

치과용 디지털 색상 분석용 기기의 정확성과 재현 능력에 대한 평가

정중재 · 박수정 · 조현구 · 황윤찬 · 오원만 · 황인남*
전남대학교 치의학 전문대학원 보존학교실, 치의학연구소

ABSTRACT

EVALUATING THE RELIABILITY AND REPEATABILITY OF THE DIGITAL COLOR ANALYSIS SYSTEM FOR DENTISTRY

Joong-Jae Jeong, Su-Jung Park, Hyun-Gu Cho, Yun-Chan Hwang,
Won-Mann Oh, In-Nam Hwang*

Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, DSRI, Chonnam National University

This study was done to evaluate the reliability of the digital color analysis system (ShadeScan, CYNOVAD, Montreal, Canada) for dentistry.

Sixteen tooth models were made by injecting the A2 shade chemical cured resin for temporary crown into the impression acquired from 16 adults. Surfaces of the model teeth were polished with resin polishing cloth. The window of the ShadeScan handpiece was placed on the labial surface of tooth and tooth images were captured, and each tooth shade was analyzed with the ShadeScan software. Captured images were selected in groups, and compared one another.

Two models were selected to evaluate repeatability of ShadeScan, and shade analysis was performed 10 times for each tooth.

And, to ascertain the color difference of same shade code analyzed by ShadeScan, CIE $L^*a^*b^*$ values of shade guide of Gradia Direct (GC, Tokyo, Japan) were measured on the white and black background using the Spectrolino (GretagMacbeth, USA), and Shade map of each shade guide was captured using the ShadeScan.

There were no teeth that were analyzed as A2 shade and unique shade. And shade mapping analyses of the same tooth revealed similar shade and distribution except incisal third.

Color difference (ΔE^*) among the Shade map which analyzed as same shade by ShadeScan were above 3.

Within the limits of this study, digital color analysis instrument for dentistry has relatively high repeatability, but has controversial in accuracy. [J Kor Acad Cons Dent 33(4):352-368, 2008]

Key words: Tooth color, Digital color, Color analysis, Color repeatability, ShadeScan

- Received 2008.4.22., revised 2008.5.26.,
accepted 2008.5.29.-

* Corresponding Author: In-Nam Hwang

Department of Conservative Dentistry,
School of Dentistry, Chonnam National University
5 Hak-dong, Dong-gu, Gwangju, 501-757, Korea
Tel: 82-62-220-4443 Fax: 82-62-225-8387
E-mail : hinso@jnu.ac.kr

I. 서 론

치의학의 발전과 생활 수준의 향상은 기능과 형태 수복이 주된 목표였던 과거의 치과 진료에 심미 수복과 치아 성형이라는 새로운 치의학 분야의 출현을 가져왔다. 이는 치과용 도재, 복합 레진 등 심미성이 우수한 재료들의 개발과 발전에 의해 가능하게 되었고, 이러한 재료들에 의해 심미성이 강조되는 전치부 수복뿐만 아니라 과거 금속성 수복물만 적용될 수 있었던 많은 예들에서도 심미 수복물의 적용이 가능해졌다. 하지만 이러한 심미 수복의 모든 예에서 환자들의 요구를 충분히 만족시키지는 못하고 있다는 것에 대해 동의하지 않는 임상가는 드물 것이다. 여기에는 재료에 의한 원인, 술자의 능력과 관련된 원인, 혹은 환자 본인의 문제점 등 많은 이유가 있겠지만, 심미 수복 분야의 중요한 성공 요인 중의 하나인 정확한 색상 재현의 실패도 큰 비중을 차지하고 있다.

색상 재현의 실패는 처음 색상을 결정하는 color matching 단계에서부터 오류가 발생된다. 이미 많은 학자들이 문제점을 제기하고 있지만, 아직도 상당수의 임상가들은 색상 결정 방법으로 shade guide를 이용해 육안으로 치아와 직접 비교하여 치아의 색상을 결정하는 방법을 사용하고 있다. Sproull¹⁾, Paravina 등²⁾ 그리고 황과 오³⁾는 이러한 비색법에 사용하는 shade guide의 색상 범위가 자연치의 색상 범위를 충분히 재현하지 못한다고 지적하였고, Preston⁴⁾은 배열의 문제점을, Grajower 등⁵⁾은 자연치와 color tab 간의 reflection curve의 불일치를 지적하였다. 그 외에도 동일 제조사의 shade guide간의 색상의 차이^{6,7)}, 레진 shade guide의 색안정성의 문제⁸⁾ 그리고 shade의 형태와 관련된 문제⁹⁾ 등 많은 문제점들이 보고되었으며, 이러한 문제점들을 극복하기 위한 다양한 연구들이 이루어지고 있다.

이러한 color matching 시 발생하는 문제를 극복하기 위해 근래 객관적이고 재현성이 우수한 기기를 사용한 색상 결정 방법들이 소개되고 있다. 그 중 한가지는 spectrophotometer나 colorimeter를 사용하여 색상을 측정하는 방법이며, 이러한 기기를 이용해 1973년 Sproull¹⁾, 1975년 Lemire와 Burk¹⁰⁾, 1976년 Grajower 등¹¹⁾, 1981년 Macentee와 Lakowski¹²⁾, 1987년 Goodkind와 Schwabacher¹³⁾, 1988년 박과 정¹⁴⁾, 1997년 황과 오³⁾, 그리고 1998년 조와 신¹⁵⁾ 외에 많은 연구자들에 의해 자연치 혹은 발거치의 색상이 측정되었다. 다른 한가지는 특정 광원과 함께 CCD를 통해 얻어진 영상을 컴퓨터를 이용해 분석하는 방법이다¹⁶⁻¹⁹⁾. 첫 번째 방법은 물체로부터 반사된 빛의 스펙트럼을 분석하여 색상을 현재 과학적 색표현 방법으로 인정하고 있는 표색 방법 (CIE L*a*b*, L*C*h* 및 Munsell color order system 등)으로 나타내는 방식이다.

두 번째 방법은 특정 광원 하에서 CCD (charge-coupled device) 카메라를 통해 얻어진 영상을 컴퓨터로 분석해 현재 치과계에서 특정 재료의 색상을 표현하는 방식 (Vita shade, Chromascope, Bioform shade 등)으로 표현하는 방식이다.

하지만 비색법에 의한 색상 결정에서도 문제가 제기되었던, 색상 결정의 기준이 과학적으로 재현 가능한 색체계 (color order system)에 바탕을 두지 못하고 일부 재료 제조사에서 제시한 색상 code (예 : Vita shade guide, Bioform shade guide 등)를 바탕으로 색상을 재현하고 있다는 문제점을 이러한 기기들도 가지고 있다. 이러한 방식을 이용해 표현되는 색상 code들은 표현하는 색상들이 실제 국제 조명 위원회 (CIE) 등에서 제시하는 색체계 (CIE x,y,z system, Lab system, L*a*b* system 등)나 통상적으로 사용되는 Munsell color order system 등의 어떤 색상을 표현하고자 하는지 알 수 없으며, 이와 관련된 정보도 문헌에서 찾아보기 힘들다. 비록 많은 연구자들이 이러한 색상 code들의 실제 색상을 확인하기 위한 많은 연구들을 시행하고 있지만, 동일한 색상 code를 사용하는 재료들간의 색차, 서로 다른 색체계를 이용한 색상 표현 등의 이유로 실제 임상에서 이러한 정보를 응용하는데는 어려움이 있다.

치아의 색상 범위는 Munsell Color order system에 따라 순차적으로 정렬된 표준화된 color chip과 치아의 색상을 육안 비교하는 방법으로 1931년 Clark^{20,21)} 이후 Hayashi, Marui 그리고 Kato 등에 의해 기술되어졌다²²⁻²⁴⁾. 하지만 보고된 치아 색상 범위는 사용 기기, 측정 조건, 치아 상태, 측정 방법, 측정자 등의 여러 요인에 따라 상당히 광범위한 영역에 분포되고 있다.

Goodkind와 Loupe²⁵⁾의 치과 교육자들을 대상으로 한 설문 조사에서 응답자의 대부분이 제조 회사의 shade guide들이 적절치 못하다고 대답했다 (Porcelain : 61%, 복합 레진 : 58%). 또한 85%의 응답자들이 새로운 체계적인 shade guide의 개발의 필요성에 대해 동의했다. 새로운 shade guide에 대한 몇 가지 제안에서도 자연치 색상의 전체 범위를 나타내야한다는 데 대해 90%가 동의했으며, 특정 색상을 결정하는 요소들에 대한 지침을 포함해야한다는 의견에 대해서는 92%, 그리고 Hue에 최소한의 영향을 주면서 Chroma와 Value를 쉽게 변화시킬 수 있는 방법을 갖춰야한다는 의견에 대해서는 96%가 동의했다.

이처럼 복합레진 수복이나 치과용 도재를 이용한 심미 수복 시 정확한 색을 재현한다는 것은 무척 어려운 일이다. 하지만 일부 학자들이 거론하듯이 색상의 결정과 수복에 착시의 개념을 더하여 과학적인 색의 개념에 눈에 보이는 색의 개념을 강조해 색을 표현하는 방법들을 응용한다면 기존의 비색법에 비해 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 최근에 소개되고 있는 CCD 등을 통해 얻어진 영상을 컴퓨터로 분

석하는 치아 색상 측정용 기기들도 이러한 개념에 바탕을 두고 있다고 판단하여 본 연구에서는 색상 측정용 기기인 ShadeScan을 이용하여 이러한 방식을 사용하는 기기의 색상 구별 능력과 재현 능력, 그리고 spectrophotometer나 colorimeter로 측정된 색상의 색차에 대한 구분 능력을 평가해 보았다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료 및 분석용 모델 제작

디지털 치아색상 측정기인 ShadeScan™ (CYNOVAD, Montreal, Canada)의 색상 분석 능력과 재현 능력을 평가하기 위해, 균일한 치아 배열을 가진 20대 성인 남자 8명과 여자 8명의 상악 인상을 고무 인상재 (Exaflex, GC, Japan)를 이용하여 채득하였다. 채득된 인상의 내면의 기포나 불순물 여부를 확인하고, 상악 우측 중절치에서 제2소구치까지의 5개의 치아를 제외한 나머지 치아를 block-out 하였다. 준비된 인상에 A2 색상의 임시 크라운 제작용 자가 중합형 레진인 Luxatemp Automix Plus (Lot. No. : 508604, DMG Chemisch- Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Germany)를 주입용 gun에 장착하고 vibrator 상에서 레진을 주입하였다. 레진 중합 후 인상으로부터 치아 모형을 제거하고 기포의 여부와 표면 상태를 확인하였다. 제거된 치아 모형 표면의 미끈거림을 제거하기 위해 부드러운 솔로 표면을 세척하고 상온의 증류수에 1시간 동안 담근 후 빛이 차단된 용기에 보관하였다. 색상 측정 전 각각의 모델은 레진 polishing용 천 디스크로 표면을 연마하였다.

2. 색차 구별 능력 평가를 위한 color tab의 준비

색차 구별 능력을 평가하기 위해 광중합 복합레진의 shade matching 용으로 제조사에서 제공하는 shade guide 중 두께에 따라 색상을 비교할 수 있도록 제작된 Gradia Direct (GC, Japan)의 A1, A2, A3, A4, B1, B2 및 B3의 shade guide를 분석용 color tab으로 선택하였다. Gradia direct의 shade guide는 하나의 shade guide에 3 mm, 2 mm, 1.5 mm와 1 mm의 두께를 포함하고 있다. 표면의 불순물을 제거하기 위해 초음파 세척기에서 5분 동안 세척하였다.

Spectrophotometer인 Spectrolino (GretagMacbeth, USA)를 이용해 백색 배경판 ($L^* = 94.7, a^* = 1.1, b^* = -0.3$)과 흑색 배경판 ($L^* = 16.9, a^* = -0.4, b^* = -0.9$) 상에서 모든 shade guide의 두께에 따른 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 측정하였다.

3. 연구 방법

1) 모델 치아의 색상 분석

모델 치아의 색상 측정을 위해 디지털 치아 색상 측정기기인 ShadeScan™ (CYNOVAD, Montreal, Canada)를 사용하였다. 이 기기는 치과 전용 색상 분석 기기로 색상 분석이 가능한 digital color image technology를 접목시킨 기기이다. 기기 자체에 할로겐 광원을 가지고 있으며, 이 빛은 영상 채득 시 광섬유 전선을 통해 측정면에 지속적으로 비추어진다. 또한 light shutter 내부에 여러 색상의 standard를 가지고 있어 자체 보정 (self-calibrated)이 이루어지는 기기이다.

검정색의 배경판 상에 각 치아 모델을 위치시키고, ShadeScan의 핸드피스 끝에 ShadeGuard를 장착하고, 핸드피스의 측정창을 측정하고자하는 치아에 위치시켰다. 이때 ShadeGuard가 치아의 순면과 평행하게 접촉하도록 하고 카메라 버튼을 눌러 영상을 얻었다. 얻어진 영상은 연결된 컴퓨터에 저장하였다. 컴퓨터 상에서 ShadeScan 소프트웨어를 이용해 먼저 Enhanced Image icon을 눌러 원래 영상의 특징을 확실하게 하였다. 이후 Shade Map icon을 눌러 Shade Map으로 변환하여, 분석된 모델 치아의 색상을 분석하였다. 이때 분석 결과는 Vita classic으로 출력하였으며, 상의 정교한 정도는 가장 거친 단계보다 한 단계 위의 단계로 설정하였다. 모니터 상에 출력된 분석 화면을 화면 capture하여 Adobe Photoshop 5.0 프로그램을 이용해 JPEG형식의 영상으로 변환하였다.

2) 분석된 영상에 대한 평가

중절치, 측절치, 견치, 제1소구치 및 제2소구치의 색상 분석이 완료된 영상을 모니터 상에 출력하고 절단부 1/3, 중앙 1/3 및 치경부 1/3의 Vita classic code 중 가장 두드러진 code를 확인하고 각 code간의 색상 차이를 1989년 O'Brien 등²⁶⁾이 보고한 Vita shade guide의 $L^*a^*b^*$ 값을 기준으로 각 code 간의 색차 (ΔE^*)를 계산하였다.

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

색차에 대한 평가는 다른 연구들^{27,28)}에서 보고한 시각적으로 인지할 수 있는 범위를 기준으로 $\Delta E^* = 3$ 이상의 값을 보이는지 확인하였다.

3) 기기의 재현 능력의 평가

기기의 재현 능력을 평가하기 위해 16개의 치아 모델 중 균일한 배열 가진 2개의 모델을 무작위로 선택하였다. 선택한 모델의 개개 치아의 영상을 Vita classic mode 하에서 이전의 실험과 동일한 방법으로 ShadeScan을 이용해 각 치아 당 10회 채득하고, 소프트웨어를 이용해 분석한 후 JPEG 형식의 파일로 변환하였다. 색상 분석 후 영상을 모

Table 1. Vita shade-guide colors (O'Brien et al.²⁶, 1989)

Shade	Munsell notation			Chromaticity coordinates			CIE L* a* b*		
	H	V	C	Y	x	y	L*	a*	b*
A1	4.5Y	7.80/1.7		55.92	0.3352	0.3459	79.57	-1.61	13.05
A2	2.4Y	7.45/2.3		49.95	0.3468	0.3539	76.04	-0.08	16.73
A3	1.3Y	7.40/2.9		48.85	0.3559	0.3593	75.36	1.36	19.61
A3.5	1.6Y	7.05/3.2		44.12	0.3627	0.3657	72.31	1.48	21.81
A4	1.6Y	6.70/3.1		38.74	0.3633	0.3658	68.56	1.58	21.00
B1	5.1Y	7.75/1.6		54.76	0.3336	0.3447	78.90	-1.76	12.33
B2	4.3Y	7.50/2.2		50.97	0.3437	0.3549	76.66	-1.62	16.62
B3	2.3Y	7.25/3.2		46.91	0.3611	0.3669	74.13	0.47	22.34
B4	2.4Y	7.00/3.2		43.38	0.3620	0.3678	71.81	0.50	22.15
C1	4.3Y	7.30/1.6		47.16	0.3361	0.3462	74.21	-1.26	12.56
C2	2.8Y	6.95/2.3		42.12	0.3487	0.3563	70.95	-0.22	16.72
C3	2.6Y	6.70/2.3		39.11	0.3499	0.3569	68.83	-0.01	16.68
C4	1.6Y	6.30/2.7		33.77	0.3600	0.3622	64.78	1.59	18.66
D2	3.0Y	7.35/1.8		48.71	0.3391	0.3473	75.27	-0.54	13.47
D3	1.8Y	7.10/2.3		44.48	0.3482	0.3534	72.55	0.62	16.14
D4	3.7Y	7.05/2.4		43.45	0.3492	0.3591	71.86	-1.03	17.77

니터 상에 출력하여 하나의 영상을 기준 영상으로 정하고 다른 영상을 기준 영상 위에 출력 후 Adobe Photoshop 6.0 프로그램을 이용해 겹쳐진 영상의 layer 설정 중 opacity를 30%로 변화시켜, 기준 영상과 겹쳐진 영상의 색상 분석 영역을 비교하였다.

또한 10개의 모든 영상을 출력 후 절단부, 중앙 및 치경부의 Vita code를 비교하였다.

4) 색차를 가진 시편의 분석 능력에 대한 평가

7 색상 code (A1, A2, A3, A4, B1, B2, 및 B3)의 Gradia Direct shade guide (GC, Japan)의 각 두께 (1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 3 mm)에 따른 CIE L*a*b*값을 백색 배경판 ($L^* = 94.7$, $a^* = 1.1$, $b^* = -0.3$)과 흑색 배경판 ($L^* = 16.9$, $a^* = -0.4$, $b^* = -0.9$) 상에서 Spectrophotometer인 Spectrolino (Serial No. 3.257-18522, GretagMacbeth, Regensdorf, Switzerland)를 이용해, 10도 관찰자 각도로 각 shade guide의 각 두께 당 3회 측정하여 평균값을 구하였다. 색상 측정에 사용한 Spectrolino는 4.5 mm의 측정구를 가지는 45°/0° ring optic DIN 5003 측정 기하 방식을 적용한 기기로 표준광 A를 장착하고 있으며 측정구에 D₆₅ 필터를 적용하여 측정하였다. 측정된 CIE L*a*b*값으로부터 각 두께간의 색차를 계산하였다.

또한 ShadeScan을 이용해 백색과 흑색 배경판 상에서의 각 shade guide의 각 두께에 따른 영상을 얻어 분석하고, 동일한 shade guide의 3 mm 두께에 대한 각 두께의 색차와 ShadeScan으로 얻어진 영상을 비교하여 색차에 따른 ShadeScan의 구분 능력을 평가하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. Shade Map 분석결과

상악 중절치, 측절치, 견치, 제1소구치, 및 제2소구치의 Vita-classic mode 상에서 분석한 Shade Map은 Figure 1 - 5와 같다.

O'Brien 등²⁶⁾의 측정 결과를 기준으로 측정된 Vita code 간의 색차 (ΔE^*)를 계산하면 C3와 A3 간에는 7.28, C3와 A4 간에는 4.61, C3와 D4 간에는 3.37, C3와 A3.5 간에는 6.38, D3와 B3 간에는 6.40, 그리고 C1과 C3 간에는 6.89로 시각적으로 구별 가능한 색차를 가지며, 이외의 Vita code 간에도 2.5에서 4.5 정도의 색차를 가진다.

모든 종류의 치아에서 모델 제작에 사용한 A2 shade는 몇몇 치아의 절단부에서만 보여졌으며, 정확한 원인은 좀더 많은 연구가 필요하겠지만 5종류의 모든 치아군에서 치아의 종류, 크기, 및 형태 등 다양한 요인에 따라 서로 다른 Shade Map을 보이고 있다.

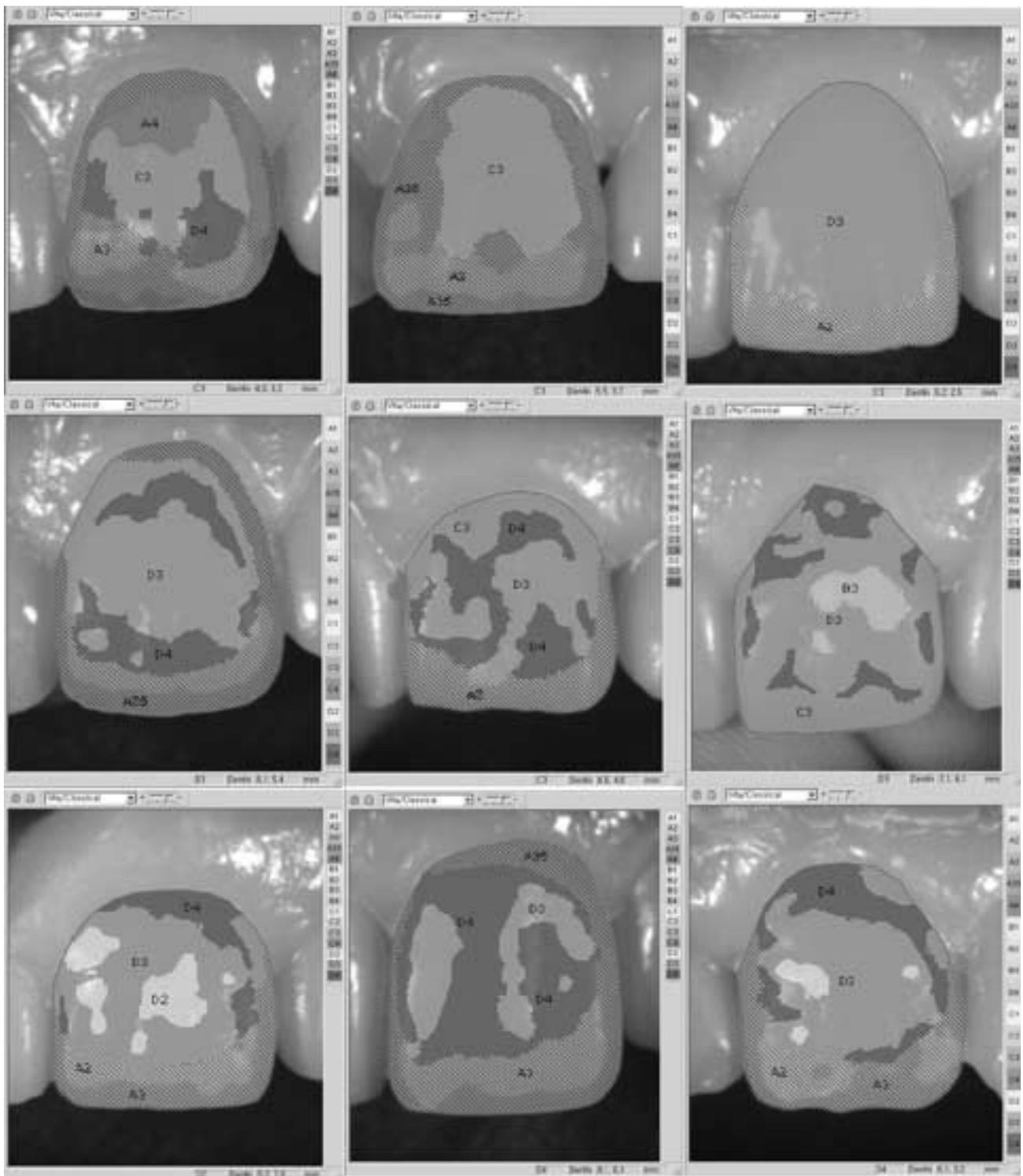


Figure 1. Shade Map of the maxillary central incisors.

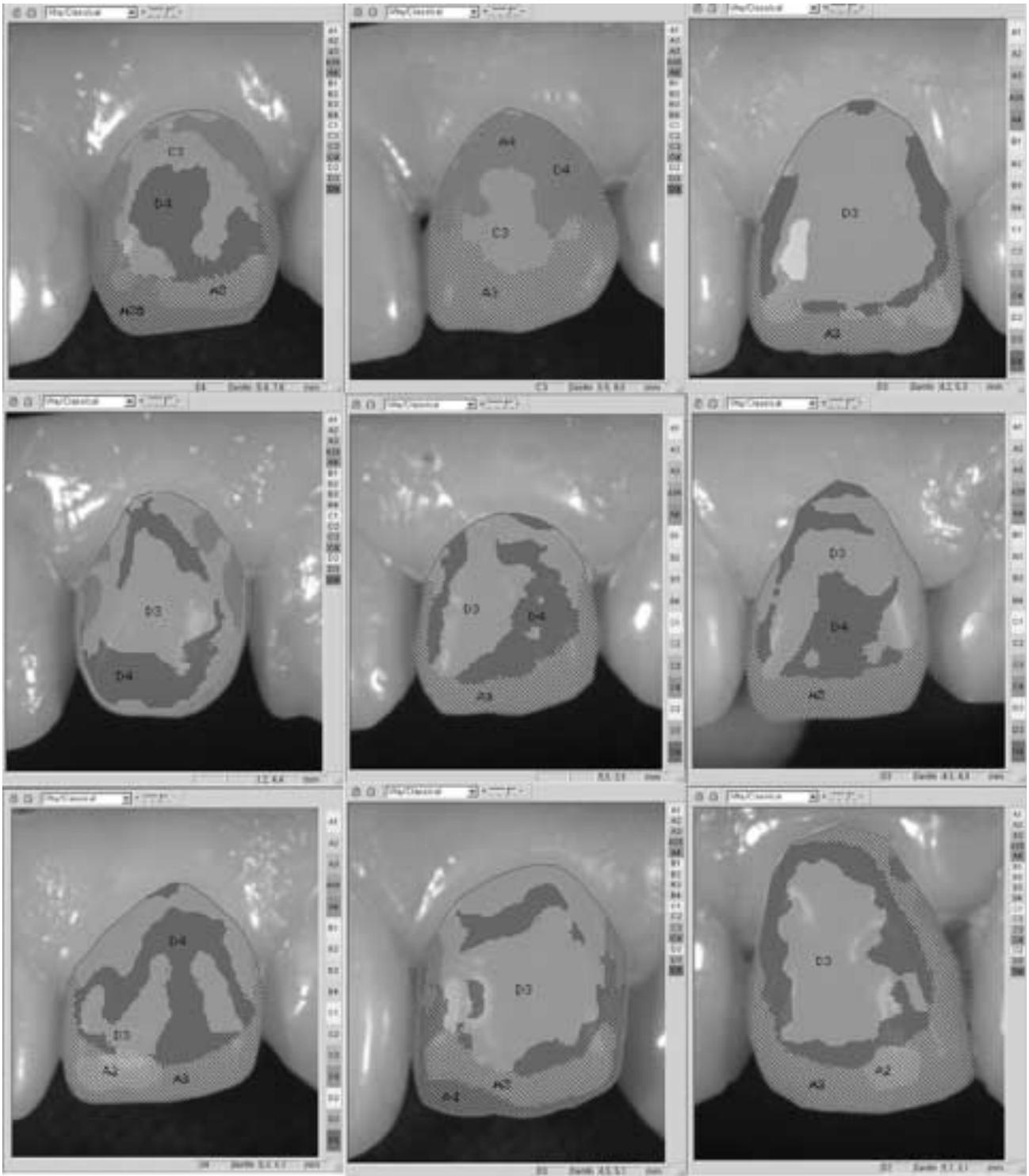


Figure 2. Shade Map of the maxillary lateral incisors.

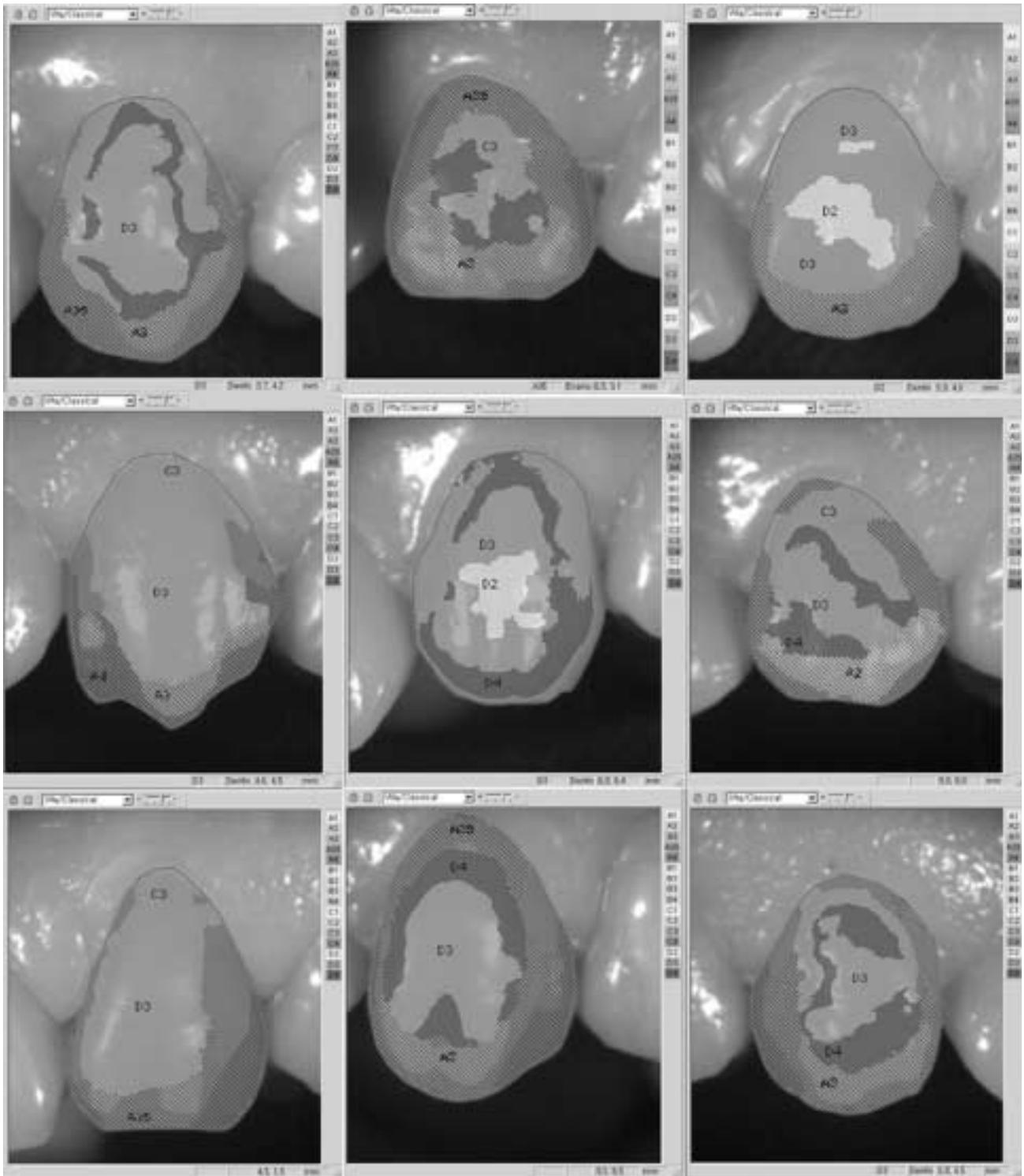


Figure 3. Shade Map of the maxillary canines.

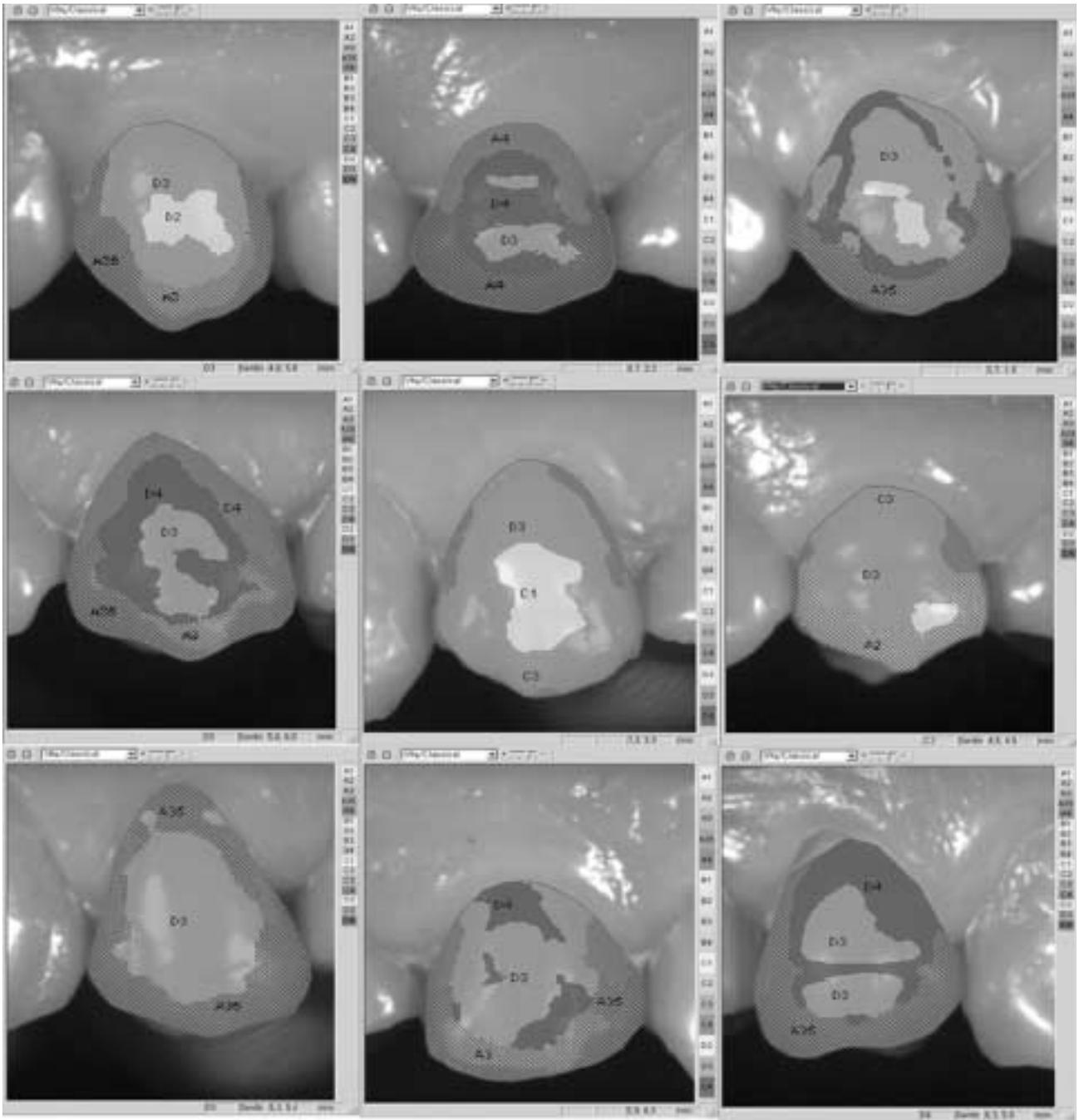


Figure 4. Shade Map of the maxillary first premolars.

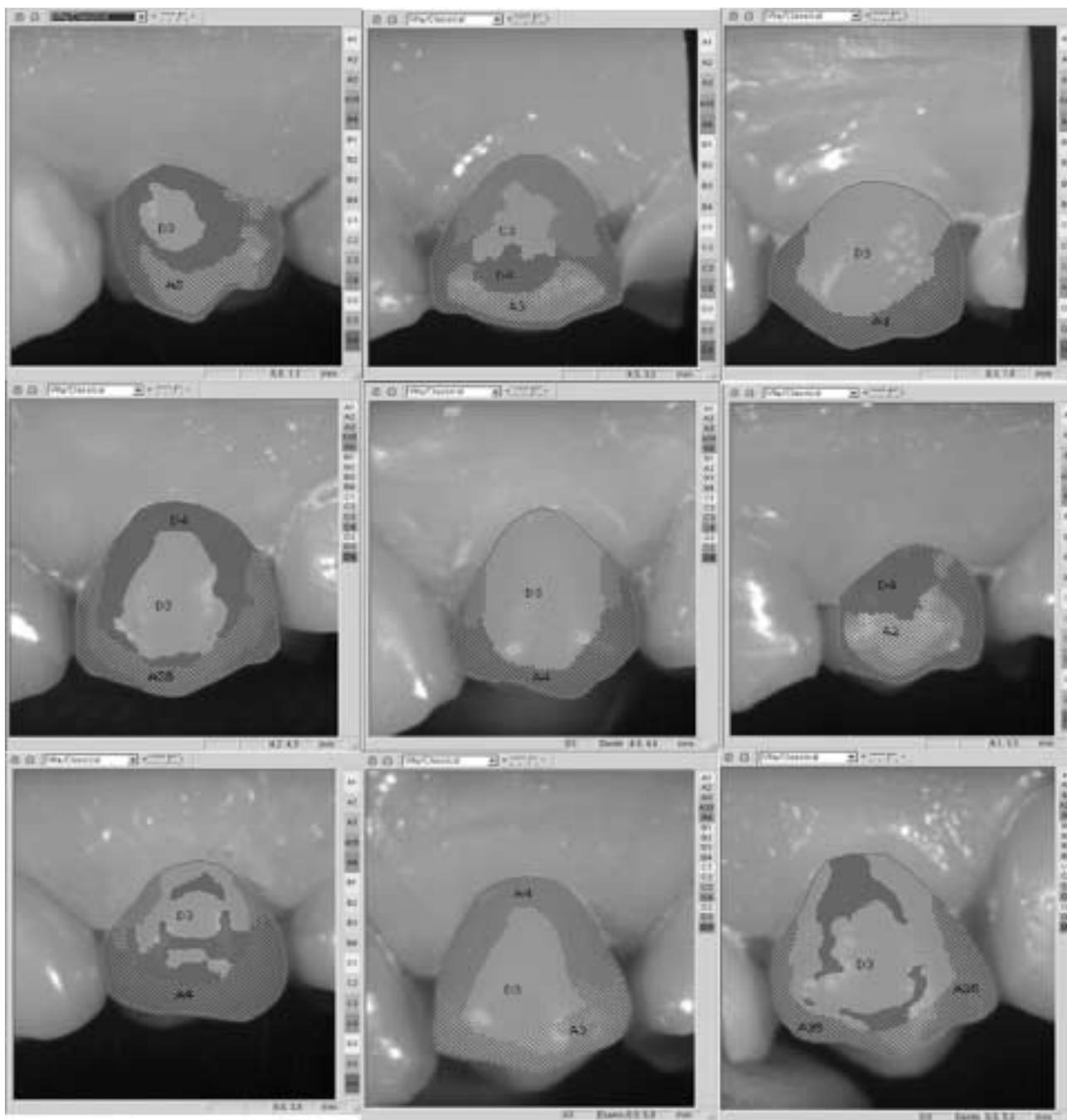


Figure 5. Shade Map of the maxillary second premolars.

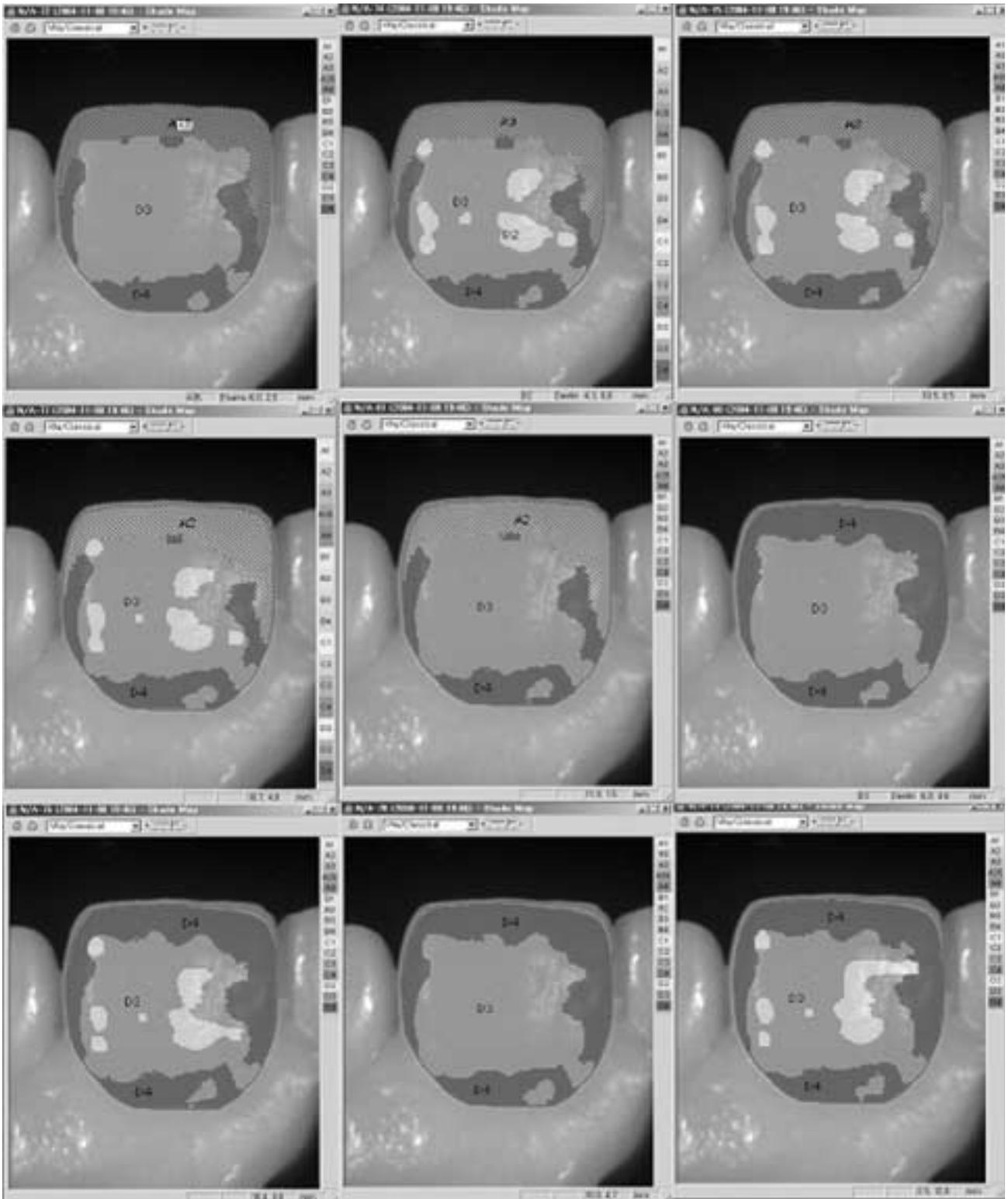


Figure 6. Repeated measurement of a central incisor.

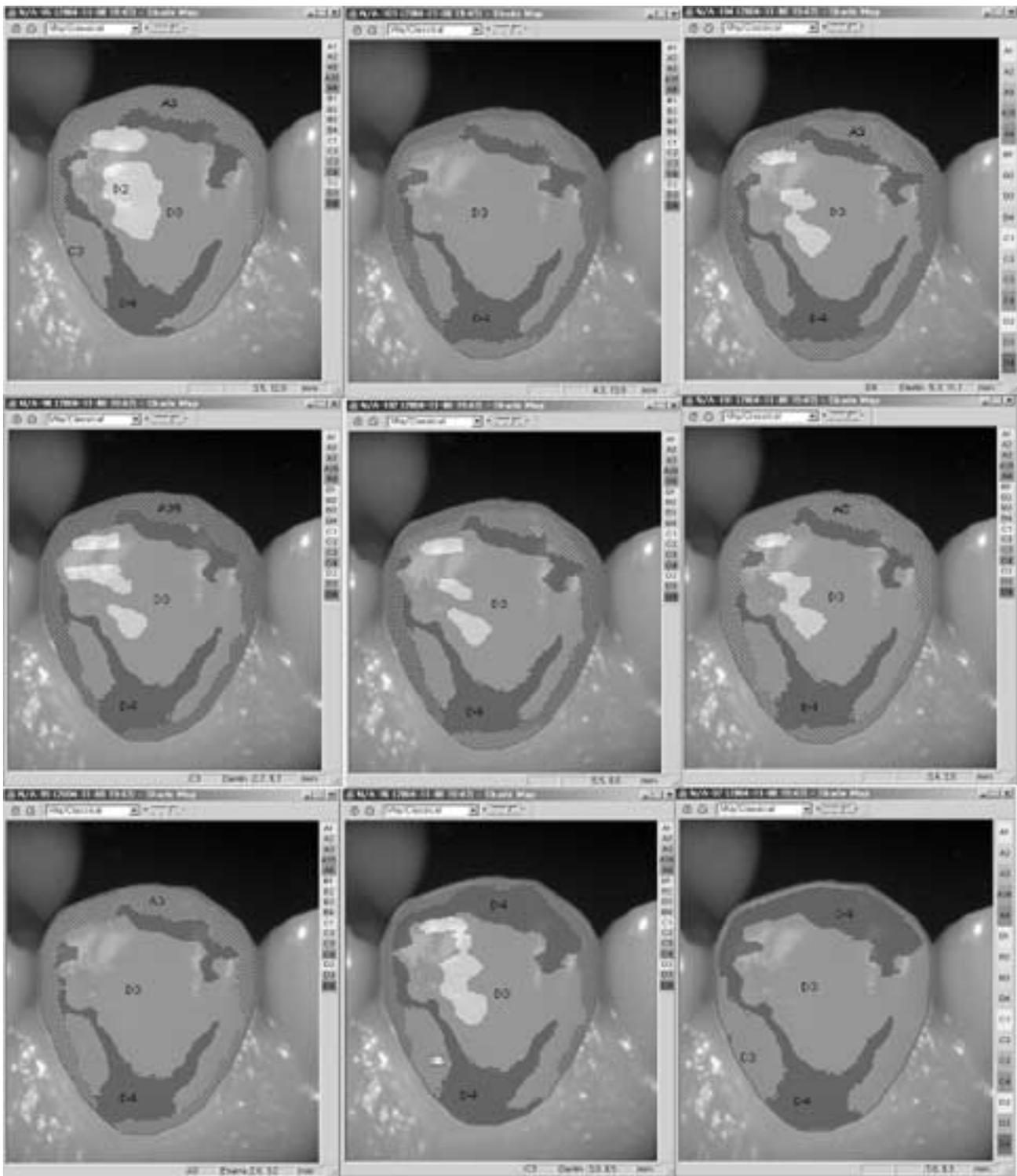


Figure 7. Repeated measurement of a canine.

2. 동일 치아의 반복 분석 결과

무작위로 선택한 2개의 치아 모델의 각 치아의 색상을 ShadeScan을 이용해 10회 반복 측정된 결과는 Figure 6,7 과 같다. 모든 치아에서 절단부 측에서 약간의 변화를 보였으며, 중앙부에 약간의 음영 형태가 나타났다.

3. 서로 다른 두께를 가진 shade guide의 분석 결과

Spectrolino를 이용한 백색 배경판과 흑색 배경판 상에서의 shade guide의 두께에 따른 L*a*b*값은 Table 2와 같다. 흑색 배경판 상에서 두께가 증가함에 따라 L*a*b*값은

증가하는 경향을 보이며, 백색 배경판 상에서 L*a*b*값은 감소하는 경향을 보인다. 동일한 shade의 shade guide에서는 3 mm 두께에서 측정된 L*a*b*값이 가장 작은 색차를 보인다 (Table 3).

ShadeScan으로 분석한 흑색 배경판과 백색 배경판 상에서 shade guide의 Shade Map은 Figure 8, 9와 같다.

3 mm 두께의 shade guide에서 1.30의 색차를 보이는 A1 shade guide는 백색 배경판과 흑색 배경판에서 각각 A1과 B1으로, 1.90의 A2는 A2와 D3로, 2.89의 A3는 B3와 C4로, 3.49의 A4는 A3.5와 A4로, 1.45의 B1은 A1과 C1으로, 1.92의 B2는 A1과 B2로, 그리고 2.15의 B3는 A2와 A3로 Shade Map 상에서 분석되어졌다.

Table 2. CIE L*a*b* value of shade guides measured on the black background and white background

Shade	Thickness	Black background			White Background		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
A1	1 mm	67.25	-2.45	1.95	75.8	0.5	9.4
	1.5 mm	67.5	-2.5	2.8	72	0	7.6
	2 mm	68	-2.35	3.2	70.2	-0.4	6.2
	3 mm	68.85	-2.2	3.95	68.9	-1.1	4.65
A2	1 mm	61.35	-2.4	5.25	71.1	1.65	13.9
	1.5 mm	62.4	-2	5.95	66.3	1.05	11.45
	2 mm	62	-2	6.7	64.25	0.4	9.45
	3 mm	62.3	-1.9	6.65	62.7	-0.4	7.75
A3	1 mm	57.85	-1.9	8.4	68.5	3.1	18.15
	1.5 mm	55.75	-1.5	9.7	62.35	2.8	16.4
	2 mm	56.3	-1.3	10	59.4	2.25	14.3
	3 mm	55.95	-1.05	10.4	57.05	1.2	11.85
A4	1 mm	50.75	-0.3	11.5	65.95	5.2	20.65
	1.5 mm	50.9	0.2	12.9	58.85	5.3	19.8
	2 mm	51	0.55	13.4	55.05	4.8	17.9
	3 mm	50.8	0.85	13.6	52.25	3.6	15.2
B1	1 mm	61.25	-3.2	0.4	72.75	-0.6	8.35
	1.5 mm	61.6	-3.3	1.2	67.8	-1.25	6.5
	2 mm	62.45	-3.4	1.7	65.5	-1.75	4.9
	3 mm	62.75	-3.3	1.9	63.15	-2.5	3.05
B2	1 mm	64.35	-3	5.35	73.7	0.4	13.75
	1.5 mm	64.45	-2.9	6.4	69.5	0	11.7
	2 mm	64.8	-2.8	7.1	67.3	-0.45	10.1
	3 mm	64.9	-2.7	7.5	65.75	-1.2	8.35
B3	1 mm	63.25	-2.6	8.3	72.9	1.65	17.3
	1.5 mm	64.1	-2.3	9.55	68.5	1.3	15.1
	2 mm	63.95	-2.1	10.15	66.45	0.85	13.4
	3 mm	64.9	-1.8	10.8	64.9	0.2	11.6

Table 3. Color difference (ΔE^*) of 3 mm thickness shade guide between measured on the black background and white background

Shade	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
ΔE^*	1.3	1.9	2.89	3.49	1.45	1.92	2.15

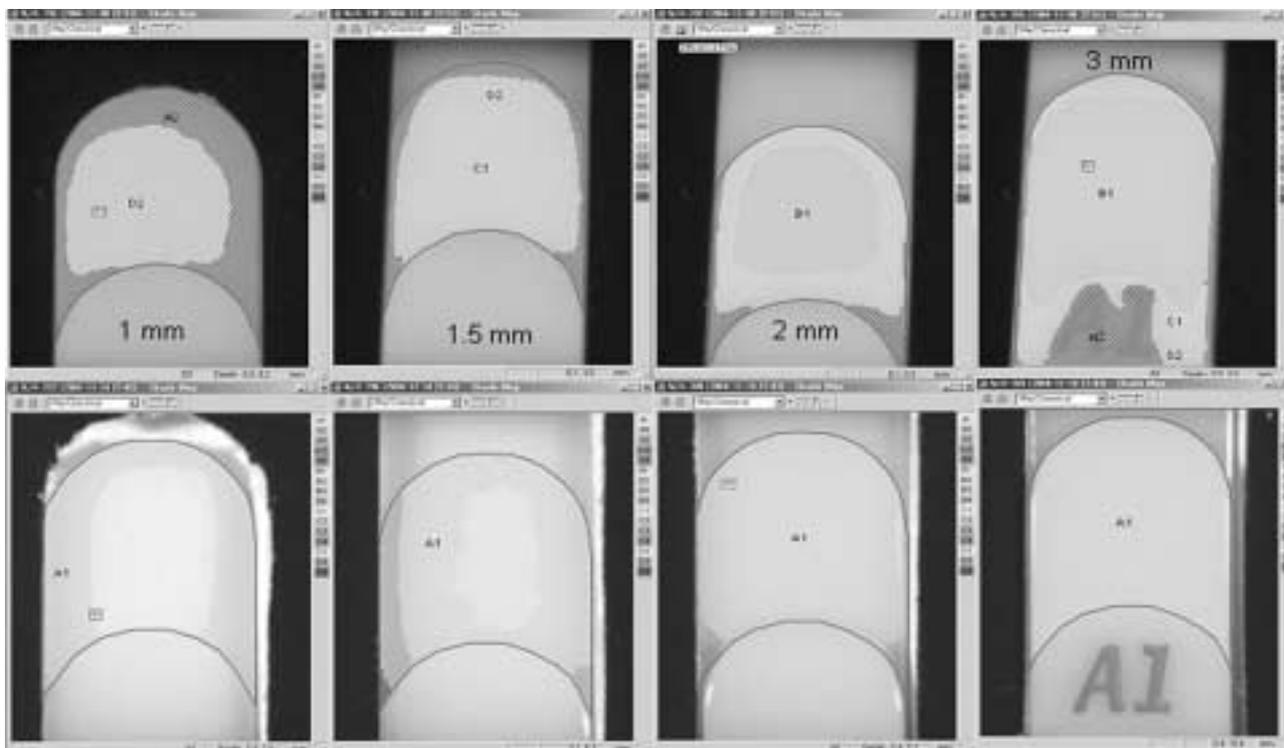


Figure 8. Shade Map of A1 shade guide on the black background (upper) and white background (below) according to thickness.

Table 4. Color difference (ΔE^*) among shade guides that analysed as same Vita code

Analysed as A1		ΔE^*	Analysed as A2		ΔE^*
	A2 (1.5W)	5.42		B3 (3W)	4.63
	A1 (2W)	8.01		B2 (1B)	7.04
	A1 (3W)	9.89		B1 (1B)	12.26
A1(1W)	B1 (1.5W)	8.6	B3(1B)	A3 (1.5W)	6.02
	B1 (2W)	11.13		A2 (2W)	2.25
	B2 (1.5W)	3.18		A2 (1B)	7.72
	B2 (3W)	8.22		A2 (1.5B)	6.56

A1 (1W) : 1 mm A1 shade guide analysed on white background

B3 (1B) : 1 mm B3 shade guide analysed on black background

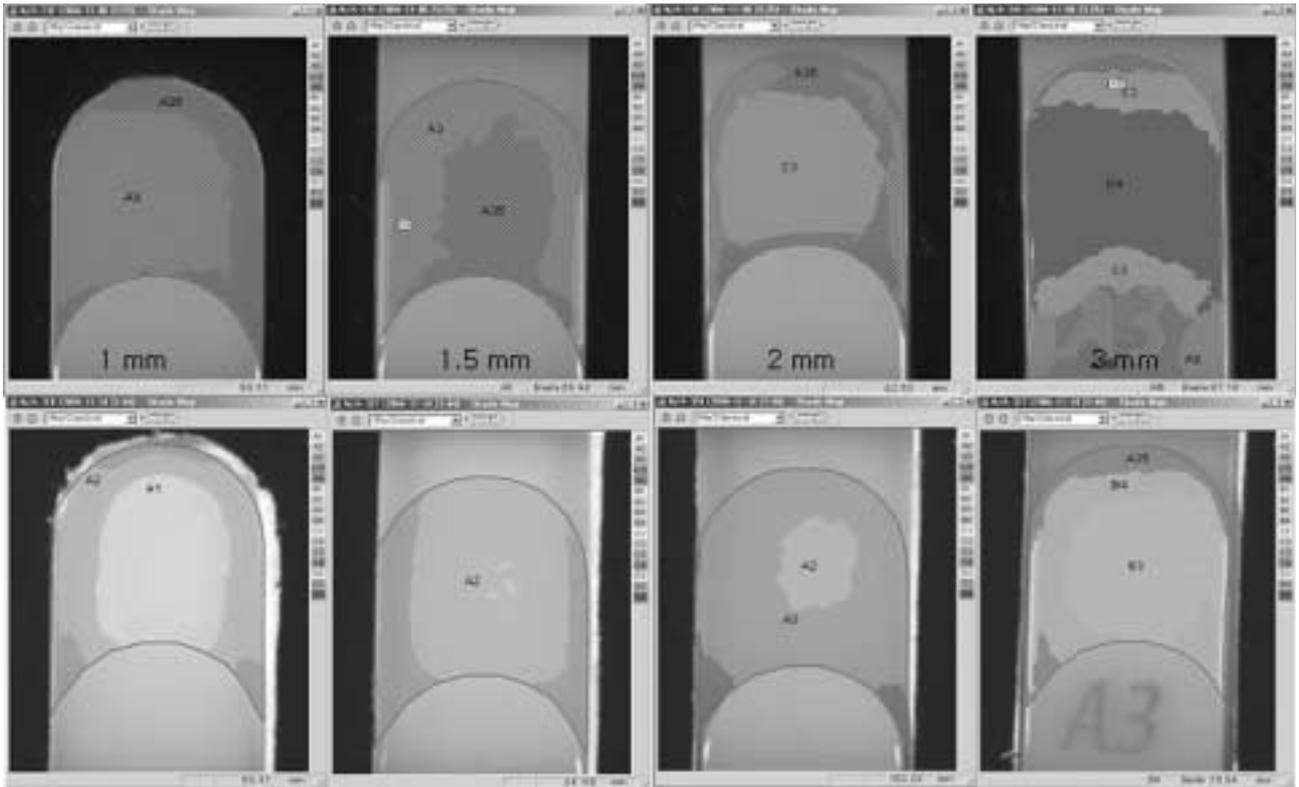


Figure 9. Shade Map of A3 shade guide on the black background (upper) and white background (below) according to thickness.

또한 두 배경판의 모든 두께에서 Shade map 상에 A1으로 분석된 각 shade guide 간의 색차는 작게는 3.18에서 크게는 11.13으로 육안으로 식별 가능한 색차를 보였다 (Table 4).

A2 shade로 분석된 shade guide들도 A1과 마찬가지로 shade guide 간에 2.25에서 12.26까지 육안으로 식별 가능한 색차를 보이고 있다.

IV. 총괄 및 고찰

인간의 눈을 통해 인지되고 판단되는 물체의 색은 절대적일 수 없다. 이는 색상을 판단하는 관찰자의 색에 대한 기준, 안구의 특성 및 색 지각에 대한 훈련 등 다양한 요인들이 색을 결정하는 과정에 관여하기 때문이다. 하지만 이러한 관찰자의 문제뿐만 아니라 물체의 구조, 구성 성분, 물체의 표면 상태 및 광원 등 다양한 외부 조건에 따라 실제 관찰자가 감지하는 색은 다르게 나타날 수 있다.

이러한 색을 판단하는 여러 가지 문제점들에도 불구하고 현재 치과 영역에서 사용하는 색상 결정 방법은 대부분 특정 재료에 맞추어 제공되는 shade guide를 치아와 직접 육

안으로 비교 판단하는 비색법을 사용하고 있다. 이런 문제점들을 해결하기 위해 많은 연구자들이 기기를 사용하여 측색하는 방법들을 제안하고 있으며^{1,3,10-14}, 실제 객관적 측색이 가능한 colorimeter 등 몇몇 기기들이 소개되고 있다.

본 연구에서는 colorimeter나 spectrophotometer와 같이 물체의 색을 직독하는 방법이 아닌 특정 광원 하에서 카메라에 의해 얻어진 영상을 연결된 컴퓨터 프로그램으로 분석하는 기기의 정확성을 평가하고자 시행하였다. 평가 방법으로는 단일 색상의 레진으로 환자로부터 채득한 인상을 이용해 모델 치아를 제작하고 이러한 디지털 분석 기기로 색을 분석한 후 분석 결과와 실제 사용 색상과의 차이를 비교하였다.

CIE (국제 조명 위원회)에서는 측광, 측색에 필요한 표준 광원의 색온도를 결정할 것을 약속하여 표준광 A, B, C, 및 D를 표준 조명으로 사용할 것을 공포하였다²⁹⁻³⁴. 표준광 A는 2854° K의 색온도를 가지며 CIE 색도판 상의 좌표는 $x = 0.4476$, $y = 0.4075$ 로서 가스가 채워진 텅스텐 전구의 점등된 빛으로서 백열 전구의 빛을 대표한다. 표준광 B는 4870° K의 색온도를 가지며 색좌표는 $x = 0.3485$, $y = 0.3518$ 로서 표준광 A에 Davis-Gibson 필터를 첨부하여

만든 빛으로서 평균 태양의 직사광을 대표한다. 표준광 C는 6770°K의 색온도를 가지며, 표준광 A에 C종의 Davis-Gibson 필터를 첨부하여 만든 빛으로서 푸른 하늘을 포함하는 평균 주광을 대표한다. 표준광 D는 자외역을 포함한 여러 가지 상태의 주광을 가리키며, 그 중 D₆₅는 약 6500°K의 색온도를 가지는 자외역을 포함한 평균적 주광을 나타낸다.

본 연구에 사용한 ShadeScan은 통상의 할로겐램프를 사용하며 기기의 설명서에 광원의 특성에 대한 설명이 없다. 이는 색상 재현 시 metamerism과 같은 광원에 의한 오류³⁵⁾가 발생될 수 있으리라 사료된다.

그리고 사용한 재료의 색상이 A2 shade였지만 이미 거론하였듯이 Vita shade에 기초한 많은 제품들의 색상이 동일한 code를 사용하면서도, 실제 기기에 의한 측정 결과는 다르게 보고되고 있는 문제점을 고려하더라도, Shade Map에서 일정한 다른 code로 분석되지 않은 것은 이 기기의 색상 분석용 기기로서의 정확도에 대한 문제점을 제기할 수 있다고 생각한다. 그리고 비록 표면 광택, 두께 차이에 의한 배경색의 영향, 치질과 다른 광학적 특성 등 모델 치아가 갖는 문제점들을 고려하더라도 치아의 크기, 외형, 및 표면의 형태 등에 따라 서로 다른 색상 code로 표현되는 Shade Map은 치과용 도재나 복합 레진의 투명도를 적절히 응용할 수 있는 수복물을 제작할 때와 PFM과 같이 배면이 불투명한 수복물을 제작할 때 서로 다른 기준을 적용해야 하리라 생각된다.

하지만 비교적 높은 재현성을 가진 기기임은 본 연구 결과에서도 보여졌다. 이는 치과 의사와 기공사, 혹은 환자와의 정보 전달을 용이하게 하는 중요한 장점이라 생각되며, 이러한 장점을 잘 활용한다면 과거 정보 전달 과정에서 발생되었던 문제는 충분히 극복할 수 있을 것이다. 그렇지만 이러한 색상 분석 기기의 가장 중요한 기능은 정확한 색상 분석 능력일 것이다.

인간의 눈으로 구분 가능한 색차는 spectrophotometer나 colorimeter로 측정된 결과를 토대로 $\Delta E^* = 3 - 4$ 를 기준으로, 그 이상이면 구분이 가능하다고 보고되고 있다^{27,28)}. 하지만 본 연구 결과 동일한 Vita code로 분석된 서로 다른 shade guide간의 색차가 spectrophotometer로 측정시 작게는 2.25에서 크게는 12.26으로 육안으로도 충분히 식별 가능한 색차를 보이고 있다. 비록 측정된 CIE L*a*b* 값이 O'Brien 등²⁶⁾이 보고한 색상 범위보다 낮은 L*값을 보이고, a*와 b*값도 일치하지 않지만 이 기기에서 적용하고 있는 Vita shade의 색상 범위가 어떠한 정보를 바탕으로 분석되고 있는지, 그리고 Vita code간에 허용 색차 범위가 어느 정도 알 수 없어 본 연구에 사용한 spectrolino의 특성을 반영하지는 못하였지만, 측정치로 사용한 CIE L*a*b*값은 각 측정치간에 균등 보도를 가지도록 제안된

색체계이다. 따라서 환산된 색차도 절대치로 인정될 수 있다.

이상의 결과들을 토대로 ShadeScan을 평가한다면 비교적 높은 재현 능력은 가지고 있지만, 색상 분석 능력은 신뢰하기 어렵다고 사료되며, 차후 더 많은 연구와 정확한 평가가 필요하리라 생각된다. 그렇지만 이러한 방법은 과거 shade guide와 치아를 직접 눈으로 비교하던 방법에 비하면 많은 발전이 이루어졌다고 생각되며, 이러한 기기가 가지는 장점을 적절히 활용하는 방법의 모색도 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 치과용 디지털 색상 분석기기 중 하나인 ShadeScan (CYNOVAD, Montreal, Canada)의 정확성을 평가하였다. A2 색상의 임시 크라운 제작용 자가중합형 레진인 Luxatemp Automix Plus (DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Germany)로 치아 모델을 완성하고, ShadeScan을 이용해 각 치아의 영상을 얻었다. 이 영상을 컴퓨터의 ShadeScan 프로그램으로 분석하여 각 치아의 Vita-classic shade에 대한 Shade Map을 얻었다. 각 치아의 색상 분석 결과를 평가하였으며, 동일한 치아군들 간의 분석 결과를 비교하였다. 그리고 측정 결과의 재현 정도를 평가하기 위해 2개의 치아 모델을 임의로 선택하여 각 치아마다 10회의 색상 측정을 시행하여 분석 결과를 비교하였다. 또한 분석된 영상의 동일 shade 간의 색차를 확인하기 위해 광중합 복합레진인 Gradia Direct (GC, Tokyo, Japan)의 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, 및 3 mm의 두께로 제작된 shade guide의 CIE L*a*b* 값을 백색과 흑색 배경판 상에서 spectrophotometer (Spectrolino, GretagMachbeth, USA)로 측정하고, ShadeScan에 의해 동일한 shade로 분석된 shade guide 간의 색차를 계산하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 모든 치아에서 모델 제작 재료와 동일한 A2 색상으로 분석된 경우는 없었으며, 개개의 치아에서 전체 순면이 동일한 색상으로 분석된 예는 없었다.
2. 동일한 치아군에서 치아의 크기, 형태, 순면의 굴곡 등에 따라 서로 다른 색상 분포를 보였다.
3. 재현성 평가에서 각 치아의 중앙부는 비교적 일정한 재현성을 보였으나, 절단부와 주변 부위는 재현성이 낮았다.
4. Shade map 상에서 동일한 shade로 분석된 shade guide 간에 육안으로 식별 가능한 색차를 보였다.

이상의 결과는 치과용 디지털 색상 분석 기기는 비록 높은 재현 능력은 가지고 있지만 정확성에 오류가 있음을 시사하며, 따라서 이러한 기기를 이용한 색상 분석 시 좀 더 세밀한 주의와 다른 방법의 추가 사용이 필요하리라 사료된다.

참고문헌

1. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II : Practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent* 29:556-566, 1973.
2. Paravina RD, Power JM, Fay RM. Color comparison of two shade guides. *Int J Prosthet* 15:73-78, 2002.
3. 황인남, 오원만. 발거된 자연치와 shade guide의 색체계측기를 이용한 색상 비교. *대한치과보존학회지* 22:769-781, 1997.
4. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int* 16:47-58, 1985.
5. Grajower R, Revah A, Sorin S. Reflectance spectra of natural and acrylic resin teeth. *J Prosthet Dent* 36:570-579, 1976.
6. Bell AM, Kurzeja R, Gemberg MG. Ceramometal crowns and bridges: focus on failures. *Dent Clin North Am* 29:763-778, 1985.
7. O'Brien WJ, Boenke KM, Groh CL. Coverage errors of two shade guides. *Int J Prosthet* 4:45-50, 1991.
8. Cernavin I. Effect of chlorine-containing disinfecting compounds on shade guides made of acrylic resin. *J Prosthet Dent* 75:574, 1996.
9. Sykora O. Fabrication of a posterior shade guide for removable partial dentures. *J Prosthet Dent* 50:287-288, 1983.
10. Lemire PA, Burk B. Color in dentistry. Hartford, CT J.M Ney Co., 1975.
11. Grajower R, Revah A, Sorin S. Reflectance spectra of natural and acrylic teeth. *J Prosthet Dent* 36:570-579, 1976.
12. Macentee M, Lakowski R. Instrumental color measurement of vital and extracted teeth. *J Oral Rehab* 8:203-208, 1981.
13. Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent* 58:535-542, 1987.
14. 박해균, 정재현. 한국인 자연치의 색에 관한 연구. *대한치과보철학회지* 26:185-195, 1988.
15. 조경모, 신동훈. 구내용 분광광도계를 이용한 자연치의 색상 분석. *대한치과보존학회지* 23:223-235, 1998.
16. Freedman G. Communicating color. *Dentistry Today* 20:78-80, 2001.
17. Chu SJ, Tarnow DP. Digital shade analysis and verification: A case report and discussion. *Pract Proced Aesthet Dent* 13:129-136, 2001.
18. Chu SJ. Precision shade technology: Contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent* 14:79-83, 2002.
19. Paravina RD, Powers JM. Esthetic color training in dentistry. St. Louis, Missouri, Mosby Inc., p165-174, 2004.
20. Clark EB. An analysis of tooth color. *J Am Dent Assoc* 18:2093-2103, 1931.
21. Clark EB. Tooth color selection. *J Am Dent Assoc* 20:1065-73, 1933.
22. Miller LL. Shade matching. *J Esthet Dent* 5:143-153, 1993.
23. Miller LL. Organizing color in dentistry. *J Am Dent Assoc* (Special Issue) December:26-40, 1987.
24. Hayashi T. Medical color standard. V. Tooth crown. Tokyo, Japan Color Research Institute, 1967.
25. Goodkind RJ, Loupe MJ. Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 1988. *J Prosthet Dent* 67:713-7, 1992.
26. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A one-dimensional color order system for dental shade guides. *Dent Mater* 5:371-374, 1989.
27. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 68:1760-1764, 1989.
28. Gross MD, Moser JB. A colorimetric study of coffee and tee staining of four composite resins. *J Oral Rehab* 4:311-322, 1977.
29. 황인남, 이광원. 광중합복합레진의 두께에 따른 투명도 차이가 수복물의 색상에 미치는 영향. *대한치과보존학회지* 24:604-613, 1999.
30. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimeter. *J Dent Res* 68:819-822, 1989.
31. Goodkind RJ, Keenan KM, Schwabacher WB. A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurement of 100 natural teeth. *J Prosthet Dent* 53:105-9, 1985.
32. Schwabacher WB, Goodkind RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guide. *J Prosthet Dent* 64:425-431, 1990.
33. Yeh CL, Powers JM, Miyagawa Y. Color of selected shades of composites by reflection spectrophotometry. *J Dent Res* 61:1176-1179, 1982.
34. Robertson AR. Colorimetry. *Rep Prog Phys* 41:471-510, 1978.
35. Thornton WA. How strong metamerism disturbs color spaces. *Color Research & Application* 23:402-407, 1998.
36. 박은주. 색채 조형의 기초. 제2판, 서울, 미진사, p 56-194, 1996.
37. 박도양. 실용색채학. 증보판, 서울, 반도출판사, p 99-120, 1992.
38. 한국 공업 규격. KS A 0065.

국문초록

치과용 디지털 색상 분석용 기기의 정확성과 재현 능력에 대한 평가

정중재 · 박수정 · 조현구 · 황윤찬 · 오원만 · 황인남*

전남대학교 치과대학 보존학교실, 치의학연구소

본 연구에서는 치과용 디지털 색상 분석기기 중 하나인 ShadeScan (CYNOVAD, Montreal, Canada)의 색상 분석의 정확성과 재현 능력을 평가하였다. 균일한 치아 배열을 가진 20대 성인 남자 8명과 여자 8명의 상악 인상을 고무인상재 (Exaflex, GC, Japan)를 이용하여 채득하고, 인상에 A2 색상의 임시 크라운 제작용 자가중합형 레진을 주입하여 치아 모델을 완성하고, ShadeScan을 이용해 각 치아의 영상을 얻어 컴퓨터의 ShadeScan 프로그램으로 분석하였다. 그리고 측정 결과의 재현 능력을 평가하기 위해 2개의 치아 모델을 임의로 선택하여 각 치아마다 10회의 색상 측정을 시행하여 분석 결과를 비교하였다. 또한 분석된 영상의 동일 shade 간의 색차를 확인하기 위해 광중합 복합레진인 Gradia Direct (GC, Tokyo, Japan)의 shade guide의 CIE L*a*b* 값을 백색과 흑색 배경판 상에서 spectrophotometer (Spectrolino, GretagMacbeth, USA)로 측정하고, ShadeScan에 의해 동일한 shade로 분석된 shade guide간의 색차를 계산하여 다음의 결과를 얻었다.

모든 치아에서 모델 제작 재료와 동일한 A2 색상으로 분석된 경우는 없었으며, 개개의 치아에서 전체 순면이 동일한 색상으로 분석된 예는 없었다. 또한 동일한 치아군에서 치아의 크기, 형태, 순면의 굴곡 등에 따라 서로 다른 색상 분포를 보였다.

재현성 평가에서 각 치아의 중앙부는 비교적 일정한 재현성을 보였으나, 절단부와 주변 부위는 재현성이 낮았으며, 동일한 shade로 분석된 shade guide 간에는 3 이상의 색차 (ΔE^*)를 보였다.

이상의 결과는 치과용 디지털 색상 분석기기는 비록 높은 재현 능력은 가지고 있지만 정확성에 오류가 있음을 시사하며, 따라서 이러한 기기를 이용한 색상 분석 시 좀 더 세밀한 주의와 다른 방법의 추가 사용이 필요하리라 사료된다.

주요어: 치아 색상, 디지털 색상, 색상분석, 색상 재현능력, ShadeScan