

1

카메라 화이트밸런스 설정과 외부 광원의 색온도에 따른 이미지 획득 결과에 대한 고찰

¹조선대학교 치과대학 치과보존학 교실

²조선대학교 치과대학 소아치과대학 교실

성건화^{1,†}, 지명관^{2,†}, 조형훈¹, 민정범¹, 황호길¹, 박태영¹

간추린 제목 : 디지털 화상 촬영 조건에 따른 이미지 획득 결과

ORCID ID

Kun-Hwa Sung,  <https://orcid.org/0000-0001-5445-9923>

Jeong-Bum Min,  <https://orcid.org/0000-0003-1502-5465>

Myeong-Kwan Jih,  <https://orcid.org/0000-0001-9579-076X>

Ho-Keel Hwang,  <https://orcid.org/0000-0003-3237-232X>

Hyoung-Hoon Jo,  <https://orcid.org/0000-0003-3566-1821>

Tae-Young Park,  <https://orcid.org/0000-0002-0752-681X>

ABSTRACT

Consideration of the image acquisition result according to the camera white balance setting and the color temperature of the external light source

¹Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Chosun University, Gwang-ju, Korea

²Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chosun University, Gwang-ju, Korea

Kun-Hwa Sung^{1,†}, Myeongkwon Jih^{2,†}, Hyoung-Hoon Jo¹, Jeong-Bum Min¹, Ho-Keel Hwang¹, Tae-Young Park¹

Digital photography is a very useful recording and communication method for both dentists and dental technicians. Intraoral photography can be influenced by a variety of factors. Among them, the digital camera's white balance setting and interference of external lighting can greatly affect the intraoral photography. The purpose of this study was to analyze the effect of color temperature of ambient light and white balance of digital camera on intraoral digital photography.

The maxillary central incisor made of composite resin was used as an intraoral photographic model.

In the first experiment, color measurement was performed by changing the ambient light color temperature to 3500°K, 4000°K, 4500°K, 5000°K, 5500°K, and 6000°K. The white balance of the camera was set to 3570°K, 4550°K, and 5500°K, respectively. CIE $L^*a^*b^*$ values of buccal surface region were recorded. ΔE values were obtained by comparing the CIE $L^*a^*b^*$ values obtained in each group.

In the second experiment, CIE $L^*a^*b^*$ values were obtained by changing the white balance to 4000°K, 4550°K, 5000°K, and 5500°K in the intraoral photography model. At this time, the color temperature of the ambient light was fixed at 5500°K. ΔE values between each group were obtained in the same way.

As a result of the experiment, digital photographs did not show visually perceptible ΔE values for the changing in ambient light color temperature. This was the same for all white balance groups. When the camera's white balance setting was changed, the ΔE value was more than 3.7, which is a visually perceptible change.

In conclusion, digital photographs were more affected by digital camera's white balance setting than the color temperature of ambient light.

Key words : Digital photography, White balance, Color temperature

Corresponding Author

Tae-Young Park

Dept. of Conservative Dentistry, Chosun University School of Dentistry, 303 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwang-ju, Korea 501-759

TEL : +82-62-220-3845 / FAX : +82-62-220-3845 / E-mail : conschosun@chosun.ac.kr

ACKNOWLEDGEMENT This study was supported by research fund from Chosun university, 2020.

I. 서론

디지털 기술이 발달함에 따라 치과 진료실 내에서의 사진 촬영과 보관 시에도 그 활용 범위가 넓어지고 있다. 기존의 아날로그 방식은 사진의 필름을 현상하여 보관해야 하는 공간적 한계를 가지고 장기 보관 시 필름 품질 저하의 문제를 피할 수 없었지만, 디지털 방식은 디지털 파일을 통한 저장이 가능해짐에 따라 사진 저장의 공간적 한계를 극복하게 되었으며 저장 기간과 상관없이 일정한 사진의 품질을 유지할 수 있게 되었다^{1,2)}. 또한, 디지털 카메라를 활용한 사진의 촬영은 아날로그 방식에 비해 간편하게 시행할 수 있으며 사진 촬영의 결과물이 즉시 확인 가능하다는 측면에서 큰 장점을 가지고 있다. 이렇게 많은 장점을 가진 디지털 카메라를 통한 구강내 사진 촬영이 보편화됨에 따라 디지털 카메라의 특성에 따른 촬영 이미지 품질 관리의 중요성이 부각되고 있다.

구강내 촬영 환경은 적절한 밝기의 사진을 얻기에는 부족한 광량을 가지고 있다. 특히 구강내는 구강 주위 연조직에 의하여 그늘진 부위가 발생하기 쉬우며, 치과용 유니트 제어에 놓혀진 환자를 찍는 자세에 따라 빛이 술자에 의해 가려지는 경우가 많다. 이를 해소하기 위해 구강내 사진 촬영 시에는 macro flash system을 이용하여 부족한 광량을 보충하게 된다³⁾. 우리가 사용하는 다수의 macro flash system은 자연일광(neutral daylight)의 색온도를 모방한 5500 degrees Kelvin (D55)의 색온도를 사용한다⁴⁾. 그러나 진료실에는 진료실 자체의 조명기구, 치과용 유니트 제어에 설치된 조명기구, 진료실 창밖에서 들어오는 광선 등 다양한 색온도를 가진 외부 조명이 존재하며 이러한 외부 조명은 디지털 사진의 색상 결과물에 영향을 미칠 수 있다⁵⁾.

디지털 카메라의 White balance는 조명의 파장대에 대한 색상의 왜곡을 보상하는 디지털 카메라의 기능이다⁶⁾. White balance 설정은 조명 환경과 일치되어야 하며

이를 통해 피사체의 정확한 색상을 재현할 수 있다. 카메라의 white balance를 auto로 설정할 경우 카메라는 촬영 대상이 평균적인 red, green, blue color를 가지고 있을 것으로 가정하고 white balance를 설정하게 된다. 그러나 이는 극단적인 색의 편중을 보이는 구강내 촬영 환경에서는 문제가 될 수 있다. 이로 인해 치은이나 치아의 사진 촬영시 결과물의 색상 왜곡이 발생하게 된다⁷⁾.

이처럼 다양한 광원의 간섭이 존재하는 진료실 환경과 정확한 white balance 설정이 어려운 구강내 환경으로 디지털 사진을 통한 기록의 정확성과 재현성에서 문제가 발생하고 있다. 이와 관련하여 색온도 또는 white balance 설정과 관련된 단독의 연구들은 존재하나 두 변수가 사진의 색상에 미치는 영향을 동시에 평가한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 디지털 사진 촬영시 일정한 white balance 설정 상태에서 색온도가 다른 외부 광원이 피사체에 조사되었을 때 촬영 이미지에 미치는 영향과, 일정한 색온도를 가진 광원이 피사체에 조사되는 환경에서 디지털 카메라의 white balance 설정이 촬영 이미지에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 설계

진료실 내 촬영 환경을 재현하기 위하여 텐티폼의 상악 중절치 위치에 복합 레진(Z250, shade A3, 3M ESPE, St. Paul, USA)으로 치아를 제작하여 위치시켰다. 디지털 카메라는 디지털 일안반사식 카메라(DSLR, D7000, Nikon, Tokyo, Japan)를 사용하였으며, 렌즈는 매크로 촬영용 렌즈(AF-S 105mm f/2.8 G ED VR Micro., Nikon, Tokyo, Japan)를 장착하였다. 주광원으로는 렌

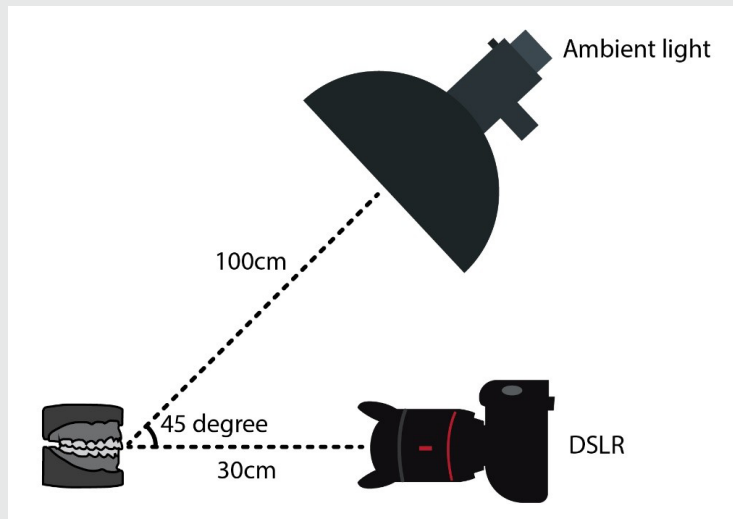


Figure 1. A schematic image of the experimental setup

즈에 장착하는 ring flash (Mecablitz 15 MS-1 Digital Flash Metz Corporation, Zirndorf, Germany)를 사용하였다. 카메라의 촬영 초점이 덴티폼의 우측 상악 중절치 중앙부에 위치할 수 있도록 고정하였으며 치아와 렌즈면과의 거리는 30cm으로 고정하였다. 부광원은 100°K 단위의 색온도 조절이 가능한 면발광 조명(HS150, 포비 디지털, Seoul, Korea)을 사용하였다. 부광원은 덴티폼의 우측 상악 중절치 순면을 기준으로 45도 각도 상방에 위치시켰으며 치아와 부광원과의 거리는 1m로 고정하였다(Fig. 1). 조도계(CL-200, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 덴티폼의 상악 중절치 부분에 위치시켜 부광원에서 나오는 빛을 측정하였으며 2000 Lux의 동일한 조도 유지하에 색온도(Kelvin)의 변화만 발생하도록 하였다. 사진의 촬영은 주광원과 부광원을 제외한 모든 광원을 제거한 암실에서 시행되었으며 각 촬영 사이에 1분의 flash 충전시간을 두어 촬영을 시행하였다.

2. 외부 광원 색온도 차이에 따른 촬영

디지털 카메라의 고정된 white balance 설정과 flash의 발광 조건하에서 부광원의 색온도를 3000°K에서 500°K 단위로 증가시켜 6500°K까지 변화시키며 사진을 촬영하여 결과물을 분석하였다. 카메라의 white balance는 3570°K, 4550°K, 5500°K의 3개의 군에서 실험을 진행하였으며 부광원은 3500°K, 4000°K, 4500°K, 5000°K, 5500°K, 6000°K, 6500°K의 군으로 총 24개 군에 대하여 각 군당 30회 반복 촬영을 시행하였다. 촬영을 통해 얻은 데이터는 컴퓨터로 옮겨 분석을 시행하였다.

3. 카메라 white balance 설정에 따른 촬영

첫 번째 실험 환경과 동일한 환경을 설정하고 부광원의 색온도를 고정한 후에 카메라의 white balance 설정

만 변화시켜 촬영을 시행하였다. 부광원의 광량은 2000 Lux, 색온도는 5500°K로 고정하였으며, 카메라의 white balance 수치는 3570°K, 4000°K, 4550°K, 5000°K, 5500°K 5개의 군에 대하여 군당 30회 반복 촬영을 시행하였다. 촬영을 통해 얻은 데이터는 컴퓨터로 옮겨 분석을 시행하였다.

4. 촬영 결과 분석

촬영된 사진은 Sampio 등의 연구에서 시행된 protocol에 따라 이미지 편집 소프트웨어 (Classic Color Meter version 1.8.1 for Macintosh AC; Ricci Adams)를 통해 CIE $L^*a^*b^*$ values를 추출하였다⁸⁾. 촬영한 사진에서 미리 표시해둔 상악 우측 중절치 순면의 중앙부위에서 색상 정보를 추출하였으며 이는 모든 실험군에서 동일하게 이루어졌다. 소프트웨어에서 자동적으로 L^* , a^* , b^* 각각의 값이 도출되었다. 측정된 CIE $L^*a^*b^*$ values 평균 값을 토대로 ΔE 값은 다음 수식에 따라 계산되었다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

5. 통계 분석

모든 통계 분석은 SPSS (version 23, SPSS, Chicago IL, USA)를 이용하여 시행하였으며 유의 수준은 0.05로 설정하였다. 각 군간 비교는 one-way ANOVA test를 이용하였으며 Tukey HSD post hoc test로 사후 검정을 시행하였다.

III. 결과

외부 광원 색온도 차이에 따른 촬영 결과물 평가

고정된 카메라의 white balance 설정 하에서 보조 광원의 색온도 변화에 따른 각 군별 $L^*a^*b^*$ 수치와 ΔE 값은 다음과 같았다(Table 1). 각 군의 ΔE 는 주광원과 동일한 색온도인 5500°K의 $L^*a^*b^*$ values의 평균값을 기준으로 계산하였다. 부광원의 색온도 변화에 따른 L^*, a^*, b^* 의 값은 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 부광원의 색온도 변화에 따른 ΔE 는 카메라의 white balance를 3570°K로 설정한 그룹에서 ΔE 는 0.0170 ~ 0.306, 4550°K 그룹에서는 0.190 ~ 0.492, 5500°K 그룹에서는 0.148 ~ 0.852로 나타났다. 결과적으로 실험을 진행한 3가지 실험군(3570°K, 4550°K, 5500°K) 모두에서 ΔE 는 1 이하의 값을 나타내었다.

카메라의 white balance를 3570°K로 설정한 그룹에서 색온도 3500°K와 5500°K의 실제 촬영 이미지와 카메라의 white balance를 5500°K로 설정한 그룹에서 색온도 3500°K와 5500°K의 실제 촬영 이미지는 다음과 같이 나타났다(Fig. 2). A와 B를 비교시와 C와 D를 비교시 큰 차이가 보이지 않음을 알 수 있다.

카메라 white balance 설정에 따른 촬영 결과물 평가

카메라의 white balance 설정 변화에 따른 CIE $L^*a^*b^*$ 값과 각 군별 ΔE 값은 다음과 같았다 (Table 2). 부광원은 5500°K의 색온도와 2000 Lux의 밝기로 고정된 상태로 측정하였으며, 카메라의 white balance 변화에 따른 각 그룹 간의 ΔE 는 주광원과 동일한 색온도인 5500°K의 $L^*a^*b^*$ 값의 평균을 기준으로 계산하였다. ΔE 를 계산한 결과 카메라의 white balance를 5000°K로 설정한 그룹에서만 $\Delta E = 0.71$ 로 역치 기준 값인 3.7 이하의 변화량을 보였다. 4550°K에서는 $\Delta E = 7.27$, 4000°K에서는 $\Delta E = 16.46$, 3570°K에서는 $\Delta E = 25.50$ 으로 3.7 이상의 변화량을 보였으며 색온도의 변화가 클수록 더 큰 ΔE 값을 나타내었다⁹⁾. L^*, a^*, b^* 각 수치에 대한 변화량에 대해서 ΔL

Table 1. Comparison of CIE $L^*a^*b^*$ values of the maxillary central incisor and ΔE values according to light temperature of ambient light.

카메라의 white balance	부광원의 색온도						P-value	
	3500°K	4000°K	4500°K	5000°K	5500°K	6000°K		
3570°K	L^*	72.97 (0.52)	73.12 (0.52)	72.77 (0.52)	72.91 (0.65)	73.13 (0.78)	72.76 (0.88)	0.021
	a^*	-9.51 (0.30)	-9.42 (0.17)	-9.41 (0.17)	-9.41 (0.16)	-9.54 (0.34)	-9.62 (0.40)	0.028
	b^*	-5.40 (0.41)	-5.60 (0.35)	-5.49 (0.19)	-5.44 (0.11)	-5.28 (0.41)	-5.14 (0.49)	0.000
	ΔE	0.170	0.282	0.301	0.209	0.000	0.306	
4550°K	L^*	74.01 (0.51)	73.90 (0.49)	73.63 (0.43)	73.33 (0.40)	73.38 (0.71)	73.18 (0.55)	0.000
	a^*	-2.91 (0.37)	-3.03 (0.29)	-2.91 (0.35)	-2.53 (0.33)	-2.77 (0.40)	-2.75 (0.39)	0.000
	b^*	12.09 (0.46)	12.25 (0.42)	12.02 (0.53)	11.12 (0.54)	11.87 (0.59)	11.63 (0.72)	0.000
	ΔE	0.472	0.483	0.190	0.590	0.000	0.258	
5500°K	L^*	75.09 (0.44)	74.12 (0.51)	74.14 (0.57)	74.15 (0.45)	73.96 (0.45)	73.83 (0.41)	0.000
	a^*	-1.79 (0.52)	-1.59 (0.51)	-1.44 (0.26)	-1.70 (0.44)	-1.61 (0.55)	-1.61 (0.59)	0.002
	b^*	18.74 (0.56)	19.48 (0.36)	19.41 (0.24)	19.18 (0.44)	18.90 (0.59)	18.86 (0.64)	0.000
	ΔE	0.852	0.307	0.471	0.227	0.000	0.148	

은 0.49 ~ 0.98로 가장 적은 변화량을 보인 반면 Δa 는 0.09 ~ 7.99, Δb 는 0.51 ~ 24.19로 큰 변화량을 보였다.

부광원의 색온도를 5500°K로 설정한 상태에서 카메라의 white balance를 3570°K로 설정한 그룹과 5500°K로 설정한 그룹의 실제 촬영 이미지는 다음에 나타나 있

다(Fig. 2). A와 C를 비교시와 B와 D를 비교시 차이가 인지됨을 알 수 있다. Δb 이 13.74로 차이가 나기 때문에 C와 D 사진이 더 노랗게 보이고 A와 B 사진이 더 파랗게 인지된다.

Table 2. Comparison of CIE $L^*a^*b^*$ values of the maxillary central incisor and ΔE values according to white balance setting.

		카메라의 white balance setting					
		3570°K	4000°K	4550°K	5000°K	5500°K	P
L^*	Mean(SD)	73.06 (0.71)	73.79 (0.57)	73.33 (0.75)	74.53 (0.48)	74.04 (0.42)	0.000
	ΔL	0.98	0.25	0.71	0.49	0	
a^*	Mean(SD)	-9.579 (0.36)	-7.12 (0.49)	-2.74 (0.40)	-1.67 (0.42)	-1.59 (0.54)	0.000
	Δa	7.99	5.53	1.16	0.09	0	
b^*	Mean(SD)	-5.237 (0.37)	3.46 (0.34)	11.81 (0.62)	19.47 (0.24)	18.95 (0.59)	0.000
	Δb	24.19	15.50	7.14	0.51	0	
ΔE		25.50	16.46	7.27	0.71	0	

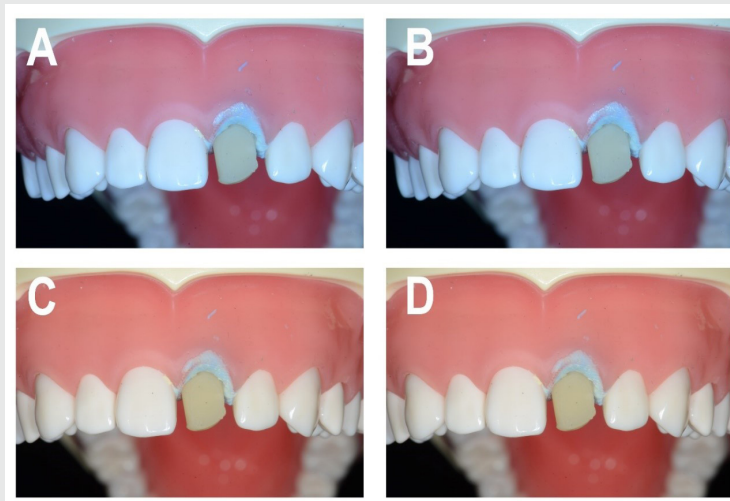


Figure 2. Representative images acquired under different ambient lighting conditions and white balance settings. (A) White balance of camera : 3570°K, Color temperature of ambient light : 3500°K (B) White balance of camera : 3570°K, Color temperature of ambient light : 5500°K (C) White balance of camera : 5500°K, Color temperature of ambient light : 3500°K (D) White balance of camera : 5500°K, Color temperature of ambient light : 5500°K

IV. 연구 고찰

CIE (International Commission on Illumination) $L^*a^*b^*$ system은 색을 정량적으로 평가하고 표준화하기 위해 사용되는 시스템이다. CIE $L^*a^*b^*$ color system은 L^* , a^* , b^* 의 3개의 색좌표가 사용된다. L^* 은 밝기로 정의되며 검정에서 백색까지 0-100의 수치를 통해 표시된다. a^* 값은 green에서 red를 표현하는 좌표 값으로 음수로 갈수록 green에 가까워지며 양수로 갈수록 red에 가까워진다. b^* 값은 blue에서 yellow를 표현하는 좌표 값으로 음수로 갈수록 blue 색상을, 양수로 갈수록 yellow 색상을 나타낸다. CIE $L^*a^*b^*$ color system은 수학적 계산에 의하여 색상을 표현하며 이를 통해 객관적인 정보의 교환이 가능하다는 장점을 가지고 있다¹⁰. 특히 서로 다른 두 가지 색상이 존재할 때, 두 색상의 벡터상의 거리를 통해 색상의 차이($\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$)를 계산할 수 있으며 이 두 점 사이의 거리가 역치 값 이상일 때, 인간은 두 색상이 다르다고 인식하게 된다¹⁰. 이러한 두 색상의 차이를 인식하게 되는 역치 값에 대하여 다양한 연구가 진행되었다^{9,11,12}. American Dental Association은 2.0의 ΔE 값을 기준으로 제시하였으며¹¹, Paul등의 연구에서는 ΔL 값이 2.0 이하이고 ΔE 값이 4.0 이하일 때 임상적으로 두 색상이 동일하다고 받아들여질 수 있다고 하였다⁹. Johnston등은 두 색상의 차이를 인식하는 기준을 $\Delta E > 3.7$ 로 정의하였다⁹. 본 실험 결과에서 구강내 촬영시 외부 조명의 색온도 변화에 따른 ΔE 값은 최대 0.8로 나타났으며 이는 임상 환경에서 임상가가 색상의 변화를 인지하기 어려운 수치이다. 이러한 수치는 조명 환경의 변화가 shade selection에 미치는 영향을 분석한 기존의 연구와 비슷한 결과였다¹³. 반면에 동일한 외부 조명하에서 카메라의 white balance 설정이 변경될 경우 ΔE 값은 최대 25이상의 변화를 보여 명확한 색상 변화의 인지를 가져오는 것으로 나타났다.

임상 상황에서 치과 진료실에 추천되는 적절한 작업 조도는 2000 ~ 3000 Lux로 알려져 있으며, 이는 예비실험 과정에서 확인한 오후 3시경 창밖에서 들어오는 태양광의 밝기가 2000 Lux로 측정되었으며 기존의 연구 결과와도 유사한 값을 보였다¹⁴. 본 실험에서는 위 수치를 참고하여 진료 환경과 유사한 상황을 재현하기 위하여 텐트폼 상악 중절치의 전면부에서 측정시 부광원의 조도가 2000 Lux가 되도록 설정하여 실험을 진행하였다.

조명 기구 또는 자연광의 색온도 변화는 진료실에서 흔히 발생할 수 있는 조광 조건의 변화이다. 이러한 조광 조건의 변화는 인간에 의해 인식되는 색상에 변화를 일으키지만, 카메라의 white balance에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다¹⁵. 일반적으로 색상 비교에 이상적인 조건으로 알려진 standard daylight는 약 5500°K의 색온도를 가지는 빛을 지칭한다¹⁶. 이에 따라, 색온도에 따른 색상 변화를 비교할 때 기준으로 5500°K의 색온도를 사용하여 본 실험을 진행하였다.

복잡한 진료실 환경에서는 구강내에 5500°K의 일정한 색온도를 유지하는 것이 어렵다. 특히 치과 유니트 체어의 조명기구, 진료실 자체의 조명기구 등과 같은 여러 조명이 혼합되어 있는 환경에서는 각각의 조명기구의 색온도 조절이 용이하지 않다. 또한, 진료실 내 동일한 진료용 조명을 사용하더라도 위치와 시간에 따른 자연광의 변화, 각도에 따른 변화 등 다양한 변수에 의하여 색온도와 조도의 변화가 발생하는 환경에서 카메라의 white balance 설정을 auto로 유지할 경우 촬영 시마다 서로 다른 white balance 수치에 의한 오차가 발생하게 된다. 본 연구 결과에 따르면 동일 white balance 설정값에서는 외부 광원의 색온도 변화시 통계적으로 유의적인 차이는 있었으나, 시각적인 차이를 인식할 수 있는 역치 이하의 ΔE 값을 보여 임상적으로 유의미한 색상의 차이는 인식하기 어려울 것으로 판단된다. 그러나 카메라의 white balance 변

화시에는 일정한 색온도의 외부조명이 사용되더라도 역시 이상의 ΔE 값으로 인해 색상의 차이를 인식할 수 있을 것으로 보이며 이는 auto white balance 설정시 나타나는 색감의 오류의 원인으로 추정된다. 위 결과에 따라 임상가는 조명 환경과 주광원의 색온도를 고려한 적절한 white balance 설정을 통해 일관성 있는 색상 채득이 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서는 외부 조명의 색온도의 변화에 따른 영향과, 카메라의 white balance 설정에 따른 영향을 확인하였다. 이런 요인 외에도 디지털 사진의 결과물에는 노출, 셔터 스피드, 조리개, 해상도 등 많은 요소들이 영향을 미친다^{7,18)}. 본 연구에서 논의한 조명과 white balance 설정과 같은 일관성의 측면과 더불어 정확한 색상 재현을 위한 gray card, 편광 필터 등의 사용을 통해 디지털 촬영 결과물의 재현성을 높인다면 더욱 신뢰도 높은 사진 결과물을 얻을 수 있을 것으로 보인다⁶⁾. 또한, 디지털 카메라의 사진에 의해서 최종적으로 보여지는 색상은 대상의 광학적 특성, 조명 spectrum의 성질, 디지털 카메라의 color processing 알고리즘과 컴퓨터의 하드웨어적, 소프트웨어

적 image processing workflow에 의해 결정된다⁴⁾. 따라서 진료실 환경에서 정확한 색상을 재현하기 위해서 임상가는 조명의 영향, 디지털 카메라의 color processing의 알고리즘에 대하여 전반적인 이해가 필요하며 다른 요소들에 의한 색상 변화의 영향도 연구가 필요할 것이다.

V. 결론

본 실험의 결과에서 조명 환경의 변화는 디지털 카메라를 통한 촬영 결과물에 대하여 통계적인 차이는 존재하나 인지 가능한 변화는 보이지 않았다($\Delta E < 3.7$). 반면에 카메라의 white balance의 변화는 사진 촬영 결과물에서 충분히 인지 가능한 차이를 나타내었다($\Delta E > 3.7$). 이러한 결과를 통해 임상가는 구강내 디지털 사진 촬영 시 조광 환경을 가능한 동일성을 유지할 필요가 있으며, 특히 색상과 관련하여 카메라의 white balance 설정에 주의를 기울여야 한다.

참고 문헌

1. Jarad F, Russell M, Moss B. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *British dental journal* 2005;199:43-49.
2. Schropp L. Shade matching assisted by digital photography and computer software. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 2009;18:235-241.
3. Tung OH, Lai YL, Ho YC, Chou IC, Lee SY. Development of digital shade guides for color assessment using a digital camera with ring flashes. *Clin Oral Investig* 2011;15:49-56.
4. McLaren E, Terry D. Photography in dentistry. *Journal of the California Dental Association* 2001;29:735.
5. Tam WK, Lee HJ. Dental shade matching using a digital camera. *J Dent* 2012;40 Suppl 2:e3-10.
6. Casaglia A, De Dominicis P, Arcuri L, Gargari M, Ottria L. Dental photography today. Part 1: Basic concepts. *ORAL & implantology* 2015;8:122.
7. Snow SR. Assessing and achieving accuracy in digital dental photography. *Journal of the California Dental Association* 2009;37:185-191.
8. Sampaio CS, Atria PJ, Hirata R, Jorquera G. Variability of color matching with different digital photography techniques and a gray reference card. *The Journal of prosthetic dentistry* 2019;121:333-339.
9. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle C. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *Journal of dental research* 2002;81:578-582.
10. Yamanel K, Caglar A, Oezcan M, Gulsah K, Bagis B. Assessment of color parameters of composite resin shade guides using digital imaging versus colorimeter. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 2010;22:379-388.
11. Wozniak W. Proposed guidelines for the acceptance program for dental shade guides. Chicago: American Dental Association 1987:1-2.
12. Johnston W, Kao E. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *Journal of dental research* 1989;68:819-822.
13. Yilmaz B, Irmak Ö, Yaman BC. Outcomes of visual tooth shade selection performed by operators with different experience. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 2019;31:500-507.
14. Preston JD, Ward LC, Bobrick M. Light and lighting in the dental office. *Dent Clin North Am* 1978;22:431-451.
15. Sarafianou A, Kamposiora P, Papavasiliou G, Goula H. Matching repeatability and interdevice agreement of 2 intraoral spectrophotometers. *The Journal of prosthetic dentistry* 2012;107:178-185.
16. Dagg H, O'connell B, Claffey N, Byrne D, Gorman C. The influence of some different factors on the accuracy of shade selection. *Journal of oral rehabilitation* 2004;31:900-904.
17. Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. *Journal of Prosthetic Dentistry* 1970;24:166-173.
18. Sajjadi SH, Khosravanifard B, Moazzami F, Rakhshan V, Esmaeilpour M. Effects of three types of digital camera sensors on dental specialists' perception of smile esthetics: A preliminary doubleblind clinical trial. *Journal of Prosthodontics* 2016;25:675-681.