

2종의 측색기에 의한 도재 색조 재현의 정확성 비교

이태일¹ · 안진수² · 김영수³ · 신상원^{4*}

고려대학교 임상치의학대학원 고급치과보철학과, 임상치의학연구소, ¹대학원생, ²교수
²서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실 조교수, ³고려대학교 구로병원 예방치과 교수

연구 목적: ShadeEye-Ncc dental chroma meter (Shofu Inc., Kyoto, Japan)와 Shadepilot™ system (Degudent Inc., Hanau, Germany)의 도재색조 재현의 정확성을 비교연구하여 보고자 함이다.

연구 재료 및 방법: ShadeEye-Ncc dental chroma meter와 Shadepilot™ system을 사용하여 Vitapan 3D Master shade guide의 2M2와 3M2 shade tap을 측색하고, 이 자료를 통하여 shade guide tap. 형태로 도재시편을 제작한다. 시편제작 시 사용하는 porcelain system은 ShadeEye-Ncc dental chroma meter는 Vintage Halo Porcelain system을, Shadepilot™ system은 VitaOmega900 Porcelain system을 사용한다. 모델인 shade tap.과 제작된 도재시편을 spectrophotometer로 측색하고, 그 결과를 토대로 하여 ΔE를 계산하여, 두 측색기의 정확성을 비교검증하였다.

결과: 1. Shadepilot™ system이 ShadeEye-Ncc dental chroma meter에 비하여 더 적합한 도재색조 재현성을 나타내었다 ($P < .05$). 2. 모델인 Shade tap.의 shade에 따라서 도재색조 재현성에 차이를 나타내었다. 2M2 shade tap.에 비하여 3M2 shade tap.에서 더 적합한 도재색조 재현성을 나타내었다 ($P < .05$). 3. 두 측색기 모두에서 제작된 도재시편의 ΔE가 평균 4.44 - 6.14로 육안으로 구분 가능한 정도의 색조차이를 보였다.

결론: Shadepilot™ system이 비교적 더 정확한 도재색조 재현성을 나타낸다고 할 수 있으며, ShadeEye-Ncc dental chroma meter를 사용할 때는 치아 전체의 여러 부분에서 측색을 하여 정확성을 높이는 것이 필요하리라 생각된다. (대한치과보철학회지 2009;47:348-55)

주요단어: 측색기, ShadeEye-Ncc dental chroma meter, Shadepilot™ system, 도재색조 재현성, 분광광도계

서론

전치부의 보철치료 시 구조적인 심미성과 함께 도재의 색조가 인접 치아와 자연스럽게 조화를 이루는 것은 중요하다.^{1,2} 실제로 임상에서는 거의 매일 심미치료를 위하여 치아의 색을 측정하고 있다. 그러나, 현재까지도 대다수의 임상가들은 치아의 색을 결정하기 위하여 Vitapan 3D Master shade guide와 같은 기존의 색견본과 치아를 직접 눈으로 비교하여 색을 결정하는 비색법을 사용하고 있다. 그러나, 비색법은 이미 많은 선학들에 의하여 그 문제점이 제기된 상태이다. Paravina와 Power 등³이나, Sproull⁴은 기존의 색견본이 자연치의 색상 전체를 재현하지 못하고 있고, shade tap의 배열이 체계적이지 못하며 색 공간의 어느 한 쪽에 치우쳐 있다고 보고하였다. Grajower 등⁵은 자연치와 shade tap사이 reflection curve가 일치하지 않는다고 보고 하였다. 이 외에도 레진 색견본 간의 색 안정성의 문제⁶와 shade tap의 형태와 관련된 문제⁷ 등 많은 문제점들이 보고되었다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 기계를 이용하여 색을 측정하는 방법들이 제안되었다. 그러나, 개발 초기의 측색기들은 부피가 크고, 치아의 색조 측정시 치아의 투명도 차이를 구별하는 능력 등이 부족하여 임상에서 사용하기에 한계점이 있었다. 최근에는 이런 단점들을 극복한 장치가 많이 개발되어 소개되고 있다. Macentee와 Lakowski⁸, Goodkind와 Schwabacher⁹, 김 등¹⁰, S. Paul 등¹¹, 성 등¹²의 연구에 의하여 여러 종류의 측색기들의 정확성에 대한 연구가 이루어 졌으나, 방식이 다른 측색기들의 비교연구는 거의 없는 실정이다.

임상에서는 환자에게 자연치와 더 정확한 shade matching이 되는 도재수복물을 제공하기 위하여 측색기를 사용하는 치과가 늘고 있다. 최근 임상에서 많이 사용되고 있는 측색기에는 ShadeEye-Ncc dental chroma meter (Shofu Inc., Kyoto, Japan)와 Shadepilot™ system (Degudent Inc., Hanau, Germany)이 있다. ShadeEye-Ncc dental chroma meter는 작은 영역을 측색하는 장치로서, Guide number (Vita shade), Chroma (채도), Value (명도), Hue (색상)의 정

교신저자: 신상원

136-705 서울시 성북구 안암동 5가 126-1 고려대학교 임상치의학대학원 고급치과보철학과 02-818-6874: e-mail, swshin@korea.ac.kr

원고접수일: 2009년 6월 26일 / 원고최종수정일: 2009년 7월 2일 / 원고채택일: 2009년 7월 4일

보로 산출된다. Shadepilot™ system은 complete-tooth measurement (CTM) system으로 자연치아의 전체범위를 측정하여 한 장의 그림으로 치아의 해부학적 색표를 표시하며, Vita shade와 같은 임상에서 사용되어지는 방식으로 표시한다. 이와 같이 위의 두 가지 종류의 측색기의 측색방식과 결과의 표현방식이 다르므로 측색된 결과를 직접 비교하는 것은 어렵다.

측색기를 사용하는 최종 목적은 모델이 되는 자연치의 색을 동일하게 재현해 내는 것이라 할 수 있다. 따라서 각 측색기를 사용하여 모델을 측색하고, 측색된 data를 통해 도재시편을 제작하여, 모델과 제작된 도재시편의 spectrophotometer의 측색결과를 대조하면 각 측색기의 도재색조재현의 정확성을 평가해 볼 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 현재 임상에서 사용되고 있는 측색기 중 ShadeEye-Ncc dental chroma meter와 Shadepilot™ system을 선택하여 도재색조 재현성의 정확도를 비교, 연구하여 보고자 한다.

연구 재료 및 방법

1. shade tap. 모델 선택

시험 측색을 위하여 임상에서 가장 흔하게 사용되는 shade guide로서 Vitapan 3D Master shade guide (Vident Inc., California, USA)를 선택하여 이 중 shade tap. 2개를 임의로 선택하였다; 가장 많이 사용되는 shade인 2M2, 3M2를 선택하였다.

2. 측색시행

시판되고 있는 측색기로서

① ShadeEye-Ncc dental chroma meter

② Shadepilot™ system을 선택하여 각각의 제조사에서 지시하는 방법대로 모델인 2M2, 3M2 shade tap.을 측색하였다. 각 측색기의 제조회사의 지시대로 측색을 시행하고 기록 및 저장을 시행하였다. ShadeEye는 Tooth mode를 사용하여 측색하였다.

ShadeEye의 경우는 치아의 작은 영역을 측색하는 장치이기 때문에 측정팁이 항상 동일한 부위에 위치되어야 정확한 반복 측색을 할 수 있을 것으로 생각되었다. 이를 위하여 측색기의 측정팁과 shade tap.에 맞는 투명한 plastic cap을 제작하여 측색시에 사용하였다.

흑색 배경판을 기준으로 하여 측색을 시행하였으며,

측색자는 1명의 동일인으로 시행하며, 측색방법은 하나의 shade tap. 당 10회 반복측정을 시행하였다.

측색된 결과에서 오류치를 제거하고 평균치를 사용하여 도재시편을 제작하였다.

3. 도재시편 제작

각 shade tap.의 측색된 결과에 맞춰 shade guide tap.형태로 도재시편을 제작하였다. 제작에 사용하는 porcelain system은

① ShadeEye-Ncc dental chroma meter; Vintage Halo Porcelain system (Shofu, Portland, Oregon, USA)

② Shadepilot™ system ; VitaOmega900 Porcelain system (Vident Inc., California, USA) 을 사용하였다.

ShadeEye-Ncc dental chroma meter의 경우에는 제조회사인 Shofu사에서 출시되는 Vintage Halo Porcelain system을 색조를 재현하기 위한 matching system으로 추천하고 있다. 따라서 도재 측정 시스템으로 Vintage Halo Porcelain system을 선택하였다. Shadepilot™ system은 제조회사에서 특정한 도재 측정 시스템을 지정하지 않고, 모든 도재 측정 시스템을 지원한다고 설명하고 있다. 따라서 임의로 Vita사에서 나오는 VitaOmega900 Porcelain system을 도재 측정 시스템으로 선택하였다.

4. Spectrophotometer 측색 시행

Spectrophotometer (Color-Eye 7000A; GretagMacbeth Instruments Corp)의 영점조정과 흑색, 백색 표준판을 이용하여 표준조정을 시행하였다.

양면테이프를 이용하여 도재시편을 광학부에 밀접시켰다. shade tap. 모델을 3회 반복 측색하고, 각각의 측색기에 의해 색조가 선택되어 제작된 도재시편을 한 시편 당 3회씩 반복측정을 시행하였다. 측정 시 zero calibration box (Zero Calibration Standard; Gretag Macbeth Instruments Corp, New Windsor, NY)를 사용하여 도재시편과 광학부를 덮어서 외부광원을 차단하였다.

측색된 결과를 엑셀파일로 저장하였으며, 3회 반복측정 결과의 산술평균을 계산하여 통계처리에 사용하였다.

Table I. Porcelain specimens

ShadeEye	Shadepilot	
2M2	5	5
3M2	5	5

5. 색조차이(ΔE^*)의 계산

Spectrophotometer에서 얻어진 자료에서, 이 실험에서 구하고자 하는 자료만을 얻기 위하여 표준광원(D65)하에서의 데이터와, L^* , a^* , b^* 값만을 모아 정리하였다.

위의 결과를 이용하여 표준광원(D65) 하에서의 CIE표색계의 L^* , a^* , b^* 값을 산출하였다.

3회씩 반복 측정한 data의 산술평균을 그 시편의 data로 처리하였다.

색조차이인 ΔE^* 값을 구하는 공식은 다음과 같다.

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

$\Delta L^* = L_2 - L_1$; 모델인 shade tap의 L^* 값 - 도재시편의 L^* 값
;시편의 명도를 나타냄

$\Delta a^* = a_2 - a_1$; 모델인 shade tap의 a^* 값 - 도재시편의 a^* 값
;시편의 적-녹의 정도를 나타냄, +는 적방향, -는
녹방향

$\Delta b^* = b_2 - b_1$; 모델인 shade tap의 b^* 값 - 도재시편의 b^* 값
;시편의 황-청 정도를 나타냄, +는 황방향, -는 청
방향

6. 통계처리

SPSS 15.0 version을 사용하였으며, two-way ANOVA test를 시행하였고, 사후 검정법으로는 Bonferroni 검정법을 사용하였으며, 95% 신뢰수준으로 검증하였다.

결과

1. 측색기의 측색결과

1) ShadeEye-Ncc dental chroma meter의 측색결과

ShadeEye의 측색결과는 동일한 부위에서 측정이 시행되도록 투명한 plastic cap을 이용한 결과, 10번의 반복측정에서 매우 일관된 결과를 얻을 수 있었다. ShadeEye의 측색결과는 Vita Classic의 표현과, shade, value, hue값으로 나타내어 졌다. 또한 도재 제작시 참조할 수 있도록 Recipe를 함께 표현하여 추천하는 도재 system으로 색조 재현이 더 정확하도록 돕고 있다.

2) Shadepilot™ system의 측색결과

Shadepilot의 측색결과는 Vita Classic으로 나타내어지며, 치아 전체의 해부학적 색표를 나타내기도 하고, 치아를 3등분하여 대표값을 나타내기도 하였다. 또한 절단면 등의 투명도를 표시하였다. 모델을 10번 반복측색 시, 치

아전체를 해부학적 색표로 나타내는 영역은 미세하게 달랐으나, 치아를 3등분하여 표현하는 값은 모두 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

Table II. Color measurement data of ShadeEye

2M2 shade tap	3M2 shade tap	
NCC	D3*	R3.5*
Classical	D3	C3*
Shade	+3.0	+3.5
Value	-2	-2
Hue	R2	R2
Recipe		
Opaque	C2O .1	C3O .1
	OM-P .+10%	C4O .1
		OM-P .+10%
Body	C2B .1	C3B .1
	RED-D .+10%	C4B .1
		RED-D .+10%
Enamel	OPAL59 .1	OPAL59 .1
		OPAL60 .1

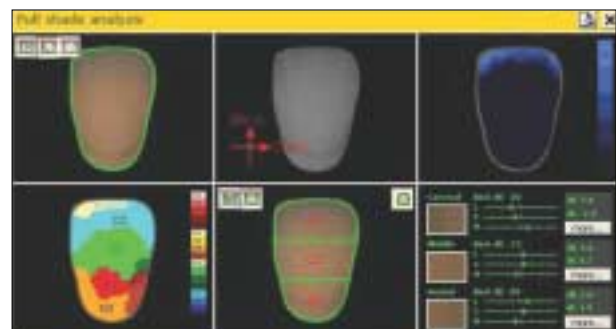


Fig. 1. Color measurement data by Shadepilot of 2M2.

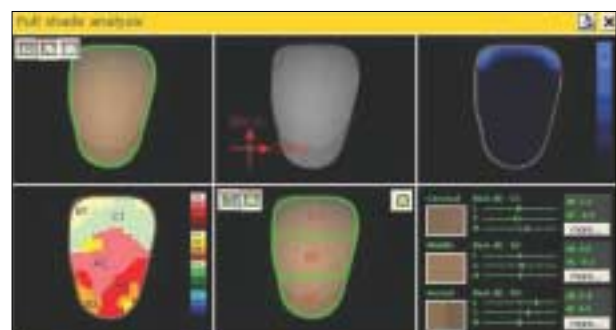


Fig. 2. Color measurement data by Shadepilot of 3M2.

2. 도재시편 제작 (Fig. 3)



Fig. 3. Porcelain specimens.

3. 통계결과

1) 색차 그래프

Fig. 4에서 보듯이 Shadepilot™ system이 ShadeEye-Ncc dental chroma meter에 비하여 더 작은 색차를 나타내고 있다. 즉 더 정확한 도재색조 재현성을 나타낸다.

또한, 3M2 shade에서 2M2 shade에 비해 더 작은 색차를 나타내며, 더 정확한 도재색조 재현성을 나타낸다.

2) Levene's Test of Equality of Error Variances

오차분산의 동질성을 검정하는 Levene's test결과 유의수준이 0.108이었으며, 0.05이상이므로 귀무가설을 인정하며 오차의 동질성을 확인하였다.

3) 개체 간 효과 검정결과

측색기 간 (ShadeEye와 Shadepilot) 에 통계적으로 유의한 차이가 인정되고 ($P = .021$), shade number 간 (2M2와 3M2)에도 유의한 차이가 인정 ($P = .001$)되지만, 둘 사이의 교호작용 (shade number간과 shade measuring system간)은 인정되지 않는다.

4) 사후검정 (Bonferroni test) 결과

2×2 인자의 two-way ANOVA에서 각 인자를 Bonferroni 사후검정법으로 비교, 분석한 결과, 측색기 간 비교에서 Shadepilot과 ShadeEye 사이에 통계적으로 유의한 차이가 인정되었다 ($P < .05$). 또한 Shade number간 비교에서도 2M2 shade tap.과 3M2 shade tap. 사이에 통계적으로 유의한 차이가 인정되었다 ($P < .05$).

고찰

치아의 색을 결정하는 방법에는 비색법과 측색법이 있는데, 비색법은 주관적인 시각적 측정법이고,¹³ 측색법은 객관적인 기계적 측정법이다.^{14,15} 기존의 Shade guide를 기준으로 비교, 대조하여 색조를 선택하는 방법은 관찰자의 주관적인 판단과 주변 환경이 측색결과에 지배적인 영향력을 미치게 된다.

이에 본 연구에서는 더 정확한 색조 선택과 자연스러운 도재 수복물을 제작하기 위해 소개되고 있는 측색기에 관하여 연구하고자 하였다. 최근 임상에서 많이 사용되고 있는 측색기들 중 ShadeEye-Ncc dental chroma meter와 Shadepilot™ system을 선택하여 측색방식과 측색결과와 표현방식이 다른 두 기기의 도재색조재현의 정확성

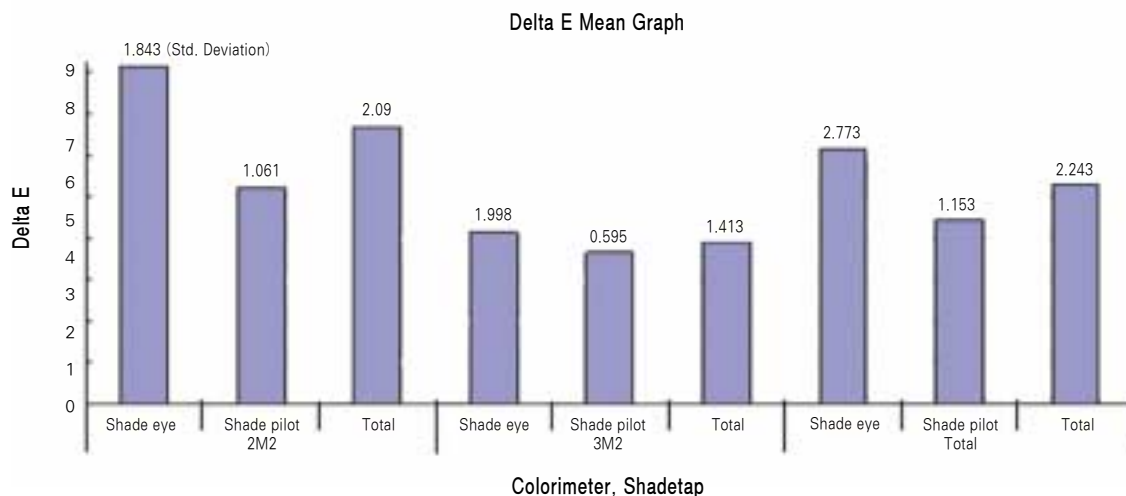


Fig. 4. ΔE Mean & Std. Deviation graph.

을 비교 평가하여 보고자 하였다.

ShadeEye-Ncc dental chroma meter는 작은 영역을 측색하는 장치로서, 펄스키세는 램프가 표준광 D65를 조사하면 광섬유를 통하여 자연치아에 조사되고, 반사 및 흡수 과정을 거쳐 그 자연치아 고유의 반사광이 된다. 반사광은 측정팁의 중앙부위에서 수광되어, 투광 시와는 다른 광섬유를 통하여 두 개의 수광 감지기에 감지된다. 수광된 반사광의 세 자극치는 내장된 마이크로 컴퓨터에서 연산되어 Guide number (Vita shade), Chroma (채도), Value (명도), Hue (색상)의 정보로 산출된다. 측색 데이터는 측색 오차로 인한 영향을 줄이고, 측색치의 신뢰성을 확보하기 위하여 동일부위를 3-5회 반복 측색하여 오류치를 제외한 다음, 평균치가 산정되어 얻어진다. Dental color space내에 있는 색조의 표시 영역은 농도 (Shade)는 -1.5 - 6.0 (17단계), 명도 (Value)는 -3 - +2 (6단계)로 A계통의 명도와 같은 것을 standard로, 색상 (Hue)은 YⅢ - RⅢ (7단계)로 표시되며 A계통의 색상을 standard로 하여 황색과 붉은 색 사이를 표시하여 나타낼 수 있다.

ShadePilot™ system은 complete-tooth measurement (CTM) system으로 자연치아의 전체범위를 측정하여 한 장의 그림으로 치아의 해부학적 색표를 표시한다. 또한 기존의 사람의 눈이나 카메라 구조를 응용한 비색계나 RGB 측정방식과는 달리 디지털 분광 원리 방식을 통해 여러 방향으로 분산되는 빛의 성질상 손실되는 부분을 보상할 수 있게 제작되어 오차나 미측정 범위가 발생하지 않으며, 반투명도의 측정도 가능하다. 측정 방식은 양쪽에서 나오는 빛이 치아에 도달하였다가 반사, 투과, 굴절, 분산, 형광, 유백광 등의 빛의 성질을 분석하여 색조를 측정하는 방식이다.

이와 같이 두 기기의 측색 원리가 상이하고, 이를 표현하는 방식도 상이하다. 이에 따라 두 기기의 측색 결과를 직접 비교하여 그 정확성을 평가하는 것은 무리가 따른다. 이에 두 측색기의 정확성을 비교평가하고자 두 측색기로 shade tap.을 측색하고 그 결과를 토대로 도재시편을 제작하였다. 모델인 shade tap.과 측색결과에 맞춰 제작된 도재시편을 spectrophotometer로 측색하여 그 결과를 비교하면 두 측색기의 정확성을 비교 평가하여 볼 수 있을 것으로 생각되었다. Seghi RR 등¹⁶은 spectrophotometer가 시편 색차표의 절대치를 얻을 수 있는 가장 정확한 기기라고 하였으며, Josephine 등¹⁷은 CIE 표색계와 시각적 인지가 일치함을 보고하였다.

각각의 측색기에서 나온 측색 결과를 토대로 하여 각 기기 별로 선택한 도재 축성 시스템을 이용하여 도재시편을 제작하기로 하였다. 이 과정에서 기공과정에서의

오차가 전체적인 실험결과에 중요한 영향을 미칠 것으로 생각되었다. 그래서 적어도 위의 두 측색기의 측색 결과를 통하여 도재 기공물을 제작하여 본 경험이 있고, 많은 논문 실험에 함께 참여한 경력을 가진 ceramist에게 도재시편 제작을 의뢰하였다. 제작을 의뢰 받은 ceramist는 1인이 동일한 환경에서 도재시편 제작을 처음부터 끝까지 담당하였다.

Spectrophotometer에서 나온 엑셀자료를 통해 통계 처리한 결과 ShadePilot™ system이 ShadeEye-Ncc dental chroma meter의 경우보다 색조차이인 ΔE^* 값이 유의성 있게 (유의수준 0.021) 작은 것으로 나타났다. 이것은 ShadePilot™ system이 더 나은 도재색조 재현성을 나타낸다는 것을 의미한다. 하지만, 개개의 도재시편 측색결과의 ΔE^* 값을 살펴보면 일부 시편의 경우 오히려 ShadeEye-Ncc dental chroma meter에서 가장 작은 ΔE^* 값을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 ShadeEye-Ncc dental chroma meter는 작은 영역을 측색하는 장치인 반면에, ShadePilot™ system은 치아를 전체적으로 측색하여 결과를 표시하기 때문으로 생각된다. 즉, Spectrophotometer (Color-Eye 7000A; GretagMacbeth Instruments Corp)의 광학부의 크기가 ShadeEye-Ncc dental chroma meter의 측색부위를 넘어서는 영역에서의 측색결과가 색조차이인 ΔE^* 값에 영향을 미친 것으로 생각된다. 이 결과를 토대로 하여 보면 ShadeEye-Ncc dental chroma meter로 치아를 측색시 제조회사의 지시사항처럼 치아 middle 1/3 부위의 한 부분에서만 측색하는 것 보다는 치아의 다양한 부분에서 여러 번 측색을 시행하고 그 결과를 토대로 하여 도재를 제작하는 것이 더 좋은 도재색조 재현성을 나타낼 수 있을 것으로 사료된다.

Seghi RR 등¹⁸과 Gross MD 등¹⁹은 Spectrophotometer로 측정된 결과를 토대로 하여, 사람의 눈으로 구분이 가능한 색조차이는 ΔE^* 값이 3 - 4를 기준으로 그 이상이면 구분이 가능하다고 보고 하였다. 또한, Barrett AA 등²⁰과 Dozic 등²¹은 ΔE^* 값이 1보다 작을 때 가장 적절한 색조조화를 이루며, 1 - 2사이일 때, 임상적으로 받아들일 수 있는 정도이며, 2보다 클 때 색조에 부조화가 나타난다고 보고하였다. 본 실험의 ΔE^* 값을 보면 작게는 2.281부터 크게는 11.154까지 존재하며, ShadeEye-Ncc dental chroma meter의 평균 ΔE^* 값은 6.14이고 ShadePilot™ system의 평균 ΔE^* 값은 4.44이다. 이것은 사람의 눈으로 구분이 가능한 정도의 색차를 보이고 있는 것을 의미한다. 이 연구를 진행할 때 도재제작 과정에서의 오차를 줄이기 위하여 상당한 수준의 경험과 경력을 가진 Ceramist에게 도재시편 제작을 의뢰한 것을 고려하고, 일반적으로 임상이

들이 측색기를 이용하여 자연치아의 색상을 재현할 때에도 제작되어온 도재기공물의 색조가 종종 잘 맞지 않는 경험을 하는 것을 고려해 보면, 임상에서 측색기를 사용시 측색기에 대한 더 많은 이해와 경험, 그리고 기공사와의 많은 커뮤니케이션을 통하여 오차를 줄여 나가는 과정이 필요하리라 생각된다. 더불어 기공과정에서 도재색조를 더 정확히 재현할 수 있게 측색결과를 표현하도록 측색기의 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

실험결과에 대한 통계분석 결과에서 실험계획 당시 예상치 못했던 결과를 얻을 수 있었는데, 그것은 모델이었던 Vitapan 3D Master shade guide의 shade에 따라서 도재색조 재현성이 유의성있게 ($P = .001$) 차이가 있었던 것이다. 2M2 shade tap.에 비하여 3M2 shade tap.에서 ShadeEye-Ncc dental chroma meter와 Shadepilot™ system 두 측색기 모두에서 더 정확한 도재색조 재현성을 나타내었다. Vitapan 3D Master shade guide는 Value (명도), Chroma (채도), Hue (색상)의 차이를 기초로 하여 shade tap.을 구분 제작하였는데, 2M2 shade tap.과 3M2 shade tap.은 Value (명도) 값만 다르고 Chroma (채도)와 Hue (색상)는 같은 값으로 제작되었다. 물론 같은 회사에서 나온 shade guide라고 하더라도 Spectrophotometer상에서 측색 결과가 서로 다르게 나오는 것을 지적한 선행들의 연구를 생각할 때 이 부분도 고려하여야 할 사항으로 생각된다.²² 그러나 2M2와 3M2 shade에 따르는 통계적 유의수준 ($P = .001$)을 생각할 때 측색되는 대상의 shade에 따른 도재색조 재현성의 차이가 있을 수 있다는 것은 앞으로 더 연구되어야 할 부분으로 생각된다.

결론

1. Shadepilot™ system이 ShadeEye-Ncc dental chroma meter에 비하여 더 정확한 도재색조 재현성을 나타내었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다.
2. 모델인 Shade tap.의 shade에 따라서 도재색조 재현성에 차이를 나타내었다. 3M2 shade tap.이 2M2 shade tap.에 비하여 더 적합한 도재색조 재현성을 나타내었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다.
3. 두 측색기 모두에서 제작된 도재시편의 ΔE^* 값이 평균 4.44 - 6.14로 육안으로 구분 가능한 정도의 색조 차이를 보였다.

참고문헌

1. Clark EB. An Analysis of Tooth Color. J Am Dent Ass 1931;18:2093-103.
2. Clark EB. Tooth Color Selection. J Am Dent Ass 1933;20:1065-73.
3. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Color comparison of two shade guides. Int J Prosthodont 2002;15:73-8.
4. Sproull RC. Color matching in dentistry. II. Practical applications of the organization of color. J Prosthet Dent 1973;29:556-66.
5. Grajower R, Revah A, Sorin S. Reflectance spectra of natural and acrylic resin teeth. J Prosthet Dent 1976;36:570-9.
6. Cernavin I. Effects of chlorine-containing disinfecting compounds on shade guides made of acrylic resin. J Prosthet Dent 1996;75:574.
7. Sykora O. Fabrication of a posterior shade guide for removable partial dentures. J Prosthet Dent 1983;50:287-8.
8. Macentee M, Lakowski R. Instrumental colour measurement of vital and extracted human teeth. J Oral Rehabil 1981;8:203-8.
9. Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for *in vivo* color measurements of 2830 anterior teeth. J Prosthet Dent 1987;58:535-42.
10. Kim LK, Cho IH, Shin SY. The Reproducibility of various porcelain color selection systems using spectrophotometry. J Korean Acad Prosthodont 2004;42:544-55.
11. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. J Dent Res 2002;81:578-82.
12. Sung CR, Cho IH, Lee JH. Shade analysis of artificial teeth using shade scan system. J Korean Acad Prosthodont 2004;42:443-57.
13. McPhee ER. Light and color in dentistry. Part I--Nature and perception. J Mich Dent Assoc 1978;60:565-72.
14. Goodkind RJ, Keenan KM, Schwabacher WB. A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth. J Prosthet Dent 1985;53:105-9.
15. Jorgenson MW, Goodkind RJ. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings. J Prosthet Dent 1979;42:96-105.
16. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. J Prosthet Dent 1986;56:35-40.
17. Esquivel JF, Chai J, Wozniak WT. Color stability of low-fusing porcelains for titanium. Int J Prosthodont 1995;8:479-85.
18. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. J Dent Res 1989;68:1760-4.

19. Gross MD, Moser JB. A colorimetric study of coffee and tea staining of four composite resins. *J Oral Rehabil* 1977;4:311-22.
20. Barrett AA, Grimaudo NJ, Anusavice KJ, Yang MC. Influence of tab and disk design on shade matching of dental porcelain. *J Prosthet Dent* 2002;88:591-7.
21. Dozić A, Kleverlaan CJ, Meegdes M, van der Zel J, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 2003;90:563-70.
22. Chu SJ. Color. In: Gurel G (ed). *The Science and Art of Porcelain Laminate Veneers* Chicago: Quintessence 2003; 158-206.
23. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int* 1985;16:47-58.
24. Wang X, Ge J, Fay RM, Lu H, Gao C, Powers JM. Comparison of the color of ceramics as measured by different spectrophotometers and colorimeters. *Int J Prosthodont* 2005;18:73-4.
25. Kourtis SG, Tripodakis AP, Doukoudakis AA. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of different metal alloys and porcelains in the metal-ceramic complex. *J Prosthet Dent* 2004;92:477-85.
26. Cho MS, Lee YK, Lim BS, Lim YJ. Changes in optical properties of enamel porcelain after repeated external staining. *J Prosthet Dent* 2006;95:437-43.
27. Park JH, Lee YK, Lim BS. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. *J Prosthet Dent* 2006;96:402-11.
28. Douglas RD, Brewer JD. Variability of porcelain color reproduction by commercial laboratories. *J Prosthet Dent* 2003;90:339-46.
29. Ishikawa-Nagai S, Sawafuji F, Tsuchitani H, Sato RR, Ishibashi K. Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 2: Color reproduction of stratiform-layered porcelain samples. *Int J Prosthodont* 1993;6:522-7.
30. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:222-31.

Comparison on accuracy of porcelain color reproducibility using two colorimeters

Tai-II Lee¹, DDS, Msc, Jin-Soo Ahn², DDS, MSc, PhD, Young-Soo Kim³, DDS, MSc, PhD,

Sang-Wan Shin^{4*}, DDS, MPH, PhD, MSc

¹Graduate student, ⁴Professor, Department of Advanced Prosthodontics, Graduate School of Clinical Dentistry, Institute for Clinical Dental Research(ICDR), Korea University, Korea

²Assistant professor, Department of Dental Biomaterials Science School of Dentistry, Seoul National University, Korea

³Professor, Department of Preventive Dentistry, Korea University Guro Hospital, Korea

Statement of problem: Although the use of colorimeter to improve the accuracy of tooth color measurement has increased, it is real situation that there is almost no comparative study about the accuracy among various colorimeters. **Purpose:** The purpose of this study is to compare the accuracy of porcelain color reproducibility using ShadeEye-Ncc dental chroma meter (Shofu Inc., Kyoto, Japan) and Shadepilot™ system (Degudent Inc., Hanau, Germany). **Material and methods:** Color of 2M2 and 3M2 shade tap of Vitapan 3D Master shade guide were measured using the above two colorimeters. Porcelain specimens were fabricated through this data. The porcelain systems used were Vintage Halo Porcelain system with ShadeEye-Ncc dental chroma meter, and VitaOmega900 Porcelain system with Shadepilot™ system. Colors of shade tap models and porcelain specimen were measured with spectrophotometer, and calculated delta E based on the results. **Results:** The following results were obtained. 1. Shadepilot™ system showed more suitable porcelain color reproducibility compared to ShadeEye-Ncc dental chroma meter ($P < .05$). 2. The result showed the difference of porcelain color reproducibility according to shade of Shade tap which is model. More suitable porcelain color reproducibility was shown at 3M2 shade tap than at 2M2 shade tap ($P < .05$). 3. The average of ΔE^* of porcelain specimens which was made by the two colorimeters was 4.44-6.14, so the difference of shade was shown through the naked eye. **Conclusion:** Shadepilot™ system showed more suitable porcelain color reproducibility. When using ShadeEye-Ncc dental chromameter, it will be necessary to improve accuracy through coloring various parts of the whole tooth. (*J Korean Acad Prosthodont* 2009;47:348-55)

Key words: colorimeter, ShadeEye-Ncc dental chroma meter, Shadepilot™ system, porcelain color reproducibility, spectrophotometer

Corresponding Author: Sang-Wan Shin

Department of Advanced Prosthodontics, Graduate School of Clinical Dentistry, Institute of Clinical Dental Research, Korea University

97 Guro-Dong, Guro-Ku Seoul, 152-7031, Korea

+82 2 866 1422: e-mail, swshin@korea.ac.kr

Article history

Revised June 26, 2009 / Last Revision July 2, 2009 / Accepted July 4, 2009