포법과 침전법을 사용한 시편의 색차는 7 이상의 색차 값을 나타내었으므로 두 그룹 간의 색차는 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도포법을 이용하여 전부도재관에 착색을 할 때 색의 농도 조절이 어려워 색차 값이 커질 수 있다는 의미로 해석됨으로 이를 감안하여 사용해야 할 것으로 생각된다. 결론적으로 도포법은 침전법에 비해 다양한 용액으로 술자가 원하는 대로 편리하게 색조를 재현할 수 있으나 아직까지는 숙련된 기공사라 할지라도 경험이나 손기술에 의해 일률적인 색조를 재현하는데 있어 변수가 많아 색조절의 어려움이 존재 하고 있기 때문에 도포법을 적용 할 시 측색계를 이용할 뿐만 아니라 제작 시 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다.

REFERENCES

Baek KH, Woo YH, Kwon KR, Kim HS: Spectrophotometric analysis of the influence to shade of zirconia core on the color of ceramic. The Journal of the Korean academy of prosthodontic society, 46(4), 409-419, 2008

Belles DM, Cronin RJ, Duke ES. Effect of metal design and technique on the marginal characteristics of the collarless metal ceramic restoration. The Journal of Prosthetic Dentistry, 65(5), 611-619, 1991.

Beuer F, Stimmelmayr M, Gueth JF, Edelhoff D, Naumann M. In vitro performance of full-contour zirconia single crowns. Dental Materials, 28(4), 449-456, 2012.

Bindl A, Mormann WH. Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM-generated partial crowns. Eur J Oral Sci, 111(2), 163-169, 2003.

Bindl A, Luthy H, Mormann WH. Strength and fracture pattern of monolithic CAD/CAM generated posterior crowns. Dent Mate, 22(1), 29-36, 2006.

Choi SM, Nam SY. Evaluation of color change according to coloring time of dental zirconia block. The Korean Academy Of Dental Technology, 33(3), 219-224, 2011

Crispin BJ, Hewlett E, Seghi R. Relative color stability of ceramic stains subjected to glazing temperatures. J Prosthet Dent, 66(1), 20-23, 1991.

Douglas RD, Przybylska M. Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. J Prosthet Dent, 82(3), 143-149, 1999.

Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part Ⅱ. Zirconia-based dental ceramics. Dental Materials, 20(5), 449-456, 2004.

Huh SY, Son HJ, Kim HY, Kim JH. The effect of veneering techniques on the color parameters of Y-TZP based all ceramic restoration of varying ceramic core thickness. Journal of Dental Hygiene Science, 12(2), 123-129, 2012.

Jeong HC. fracture strength of zirconia monolithic crowns. The Journal of the Korean academy of prosthodontic society, 44(2), 157-164, 2006.

Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res, 68(5), 819-822, 1989.

Kim IJ, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Effect of surface topography on the color of dental porcelain. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 14(5), 405-409, 2003.

Lee YK, Cha HS, Ahn JS. Layered color of all-ceramic core and veneer ceramics. J Prosthet Dent, 97(5), 279-286, 2007.

McLean JW. Dental ceramics. Proceedings of the First International Symposium on Ceramics. Chicago: Quintessence Publishing Co, 27, 1983.

McMauch DR. A comparative analysis of the colour matching ability of dentists dental students and ceramic technicians. Aust Dent J, 22(3), 165-167, 1977.

O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new, small-color difference equation for dental shades. J Dent Res, 69(11), 1762-1764, 1990.

Ocana M, Gonzalez-Elipea AR, Andres-Vergesb M, Tartaj P, Serna CJ, Orerad VM. Preparation by hydrolysis of aerosols and colour properties of Cr-doped and Co-doped zircon powder. J Eur Ceram Soc, 18(7), 821-830, 1998.

Peris V, Behr M, Hahnel S, Handel G, Rosentritt M. In vitro failure and fracture resistance of veneered and full-contour zirconia restorations. Journal of Dentistry, 40(11), 921-928, 2012.

Preston JD. Current status of shade selection and color matching. Quintessence Int, 16(1), 47-58, 1985.

Rosenblum MA, Schulman A. A review of all-ceramic restoration. J Am Dent Assoc, 128(3), 297-307, 1997.

Sceeram KJ, Srinivasan R, Devi JM, Nair BU, Ramasami T. Cerium molybdenum oxides for environmentally benign pigments. Dyes and pigment, 75(3), 687-692, 2007.

Shah K, Nolloway JA, Denry IL. Effect of coloring with various metal oxides on the microstructure, color and flexural strength of 3Y-TZP. J Biomed Mater Res B Appl Biometer, 87(2), 329-337, 2008.

Suarez MJ, Lozano JF, Paz Salido M, Marti nez F. Three-year clinical evaluation of In-Ceram Zirconia posterior FPDs. J Prosthodont, 17(1), 38-38, 2004.

Xiao Ping Luo, Lei Zhang. Effect of veneering techniques on color and translucency of Y-TZP. J Prosthodont, 19(6), 465-470, 2010.

Yeom MO, Lee JH, Shin SY, Sin SC, Cho JW. The study on the shade color change that depends on the kind of zirconia core and the porcelain thickness. The Korean Academy Of Dental Technology, 32(4), 349-358, 2010.