

색온도 및 술자의 숙련도에 따른
비색 능력 평가

연세대학교 대학원
치의학과
김지현

색온도 및 술자의 숙련도에 따른
비색 능력 평가

지도교수 심준성

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2011년 6월 일

연세대학교 대학원

치의학과

김지현

김지현의 석사 학위논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 대학원

2011년 6월 일

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 부족함이 많은 저에게 끊임없는 지도와 격려, 세심한 배려를 해주신 심준성 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 귀중한 시간을 내주시어 부족한 논문을 살펴주시고, 논문의 작성과 심사에 아낌없는 조언과 도움을 주신 이근우 교수님, 김선재 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 보철학을 공부할 수 있도록 기회를 주시고 이 자리까지 올 수 있도록 항상 따뜻한 관심과 조언으로 지도해주신 정문규 교수님, 한동후 교수님, 문홍석 교수님, 이재훈 교수님, 박영범 교수님, 김성태 교수님, 김지환 교수님께도 감사드립니다.

이 논문을 완성하기까지 많은 도움을 주고 존재만으로도 힘이 되어준 수련 동기들 나홍, 선근, 선규오빠, 영원이에게 큰 격려와 위안이 되었다고 전하고 싶습니다. 아울러 보철과 의국원들과 실험에 도움을 준 치과대학 학생들에게도 고마운 마음을 전하고 싶습니다.

마지막으로 지금까지 보살펴주시고 사랑으로 격려해주시고 저를 응원해 주시는 부모님, 동생 지수에게 감사의 마음을 전하면서 이 기쁨을 함께 하고 싶습니다.

2011년 6월

김지현 드림

차 례

그림 및 표 차례	ii
국문요약	iv
I. 서론	1
II. 연구대상 및 방법	5
1. 연구대상	5
2. 연구방법	6
1) 색견본의 기계 측색 시행 및 ΔE 값의 계산	6
2) 색온도	8
3) 각 군의 색조 선택 능력 평가	9
① 채도 차에 따른 비색 능력 실험	9
② 명도 차에 따른 비색 능력 실험	10
4) 통계학적 분석	12
III. 결과	14
1. 색견본의 기계 측색 결과	14
2. 색조 선택 능력	14
IV. 고찰	22
V. 결론	28
참고문헌	29
영문요약	32

그림 차례

Fig. 1 The Vitapan [®] 3D–master shade guide used in this study (batch number, B360AE; VITA Zahnfabrik, Badsäckingen, Germany)	7
Fig. 2 VITA Easyshade [®] (VITA Zahnfabrik, Badsäckingen, Germany)	7
Fig. 3 Chromameter for measuring the luminous intensity and the color temperature (CL–200, Minolta Corporation, Osaka, Japan)	8

표 차례

Table 1. The participants in this study (2 groups).....	5
Table 2. Chroma(C^*ab) varying set for discriminating 2R2.5(a)	10
Table 3. Chroma(C^*ab) varying set for discriminating 3M1(b)	10
Table 4. Chroma(C^*ab) varying set for discriminating 4L1.5(c)	11
Table 5. Lightness(L^*) varying set for discriminating 2L1.5(d)	11
Table 6. Lightness(L^*) varying set for discriminating 4R1.5(e)	11
Table 7. Lightness(L^*) varying set for discriminating 5M2(f)	12
Table 8. The mean measurements of lightness(CIE L^*), chroma(C^*ab), hue angle, and CIE a^* and b^* of each tabs from two Vitapan [®] 3D–Master shade guides and color difference(ΔE) between two Vitapan [®] 3D–Master shade guide tabs	15
Table 9. Color difference(ΔE) between each pair of shade tabs	16

Table 10. Selected shade tabs and color difference (ΔE) between presented and selected shade tabs in both color temperatures	17
Table 11. Selected shade tabs and color difference (ΔE) between presented and selected shade tabs in both color temperatures in dental students	18
Table 12. Mean and SD of calculated scores in both color temperatures and groups	19
Table 13. The result of paired t-test among both color temperatures	20
Table 14. The result of independent t-test among both groups	20
Table 15. The result of repeated-measures ANOVA showing impact and interactions of variables	20

국문요약

색온도 및 술자의 숙련도에 따른 비색 능력 평가

인접치아와 조화를 이루는 심미적인 수복물을 만들어 내기 위해 기계적 또는 시각적인 방법으로 치아의 색조를 선택한다. 대부분의 임상가들은 Vitapan[®] 3D-master shade guide 등의 색견본을 이용한 비색법을 보편적으로 사용한다. 이때 개인에 따라 색지각 능력이 다양하므로 술자의 경험이 색조 선택에 영향을 줄 수 있고 광원의 조도, 색온도 등도 고려해야 한다. 광원의 색온도에 따라 분광복사계가 인지하는 색견본의 색공간 좌표값은 달라지며 이때 좌표가 변화하는 패턴은 일정한 방향성을 가지고 있다는 결과가 보고되었다.

이번 연구의 목적은 4000K와 5500K의 색온도를 가진 광원 하에서 술자의 숙련도가 다른 보철과 치과의사 및 치과대학 학생 각 10명의 색조 비교 및 선택 능력을 평가하기 위함이다.

실험을 위하여 분광광도계(spectrophotometer)인 VITA Easyshade[®]를 사용하여 Vitapan[®] 3D-master shade guide를 측색한 후 명도(L^*) 값이 비슷하고 채도(Chroma, C*ab) 값이 차이가 나는 5개의 템을 선택하여 3개의 세트를, 채도(Chroma, C*ab) 값이 비슷하고 명도(L^*) 값이 차이가 나는 5개의 템을 선택하여 3개의 세트를 조합하였다. 각각을 4000K, 5500K의 색온도를 가진 두 광원 하에서 무작위로 선택한 한 개의 색견본을 피험자에게 제시하고 동일한 색견본을 고르도록 한다. 제시한 색조 템과 피험자가 선택한 색조 템 간의 색차값을 계산하였다.

색온도별로 살펴보면 paired t-test 결과 유의수준 5%에서 4000K와 5500K의 색온도 조건에 따른 통계적 유의차는 없었다($p=0.398$). 숙련자군으로 살펴보면 independent t-test 결과 유의수준 5%에서 보철과 치과의사

군과 치과대학 학생군의 숙련도에 따른 통계적 유의차는 없었다($p=0.221$).

이번 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 동일한 색견본을 비색하는 경우, 광원의 색온도 4000K, 5500K에 따라 색조 선택 능력에는 유의차가 없었다.
2. 동일한 색견본을 동일한 광원의 조건 하에서 비색하는 경우, 술자의 숙련도에 따른 색조 선택 능력에는 유의차가 없었다.

핵심되는 말 : 색온도, 숙련도, 비색, 분광광도계, 색견본

색온도 및 술자의 숙련도에 따른 비색 능력 평가

(지도교수 심준성)

연세대학교 대학원 치의학과

김 지 현

I. 서론

치과 보철치료에 있어 인접치아와 조화를 이루는 심미적인 수복물을 만들 어 내기 위해서 치아의 형태, 배열을 고려하고 정확한 색조를 선택하는 것이 중요하다.

우리가 인지하는 물체의 색은 그 물체가 가지고 있는 고유 반사영역과 그 것을 비추는 광원의 파장영역이 합쳐진 것이다.¹ 물체를 비추고 있는 광원이 어떠한 파장영역을 가지고 있는가에 따라 색이 달라 보이게 된다. 그러므로 색조 선택 시 치아와 색견본을 맞추어보는 환경에서의 광원의 특성이 중요하다. 광원의 성질을 나타내는 용어로는 조도, 색온도 등이 있다. Barna 등²은

치과 진료실에서 조명의 강도가 800~2500lux 사이에 있으면 조도에 따른 색조 선택에는 유의할만한 차이가 없다고 하였다. 색온도는 완전 복사체인 흑체를 고온으로 가열하여 색을 띤 빛을 방사할 때의 온도에 따라 광색을 절대 온도로 나타낸 것이다. 단위로는 켈빈(Kelvin;K)을 사용한다. 색온도는 수치가 낮을수록 붉은색의 정도가 강하고 높아질수록 백색을 띠는데 15,000K 이상의 높은 온도에서는 푸른색으로 보인다. 5000~5500K의 색온도를 갖는 광원은 가시대역(visible spectrum, 약 380~780nm)에서 균형있는 스펙트럼을 이루고 있으며 이는 색조 조화에 이상적이다.³

치아의 색조를 선택하는데 사용되는 방법은 기계적인 방법과 시각적인 방법으로 나눌 수 있다. 기계적인 방법은 색을 인지하는 과정에서 발생할 수 있는 관찰자간의 차이를 줄이고 주관적 경향을 배제할 수 있다는 장점이 있기 때문에 색을 측정하는 여러 기기들이 상용화되었는데, 한 부위(spot)를 측정하는 측색계(colorimeter)와 이차원 측정의 분광광도계(spectrophotometer)가 대표적이다. 측색계는 삼원색에 민감한 세포를 갖는 사람의 색 지각 원리에 기초하여 광범위한 빛의 파장을 단순한 계측 수치로 만들어주는 필터를 사용하여 전 가시광선 영역에 걸쳐서 각각의 파장에 따른 분광반사율(spectral reflectance)과 분광투과율(spectral transmission)을 측정하여 그 값을 기초로 색공간 좌표인 CIE L*, a*, b* 값을 산출하는 기계이다. 어떤 광원에서도 다양한 범위의 색 영역을 읽을 수 있기 때문에 다양한 파장의 빛을 한번에 계측하여 측색계보다 더 체계적이고 정확하다.

색조를 기술할 수 있는 체계로는 임상적인 해석이 가능하다는 장점이 있 는 CIE (Commission International de l'Eclairage) 표색계 (color system)가 대표적이다. CIE Lab는 명도와 색도 좌표 a^* , b^* 로 이루어진 공간으로, 측색 시스템에 근거하여 개발된 균등 색공간이다. 따라서 색 정보의 표준화된 전달 수단뿐 아니라, 색차 (ΔE) 관리에도 그 효용성이 높다.

사람의 눈은 두 물체 사이의 작은 색조 차이를 인지 할 수 있는 효과적인 방법으로 알려져 있으며⁴ 현재까지도 대다수의 임상가들은 치아의 색을 결정하기 위하여 Vitapan[®] classical shade guide나 Vitapan[®] 3D-master shade guide와 같은 색견본을 이용하여 시각적으로 색을 결정하는 비색법을 보편적 으로 사용하고 있다.⁵ Preston 등⁶과 Miller 등⁷은 색견본을 이용한 비색시 색 견본이 자연치아 색의 전체 범위를 포함하지 않고, 대상의 색이 어떤 광원에 서는 동일하나 다른 광원에서는 다르게 보이는 현상이 일어날 수 있는 조건등 색현상 (metamerism) 등의 오류를 지적하였다.

광원의 색온도가 달라지면 물체에 입사하는 파장의 비율이 달라져서 색인 치에 가장 큰 영향을 미친다. Lee 등⁸은 색온도가 각각 6500K, 2856K, 4150K인 세가지 광원 D65, A, F9 하에서 분광복사계 (spectroradiometer) 가 인지하는 Vitapan[®] 3D-master shade guide의 색공간 좌표값을 산출하고 분석하였다. 각각의 광원에서 동일한 색조탭이 나타내는 L^* , a^* , b^* 좌표값은 다르게 나타났고, 광원에 따라 좌표값이 변화하는 패턴을 그래프로 그려보았 을 때 색조탭마다 일정한 방향성을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 통상적인 색조 선택방법인 색견본을 이용하는 방법에 있어 광원의 색온도차에 따른 숙련자와 비숙련자간 비색 능력의 차이를 알아보기 위함이다.

검증하고자 하는 귀무가설은 다음과 같다. 광원의 색온도와 술자의 숙련도에 따른 비색 능력은 차이가 없을 것이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

2개 군으로 구성된 20명(경력 1년 이상의 보철과 치과의사 10명, 치과대학 본과2학년 학생 10명)이 본 실험에 참여하였다. 피험자들의 연령은 25~31세, 성별은 남성이 12명, 여성이 8명이었다. 연구 대상 선정을 위하여 모든 피험자는 Ishihara color test를 통해 색맹 및 색약 등의 색 지각 결손 여부를 검사하였다.

Table 1. The participants in this study (2 groups)

Group	Age		Gender	
	Range	Mean	Male	Female
Dental students	25~29	26.4	6	4
Prosthodontists	27~31	28.8	6	4

2. 연구방법

1) 색견본의 기계 측색 시행 및 ΔE 값의 계산

색견본 Vitapan[®] 3D-master shade guide (Fig. 1)의 측색을 위해 분광광도계인 VITA Easyshade[®] (Fig. 2)를 사용하였다. VITA Easyshade[®]는 측정 팁의 구경이 5mm로 19개의 1mm 광섬유를 포함하고 있으며, 광원은 평균적인 자연광 D65를 사용하고 시야각은 2° 이다.¹ 색조 팁을 회색 배경위에 올려놓고 측정 팁을 팁 순면 가운데에 수직으로 위치시켜 매번 표준 조정을 한 후 single tooth mode로 한 팁 당 명도(L^*), 채도(C^*ab), 색상(hue degree) 지수를 10회 반복 측정하였다. 평균값을 구하고 이로부터 모든 색조팁 간의 ΔE 값을 계산하였다. 색조 차이인 ΔE 값의 산출 공식¹⁰은 다음과 같다.

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



Fig. 1 The Vitapan® 3D-master shade guide used in this study
(batch number, B360AE; VITA Zahnfabrik, Badsäckingen, Germany)



Fig. 2 VITA Easyshade® (VITA Zahnfabrik, Badsäckingen, Germany)

2) 색온도

실내 조명이 4000K(± 25), 5500K(± 25)인 두 독립된 공간에서 실험하였다. 상점이나 사무실에서 흔히 사용되는 백색 형광등(CIE F9, F11)의 색온도가 4100~4150K이므로 이와 비슷한 4000K(± 25)의 색온도를 가지는 광원과, 색조 선택시 이상적이라고 추천되는 5500K의 색온도를 가지는 광원을 선택하였다. 창문이 없어 자연광이 들어오지 않고 실내 조명만 있는 공간에서 실험을 시행하였다. 두 공간 모두 모두 조도는 900~1000lux로 유지되었다. 매 피험자마다 실험 전에 색온도를 측정하여 조건이 유지되는 것을 확인하였다. 색온도 측정은 chromameter CL-200(Minolta Corporation, Osaka, Japan)을 이용하였다 (Fig. 3).



Fig. 3 Chromameter for measuring the luminous intensity and the color temperature (CL-200, Minolta Corporation, Osaka, Japan)

3) 각 군의 색조 선택 능력 평가

본 연구에서는 동일한 batch number인 2세트의 Vitapan[®] 3D-master shade guide(batch number, B360AE; VITA Zahnfabrik, Badsäckingen, Germany) (Fig. 1)를 사용하였으며 실험에 사용하는 텁의 금속부분은 회색 종이를 이용해 가렸다. 피험자간의 영향을 막기 위해 한번에 한 피험자만 실험공간에 들어오도록 하였다. 배경색으로는 중간명도의 광택이 없는 회색 색지(neutral gray color panel)를 이용하였다. 색조 선택시 10초 이상 주시하는 경우 망막의 피로로 인해 대조도와 잔상의 오류 가능성이 있음^{6,11,12} 을 피험자에게 미리 설명하였다. 피험자의 위치에 따라 색이 다르게 인지될 수 있으므로 이상적으로 색견본에서 30~50cm 정도 떨어진 거리에서 색조를 선택하도록 하였다.^{6,12}

① 채도 차에 따른 비색 능력 실험

명도(L^*) 값이 비슷하고($1.02 < \Delta L^* < 1.46$), 채도(Chroma, C^*ab) 값이 차이가 나는 5개의 텁을 선택하여 3개의 세트 a, b, c(Table 2~4)를 만들고, 5개의 텁 중에 무작위로 한 개의 색조를 선택한 후 다른 세트에서 동일한 색조 텁을 피험자에게 제시하고 같은 것을 고르도록 한다.

② 명도 차에 따른 비색 능력 실험

채도(Chroma, C^*ab) 값이 비슷하고($1.01 < \Delta C^*ab < 1.73$), 명도(L^*) 값이 차이가 나는 5개의 템을 선택하여 3개의 세트 d, e, f(Table 5~7)를 만들고, 5개의 템 중에 무작위로 한 개의 색조를 선택한 후 다른 세트에서 동일한 색조 템을 피험자에게 제시하고 같은 것을 고르도록 한다.

제시한 색조 템과 피험자가 선택한 색조 템 간의 색차값을 계산하여 점수화하였다. 예를 들어 세트 a에서 피험자가 2R2.5 색조템을 선택하여 정답을 맞힌 경우 색차값(ΔE)이 0으로 0점, 피험자가 2M2를 선택한 경우는 색차값(ΔE)이 2.8이므로 2.8점으로 계산하였다. 결과값을 정리하여 색온도, 숙련도 그룹에 따라 유의한 차이가 있는지 알아보았다.

Table 2. Chroma(C^*ab) varying set for discriminating 2R2.5(a)

Shade	C^*ab	L^*	ΔE
2M1	13.57	78.63	9.3
2R1.5	16.95	78.2	6.3
2M2	20.29	78.9	2.8
2R2.5	23.32	78.52	0
2M3	25.75	79.22	3.0

Table 3. Chroma(C^*ab) varying set for discriminating 3M1(b)

Shade	C^*ab	L^*	ΔE
3M1	14.88	72.28	0
3R1.5	17.45	72.47	3.1
3M2	21.59	73.74	6.9
3R2.5	26.05	72.28	11.1
3M3	27.99	73.09	13.2

Table 4. Chroma(C^*ab) varying set for discriminating 4L1.5(c)

Shade	C^*ab	L^*	ΔE
4M1	17.26	67.61	3.6
4L1.5	21.36	68.83	0
4M2	23.89	68.27	2.7
4R2.5	26.81	67.53	5.7
4M3	32.3	67.91	8.9

Table 5. Lightness(L^*) varying set for discriminating 2L1.5(d)

Shade	L^*	C^*ab	ΔE
1M2	79.96	16.97	2.5
2R1.5	78.2	16.95	1.6
2L1.5	76.96	16.44	0
3R1.5	72.47	17.45	5.7
4M1	67.61	17.26	9.1

Table 6. Lightness(L^*) varying set for discriminating 4R1.5(e)

Shade	L^*	C^*ab	ΔE
2M2	79.36	20.29	11.4
3M2	73.74	21.59	5.8
3L1.5	71.71	19.76	4.3
4R1.5	68.37	20.78	0
5M1	63.96	20.46	5.6

Table 7. Lightness(L^*) varying set for discriminating 5M2(f)

Shade	L^*	C^*ab	ΔE
2M3	78.8	25.91	16.3
3M3	74.07	27.06	10.9
3R2.5	72.28	26.05	9.1
4R2.5	67.53	26.81	4.2
5M2	64.46	27.58	0

4) 통계학적 분석

SPSS V. 12.0(SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) 통계 프로그램을 이용하여, 광원의 색온도 및 술자의 숙련도에 따른 각 색견본에서의 비색 능력 점수의 기술 통계량(평균, 표준편차)을 계산하였다. 색온도에 따른 점수 차이의

유의성을 검정하기 위해 paired t-test를, 숙련도에 따른 점수차이의 유의성을 검정하기 위해 independent t-test를, 각 색조탭별로 색온도와 숙련도에 따른 점수 차이의 유의성을 검정하기 위해 repeated-measures analysis of variance(ANOVA)를 이용하였으며 Bonferroni 사후검정하였다. 유의 수준은 $\alpha = 0.05$ 로 하였다.

III. 결과

1. 색견본의 기계 측색 결과

VITA Easyshade[®](VITA Zahnfabrik, Badsäckingen, Germany)를 사용하여 동일한 batch number인 2세트의 Vitapan[®] 3D-master shade guide를 기계 측색한 결과는 Table 8과 같다.

첫번째 세트 내에서 색조 템 간의 색차값(ΔE)을 계산하여, 실험 결과값을 산출하는데 이용하였다(Table 9).

2. 색조 선택 능력

숙련자와 비숙련자가 색견본을 이용하여 비색하는데 있어 광원의 색온도에 따른 색조 선택 결과는 다음과 같다(Table 10, 11).

색온도별로 살펴보면 4000K의 광원하에서 전체 평균 점수는 1.61 ± 2.04 로 보철과 치과의사군의 평균 점수는 1.67 ± 1.88 , 치과대학 학생군의 평균 점수는 1.56 ± 2.2 이고, 5500K의 광원하에서 전체 평균 점수는 1.33 ± 1.68 로 보철과 치과의사군의 평균 점수는 1.0 ± 1.49 , 치과대학 학생군의 평

균 점수는 1.66 ± 1.88 이다. Paired t-test 결과 유의수준 5%에서 4000K와 5500K의 색온도 조건에 따른 통계적 유의차는 없었다($p=0.398$) (Table 8).

숙련자군인 보철과 치과의사군의 전체 평균 점수는 1.33 ± 1.73 으로 4000K에서 1.67 ± 1.88 , 5500K에서 1.0 ± 1.49 이다. 치과대학 학생군의 전체 평균 점수는 1.61 ± 2.04 로 4000K에서 1.56 ± 2.2 , 5500K에서 1.66 ± 1.88 이다. Independent t-test 결과 유의수준 5%에서 보철과 치과의사군과 치과대학 학생군의 숙련도에 따른 통계적 유의차는 없었다($p=0.221$) (Table 14).

색조 세트별로 살펴보면, 명도가 2로 표시되는 세트 a에서 4000K 하의 전체 평균 색차값은 1.59 ± 1.79 이었으며 각 그룹별로 치과대학 학생군은 1.21 ± 2.16 , 보철과 치과의사군은 1.96 ± 1.35 이었다. 5000K에서 전체 평균 색차값은 2.42 ± 1.46 , 치과대학 학생군은 2.87 ± 1.49 , 보철과 치과의사군은 1.96 ± 1.35 이었다. 명도가 4로 표시되는 세트 c에서 4000K에서 전체 평균 색차값은 1.13 ± 1.6 이었으며 각 그룹별로 치과대학 학생군은 0.9 ± 1.47 , 보철과 치과의사군은 1.35 ± 1.76 이었다. 5000K에서 전체 평균 색차값은 1.4 ± 1.76 , 치과대학 학생군은 1.71 ± 1.82 , 보철과 치과의사군은 1.08 ± 2.55 이었다.

각 세트별로 색조 선택 능력이 차이가 있는지 검정한 결과 검정 통계량 $F=9.440$ 이고 유의확률이 .000으로 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. Bonferroni 사후검정 결과 3M1을 선택하는 세트 b에서 다른 모든 세트에 대해 유의한 차이를 보였다($p<.05$).

Table 8. The mean measurements of lightness(CIE L*), chroma(C_{ab}^*), hue angle, and CIE a* and b* of each tabs from two Vitapan® 3D-Master shade guides and color difference(ΔE) between two Vitapan® 3D-Master shade guide tabs

Shade	L	chroma	hue	a	b	L	Chroma	hue	a	b	ΔE
1M1	80.04	11.47	88.87	0.22	11.57	81.85	11.68	88.89	0.21	11.73	1.82
1M2	79.96	16.97	90.46	-0.14	15.93	82.04	17.75	90.27	-0.08	17.75	2.76
2L1.5	77.59	16.58	89.51	0.16	16.58	76.96	16.44	89.86	0.04	16.44	0.66
2L2.5	78.95	22.85	90.5	-0.21	22.85	78.08	22.11	90.51	-0.2	22.11	1.14
2M1	78.63	13.57	86.4	0.85	13.56	78.42	13.53	86.46	0.82	13.52	0.22
2M2	79.36	20.29	87.21	0.99	20.27	78.9	19.6	87.53	0.79	19.58	0.85
2M3	79.22	25.75	87.86	0.97	25.72	78.8	25.91	88.36	0.74	25.9	0.51
2R1.5	78.42	16.6	84.83	1.5	16.54	78.2	16.95	85	1.47	16.89	0.41
2R2.5	78.32	22.87	86.46	1.41	22.84	78.52	23.32	86.1	1.58	23.24	0.48
3L1.5	71.71	19.76	87.1	1.34	19.73	71.73	19.13	85.62	1.47	19.07	0.67
3L2.5	72.71	25.36	85.91	1.79	25.33	71.19	23.01	86.77	1.3	22.99	2.83
3M1	72.28	14.88	83.44	1.7	14.79	73.03	15.37	83.33	1.79	15.23	0.87
3M2	73.74	21.59	84.62	2.02	21.49	74.23	23.03	84.41	2.24	22.91	1.52
3M3	74.07	27.99	84.56	2.46	27.88	73.09	27.06	85.53	2.11	26.99	1.37
3R1.5	72.55	17.89	81.4	2.68	17.69	72.47	17.45	81.6	2.55	17.27	0.45
3R2.5	72.28	26.05	83.32	3.04	25.85	71.39	23.99	83.66	2.65	23.85	2.22
4L1.5	68.83	21.36	83.21	2.52	21.2	69.38	21.96	83.29	2.58	21.81	0.82
4L2.5	67.87	28.87	84.3	2.87	28.71	67.95	30.01	84.23	3.01	29.85	1.15
4M1	68.93	17.67	80.65	2.9	17.59	67.61	17.26	80.73	2.78	17.02	1.44
4M2	68.27	23.89	81.63	3.47	23.62	68.54	24.2	81.73	3.49	23.95	0.43
4M3	67.75	29.16	82.33	4.03	29.89	67.91	32.3	82.22	4.37	32	2.14
4R1.5	68.37	20.78	73.93	3.99	20.39	68.75	20.81	78.87	4.01	20.41	0.38
4R2.5	67.53	26.81	80.46	4.43	26.43	68.18	27.43	80.28	4.62	27.03	0.90
5M1	63	19.06	77.72	4.05	18.65	63.96	20.46	77.45	4.44	19.99	1.69
5M2	63.65	27.97	78.42	5.62	27.4	64.46	27.58	78.52	5.49	27.02	0.90
5M3	64.27	36.85	78.82	7.15	36.14	65.03	37.17	79.11	7.21	37.48	1.54

Table 9. Color differences (ΔE) between each pair of shade tabs

	1M2	2L1.5	2L2.5	2M1	2M2	2M3	2R1.5	2R2.5	3L1.5	3L2.5	3M1	3M2	3M3	3R1.5	3R2.5	4L1.5	4L2.5	4M1	4M2	4M3	4R1.5	4R2.5	5M1	5M2	5M3
1M1	4.4	5.6	11.3	2.5	8.8	14.2	5.4	11.5	11.7	15.7	8.5	11.9	17.5	10	16.5	15	21.2	12.9	17.2	22.4	15.1	19.9	18.8	23.4	30
1M2		2.5	7.0	2.9	4.5	9.9	2.3	7.3	9.2	12.0	8.0	8.6	13.6	8.1	12.9	12.6	17.8	11.6	14.5	19.0	13.1	16.9	17.7	20.8	26.6
2L1.5			6.4	3.3	4.2	9.3	1.6	6.4	6.8	10.2	5.8	6.5	12.1	5.7	11.1	10.2	15.8	9.1	12.1	17.0	10.7	14.7	15.2	18.5	24.7
2L2.5				9.4	2.9	3.1	6.6	1.7	8.0	7.0	10.6	5.8	7.5	8.7	8.0	10.6	12.9	11.7	11.3	13.9	11.6	12.8	17.0	17.0	21.1
2M1					6.8	12.2	3.1	9.3	9.3	13.2	6.5	9.4	15.1	7.6	14.0	12.5	18.7	10.7	14.7	19.9	12.7	17.4	16.7	20.9	27.5
2M2						5.5	3.9	2.8	7.7	8.4	9.0	5.8	9.4	7.5	9.2	10.7	14.4	10.9	11.8	15.4	11.4	13.8	16.7	17.9	22.7
2M3							9.2	3.0	9.6	6.6	13.0	7.0	5.8	10.6	7.2	11.4	11.9	13.3	11.4	12.6	12.5	12.2	18.0	16.3	19.2
2R1.5								6.3	7.4	10.5	6.4	6.8	12.2	6.1	11.3	10.7	16.2	9.7	12.5	17.3	11.0	15.0	15.8	18.8	24.8
2R2.5									7.3	6.1	10.1	4.8	6.7	7.8	6.9	9.7	12.1	10.9	10.3	13.0	10.6	11.8	16.1	15.9	20.2
3L1.5										5.7	5.0	2.8	8.6	2.6	6.4	3.4	9.9	3.8	5.6	11.2	4.3	8.5	9.2	11.9	18.9
3L2.5											10.5	4.0	3.0	7.7	1.4	5.7	6.0	8.7	5.0	7.1	6.9	5.9	12.0	10.1	14.7
3M1												6.9	13.2	3.1	11.1	7.3	14.6	4.5	9.9	15.9	7.2	12.9	10.3	15.8	23.4
3M2													6.4	4.0	4.7	4.9	9.3	6.3	6.0	10.5	5.8	8.3	11.3	12.2	18.2
3M3														10.3	2.8	8.5	6.3	11.5	7.3	6.8	9.5	7.0	14.5	10.9	13.6
3R1.5															8.2	4.9	11.9	3.3	7.2	13.1	4.9	10.1	9.4	13.3	20.6
3R2.5																5.8	5.3	8.9	4.6	6.2	6.8	5.0	11.8	9.1	13.7
4L1.5																	7.6	3.6	2.7	8.9	1.7	5.7	6.5	8.7	16.3
4L2.5																		11.2	5.1	1.7	8.4	2.8	11.2	5.2	9.3
4M1																			6.1	12.4	3.1	9.1	6.1	11.5	19.6
4M2																				6.3	3.3	3.1	7.3	6.3	13.6
4M3																					9.5	3.5	12.2	5.1	7.8
4R1.5																						6.1	5.6	8.6	16.6
4R2.5																							9.0	4.2	10.6
5M1																								8.9	17.8
5M2																									8.9
5M3																									

Table 10. Selected shade tabs and the color difference (ΔE) between presented and selected shade tabs in both color temperatures in prosthodontists

Color temperature	Selected shade tabs (ΔE)					
	a	b	c	d	e	f
4000K	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	1M2(2.5)	5M1(5.6)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	1M2(2.5)	3M2(5.8)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	1M2(2.5)	3M2(5.8)	4R2.5(4.2)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3R1.5(3.1)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M2(2.7)	1M2(2.5)	3L1.5(4.3)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
5000K	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	5M1(5.6)	5M2(0)

Table 11. Selected shade tabs and color difference (ΔE) between presented and selected shade tabs in both color temperatures in dental students.

Color temperature	Selected shade tabs (ΔE)					
	a	b	c	d	e	f
4000K	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	3M2(5.8)	4R2.5(4.2)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	2R1.5(1.6)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	2L1.5(0)	3M2(5.8)	4R2.5(4.2)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4M2(2.7)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2R1.5(6.3)	3M1(0)	4L1.5(0)	4M1(9.1)	3L1.5(4.3)	4R2.5(4.2)
	2M3(3.0)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4M2(2.7)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	1M2(2.5)	3M2(5.8)	4R2.5(4.2)
5000K	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	2L1.5(0)	5M1(5.6)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2R2.5(0)	3M1(0)	4M1(3.6)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M2(2.7)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)
	2R1.5(6.3)	3M1(0)	4L1.5(0)	2L1.5(0)	4R1.5(0)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4L1.5(0)	1M2(2.5)	5M1(5.6)	5M2(0)
	2M2(2.8)	3M1(0)	4M1(3.6)	1M2(2.5)	4R1.5(0)	4R2.5(4.2)

Table 12. Mean and SD of calculated scores in both color temperatures and groups

Color temperature	Group	Shade	Mean	SD
4000K	Prosthodontists	a	1.96	1.35
		b	0.31	0.98
		c	1.35	1.76
		d	1.75	1.21
		e	2.15	2.81
		f	2.52	2.17
	Dental students	Total	1.67	1.88
		a	1.21	2.15
		b	0	0
		c	0.90	1.50
		d	2.57	2.51
		f	2.52	2.17
	5500K	Total	1.56	2.20
	Prosthodontists	a	1.96	1.35
		b	0	0
		c	1.08	1.74
		d	2.00	1.05
		f	0.42	1.33
	Dental students	Total	1.0	1.49
		a	2.87	1.49
		b	0	0
		c	1.71	1.82
		d	1.75	1.21
		f	2.52	2.17
		Total	1.66	1.88

SD : Standard deviation

Table 13. The result of paired t-test among both color temperatures

Color temperature	4000K (Mean ΔE)	5500K(Mean ΔE)	p value
	1.61±2.04	1.33±1.68	.398

Table 14. The result of independent t-test among both groups

Group	Prosthodontists (Mean ΔE)	Dental students (Mean ΔE)	p value
	1.33±1.73	1.61±2.04	.221

Table 15. The result of repeated-measures ANOVA showing impact and interactions of variables

Source	df	Sum of square	F	p value
Color temperature	1	4.874	1.485	.239
Group	1	4.483	0.667	.425
Shade	5	113.607	9.440	.000*
Color temperature x group	1	8.894	1.324	.265

*Significantly different at $\alpha=0.05$

IV. 고찰

이번 실험의 결과로 4000K와 5500K의 색온도를 갖는 광원과 치과대학 학생, 보철과 치과의사의 속련도에 따른 색조 선택능력은 통계적으로 유의하지 않았기 때문에 귀무가설은 기각할 수 없다.

색견본을 이용한 실험을 위해 색조 텁의 객관적인 색의 측정과 표현의 기준이 필요하다. Dozic 등¹³은 여러 개의 상품화된 측색 기계들을 비교하는 실험을 하였는데 분광광도계인 Easyshade® 가 가장 신뢰성 있는 결과를 보였고, Seghi 등¹⁴은 분광광도계가 시편 색좌표의 절대치를 얻을 수 있는 가장 정확한 기기라고 하였으며, Josephine 등¹⁵은 CIE 표색계와 시각적 인지가 일치함을 보고하였다.

제조사에서는 Vitapan® 3D-master shade guide의 색조탭들이 3차원 공간 내에 색상, 명도, 채도별로 체계적으로 배열되어 있어¹⁶ 임상적으로 색조나 투명도를 선택하는데 있어 합리적인 방법이라고 하였고 Hammad 등¹¹은 두가지 색견본, Vitapan® classical shade guide와 Vitapan® 3D-master shade guide를 이용하여 실험한 결과 일반 치과의사의 경우 Vitapan® 3D-master shade guide의 사용이 반복 재현성(repeatability)을 더 높일 수 있다고 하였다.

이번 연구에서 실제 임상에서 사용되는 분광광도계(spectrophotometer)인 VITA Easyshade® 를 사용하여 Vitapan® 3D-master shade guide의 색

정보를 측정하고 실험 결과값 산출에 사용하였다. 측색 오차로 인한 영향을 줄이고 측색치의 신뢰성을 확보하기 위해 동일 부위를 10회 측색하였다. Ahn 등¹⁷이 분광복사계(spectroradiometer)를 이용하여 Vitapan® 3D-master shade guide의 L^* , a^* , b^* , hue값을 측정하고 색조 텁간의 색차값을 계산한 것과 같은 방식으로 결과값을 정리하였다.

본 실험에 사용한 색견본 Vitapan® 3D-master shade guide는 다섯개의 명도 범주로 모아져 있고 차례대로 1, 2, 3, 4, 5로 번호가 매겨져 있다. VITA Easyshade®로 측정한 결과 같은 명도 범주에 있는 색조 텁들은 비슷한 L^* 값을 가지고 있다. 하나의 명도 그룹에서 채도는 위에서 밑으로 증가한다. 측색 결과를 보면 2M1, 2M2, 2M3로 진행될수록 채도를 나타내는 C^*ab 값은 비슷한 간격으로 증가한다. 명도와 채도값이 정확한 간격은 아니지만 규칙성을 가지고 배열되어 있음을 확인하였다. 1, 5의 명도 그룹을 제외하고 모든 그룹은 다양한 색상에 대응하는 세가지 문자 L, M, R로 만들어져 있다. L은 황색에, M은 황색-적색 또는 오렌지에, R은 적색에 대응한다. 색견본의 정보기록은 숫자/문자/숫자로 나타낸다. 맨 앞의 숫자는 명도 그룹이며 1에서 5까지이고, 문자 L, M, R은 색상이고 뒤의 숫자 1, 2, 3은 채도이다. 예를 들어 2M2는 두번째 명도그룹이며 하위그룹으로 M색상이고 채도 레벨은 2이다.

본 연구에서 2 세트의 Vitapan® 3D-master shade guide를 사용하였는데 이전의 연구들에서 동일 제조사의 색견본 간에도 색상의 차이가 있음을 지적하였다. Hassel 등¹⁸은 같은 제조회사의 색견본 텁도 다른 색차값을 보인다

고 하였고, Schwabacher 등¹⁹은 두 가지 다른 뚜음에 있는 같은 색조의 텁이 정확히 같은 색조라고 말하기 어렵다고 하였다. 실험시 색견본간의 차이를 최소화하기 위해 같은 batch number의 색견본을 사용하였지만 VITA Easyshade®의 측색으로 계산한 결과 동일한 색조텝 간의 색차값(ΔE)이 0.41~2.76의 범위를 보였다. 분광광도계(spectrophotometer)를 이용하여 연구한 바에 의하면 치과 수복물 평가시에 색차값(ΔE)이 1이상일 때 눈으로 색변화를 감지할 수 있다고 하였다. ΔE 값이 1보다 작은 경우 최상의 색조 조화를 이루며 1~2사이는 임상적으로 받아들일만하며 2이상은 부조화를 나타낸다고 알려져 있다.^{14,20,21} 이에 근거하여 동일한 색조텝 간의 색차값이 1이하인 텁을 실험에 사용하였다.

제시한 색조텝과 다른 색조텝을 고른 경우는 주로 5개 중에 정답과 색차값이 작은 것이었다. 세트 b에서 정답율이 높았는데 중간 정도의 밝기이고 5개 중 채도가 가장 낮은 텁이 정답이어서 구별이 쉬웠을 것으로 생각된다. 광원의 색온도 조건에 따른 통계적 유의차는 없었다. 보철과 치과의사 그룹은 5500K의 광원보다 4000K의 광원에서 평균 점수가 더 높아서 5500K의 광원 조건에서 색조 선택 능력이 더 좋았다고 볼 수 있다. 이는 보철과 치과의사군의 평소 생활하는 진료실 광원이 실험시 사용한 5500K의 광원과 동일한 조건으로 익숙하게 색조를 선택할 수 있었다고 생각된다. 치과대학 학생들은 4000K의 색온도를 갖는 광원 하에서 더 높은 색조 선택 능력을 보였는데 이것은 평소 가정이나 생활환경에서 사용하는 형광등에 익숙하기 때문으로 보인

다. 숙련자와 비숙련자군 간에도 통계적 유의차가 없었는데 이는 개인의 경험 이 색조 선택에 영향을 주지 않는다는 Barna 등²의 주장과 같은 결과이다.

개인에 따라 색 지각 능력은 다양하다. Barrett 등²², Donahue 등²³, Nuray 등²⁴이 색조 선택에 있어 남성과 여성의 능력에 큰 차이가 없다고 한 것을 전제로 이번 실험에서 피험자를 선택하는데 있어 남성과 여성의 비율은 고려하지 않았다. 피험자의 연령은 25~31세로 비슷한 젊은 연령대에서 실험 하였으며 색 인지에 영향을 주는 전신질환이 없다는 점을 근거로 하였다.

실험시 배경은 18% 반사율을 갖는 중간명도의 광택이 없는 회색카드를 사용하여 눈의 피로를 최대한 줄여주었고 일반적으로 눈의 피로를 최소화하는 데 효과적으로 알고 있는 파란색 배경은 오렌지 잔상을 야기하여 노랑, 오렌지 계열의 색에 눈이 더 민감해진다.

Josephine 등¹⁵은 한 물체가 나타내는 색은 물체의 물리적 성질, 물체에 비춰지는 광원의 성질, 다른 색채와의 상호관계, 그리고 관찰자의 주관적 판단 등에 의해 영향을 받을 수 있으므로 관찰 대상이 되는 치아나 수복물의 색 조는 광원의 조건과 관찰자에 따라 다르게 보인다고 하였다.

우리 눈에 색감을 일으키는 빛은 약 380~780nm의 영역에 있는 가시광선이다. 이러한 빛을 프리즘을 통과시켜 흰색 스크린에 비춰보면 색의 띠가 나타나게 되는데 이를 스펙트럼이라고 한다. 분광된 빛의 파장별로 에너지 양을 살펴보면 그 성분이 다양한 비율로 서로 섞여 존재하는 것을 확인할 수 있고 물체는 그 자체가 색을 가지는 것이 아니라 각 파장별 빛을 반사시켜 가장

높은 반사율의 색이 그 물체의 색을 결정하고 파장에 따라 각기 다른 색 지각을 자극하여 인간에게 색을 느끼게 하는 것이다. 어떤 에너지 비율로 구성되어 있는지 그래프로 나타낸 것을 분광분포(spectral power distribution)라고 한다. 이때 물체가 반사시킨 빛의 파장별 에너지 비율을 그래프화한 것을 분광반사율(spectral reflectance)이라고 한다.

두 물체가 같은 분광반사율(spectral reflectance)을 가지고 있어 특정 파장영역에서 빛을 흡수하고 반사하는 양이 같다면 광원이 달라지거나 관찰자의 조건이 바뀌어도 같은 색을 보일 것이다.¹² 관찰하는 물체의 성질이 다르다면 주변 광원의 조건을 알고 색의 조건등색현상(metamerism)을 예상해야 한다. Lee 등⁸의 실험에서 광원 D65와 비교하여 광원 A, F9하에서 색견본의 채도값이 증가하였는데, 가장 긴 파장 영역에 있는 광원 A에서 는 적색이 증가하고 그 다음 긴 파장 영역의 광원 F9에서는 황색이 증가하는 경향을 보인다.

광원의 색온도와 실험자의 숙련도 차이에 따른 비색 능력을 알아보았다. 5개의 색조탭을 무작위로 배열해 놓았지만 제시한 색조탭이 한 개였기 때문에 각각의 탭을 비교해서 정답을 선택할 수 있어서, 전체의 색견본을 이용하여 체계적으로 색조를 선택하는 경험이 중요하게 작용하지 않았던 실험 설계였다.

실제로 임상에서 치아의 색조를 선택하는 과정은 본 실험방법과 다르고, 비색 능력이 높다고 해서 반드시 올바른 색조를 선택하는 것은 아니다. 임상

에서 색조를 선택하는 것은 환자의 만족도를 높일 수 있는 술자의 판단이 중요하다. 술자의 판단에 있어 시각적인 오차를 줄이기 위해 색조 선택에 이상적인 진료실의 광원을 구축해야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

색견본을 이용할때 광원의 색온도와 술자의 숙련도에 따른 비색 능력을 비교한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 동일한 색견본을 비색하는 경우, 광원의 색온도 4000K, 5500K 에 따라 색조 선택 능력에는 유의차가 없었다.
2. 동일한 색견본을 동일한 광원의 조건 하에서 비색하는 경우, 술자의 숙련도에 따른 색조 선택 능력에는 유의차가 없었다.

참고문헌

1. Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. *Dent Clin North Am* 2004;48(2):341-58
2. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB Jr. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent* 1981;46(4):450-3
3. Wozniak WT, Moser JB. How to improve shade matching in the dental operatory. Council on dental materials, instruments, and equipment. *J Am Dent Assoc* 1981;102(2):209-10
4. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmmerle CH. Visual and spectro photometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res* 2002;81:578-82
5. Van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortmit WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent* 1990;63(2):155-62.
6. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int* 1985;47-58
7. Miller L. Organizing color in dentistry. *J Am Dent Assoc* 1987;Spec No:26E-40E.
8. Lee YK, Yu B, Kim JI, Lim HN. Perceived color shift of a shade guide according to the change of illuminant. *J Prosthet Dent* 2011;105:91-9
9. Jasinevicius TR, Curd FM, Schilling L, Sadan A. Shade-matching abilities of dental laboratory techniques using a commercial light source. *J Prosthodont* 2009;18(1):60-3
10. CIE: Commission International de l'Eclairage (CIE): Colorimetry (ed 3). CIE publication No.15. Vienna, Austria, Central Bureau of the CIE, 2004
11. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent* 2003;89(1):50-3

12. Sproull RC. Color matching in dentistry. II. Practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent* 1973;29:556-66
13. Dozić A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont* 2007;16: 93-100.
14. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color difference between porcelain system. *J Prosthet Dent* 1986;56:35-40.
15. Esquivel JF, Chai J, Wozniak WT. Color stability of low-fusing porcelains for titanium. *Int J Prosthodont* 1995;8:479-85
16. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Color comparison of two shade guides. *Int J Prosthodont* 2002;15:73-8
17. Ahn JS, Lee YK. Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. *J Prosthet Dent* 2008; 100:18-28
18. Hassel AJ, Koke U, Schmitter M, Beck J, Rammelsberg P. Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic-veneered restorations. *Int J Prosthodont* 2005;18(5):422-6
19. Schwacher WB, Goodkind RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *J Prosthet Dent* 1990; 64(4):425-31
20. Kuehni FG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Res Appl* 1979;4:83-91
21. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new small color difference equation for dental shades. *J Dent Res* 1990;69:1762-4.
22. 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(6):591-7
23. Donahue JL, Goodkind RJ, Schwabacher WB, Aeppl DP. Shade color discrimination by men and women. *J Prosthet Dent* 1991;65(5):699-703

24. Capa N, Malkondu O, Kazazoqlu E, Calikkocaoqlu S. Evaluating factors that affect the Shade matching ability of dentists, dental staff members and laypeople. *J Am Dent Assoc* 2010;141(1):71-6
25. Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. *J Prosthet Dent* 1970;24(2):166-73
26. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent* 2007;97(4):200-8
27. Curd FM, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. *J Prosthet Dent* 2006;96(6):391-6

Abstract

Comparison of the shade matching ability according to the color temperature and the competence level

Ji Hyun Kim, D.D.S

Department of Dentistry,
The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor June-Sung Shim, D.D.S, Ph.D.)

Statement of problem: Mechanical and visual methods are used to match the shade of adjacent teeth in esthetic restorations. Most clinicians utilize the shade guides such as the Vitapan® 3D-master shade guide. Shade matching ability varies among individuals and factors that may affect shade selection such as luminous intensity, color temperature must be considered. The CIE color coordinates L^* , a^* , b^* of the shade guide that the spectroradiometer measured varies with the color temperature, and previous studies report that the change in pattern of the color coordinates show vectorial shifts.

Purpose: This study investigated the variation in shade selection, depending on the different color temperatures(4000K, 5000K) and experience of the clinicians(10 prosthodontists and 10 dental students).

Material and method: A spectrophotometer(VITA Easyshade[®]) was used to determine the shade of a prefabricated shade guide(Vitapan[®] 3D–master shade guide). 6 sets of 5 shade tabs were selected. 3 sets had 5 shade tabs with similar lightness(L^*) and varying chroma(C^*ab), while the other 3 had shade tabs with similar chroma(C^*ab) and varying lightness(L^*). A randomly selected shade tab was given to the participant to select a shade tab of the identical shade. The color difference between the given shade tab and the shade tab selected by the participants was calculated.

Result and conclusion: The following results were obtained

1. When selecting an identical shade tab, shade selecting ability was not significantly affected by different color temperatures(4000K, 5000K).
2. When selecting an identical shade tab at uniform lighting, shade selecting ability was not significantly affected by the clinician's experience.

Key Words : color temperature, competence level, shade matching, spectrophotometer, shade guide