

미백제가 기질이 다른 복합레진의 색 변화에 미치는 영향

박완기¹, 강아로미¹, 손성애¹, 허복¹, 권용훈², 박정길^{1*}

¹부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실, ²부산대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실

Effect of bleaching agents on the color change of different based composite resins

Wan Ky Park¹, Aromi Kang¹, Sung-Ae Son¹, Bock Hur¹, Yong Hoon Kwon², Jeong-Kil Park^{1*}

Department of conservative dentistry¹, Department of Dental Material², School of Dentistry, Pusan National University, 626-770, Yangsan, Korea

(Received: Jun 18, 2013; Revised: Jun 24, 2013; Accepted: Jun 24, 2013)

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the color change of a silorane-based and two methacrylated-based resin composites upon exposure to bleaching agents, distilled water (control), 15% carbamide peroxide and 30% hydrogen peroxide for 3 weeks. The colors of all specimens before and after storage in the bleaching agents were measured by a spectrophotometer based on CIE Lab system, and the color differences thereby calculated. Data was statistically analyzed by ANOVA and Tukey's test. The mean color change in silorane-based resin was significantly higher than that in methacrylate-based resin composites regardless of bleaching agents ($p < 0.05$). The groups treated with 15% carbamide peroxide and 30% hydrogen peroxide showed significantly different color change compared with the control group ($p < 0.05$). In conclusion, the silorane-based resin composites exhibited more color change (ΔE) after exposure to the bleaching agents.

KEY WORDS : Bleaching agent, color change, methacrylate-based composite resin, silorane-based composite resin

서 론

치아미백시술은 치과 분야에서 흔히 사용되는 보존적 심미 술식이다. 최근 들어 미백제를 사용하여 자연치의 심미적인 개선을 얻고자 하는 술식에 대한 관심이 점차 증가되고 있다. 치아를 밝게 하기 위해 사용되는 미백제로는 과붕산나트륨(sodium perborate), 과산화요소(carbamide peroxide), 과산화수소(hydrogen peroxide) 등을 들 수 있고 변색의 정도와 미백 방법에 따라 다양한 농도를 사용하고 있다.

미백제의 미백기전(mechanism)이 완전히 설명되지는 못하지만 과산화수소는 물질과 상호작용하여 산소 자유 라디칼(oxygen free radicals) 또는 반응성 산소 분자들(reactive oxygen molecules)로 분해된다(Carlsson, 1987; Frysh, 1995; Kihn, 2007). 이때 형성된 반응성 분자들

(reactive molecules)은 변색(stain)과 관련된 분자에 침투하거나 직접 접촉하여 상호작용하면서, 변색과 관련된 분자의 구조를 변하게 하여 밝은 색을 나타내게 한다.

미백제는 치아의 심미성은 향상시키지만 심미 수복재인 복합레진과 접촉 시 연화효과(softening effect)로 인해 복합레진의 물리적 화학적 성질을 변화시킬 수 있다(Villalta 등, 2006; Li 등, 2009). 몇몇 연구들은 복합레진의 표면 거칠기, 미세경도, 색 안정성에 있어서 미백제의 영향에 대해 연구하였다(Monaghan 등 1992; Garcia-Godoy 등, 2002; Turker와 Biskin, 2002; Canay와 Cehreli, 2003; Cehreli 등, 2003; Schemehorn 등, 2004). 이들의 결과에 따르면, 일반적으로 미백제와 접촉한 복합레진에서 미세경도가 감소하고, 표면거칠기가 증가하였으며, 약간의 색 변화가 관찰되었다.

특히 미백제와 접촉한 후 복합레진의 색 안정성에 대해 평가한 연구에서, Hubbezoglu 등(2008)은 16%와 30%의 과산화요소 미백제는 미세입자형(microfilled) 복합레진의 색에 아무런 영향을 미치지 않았지만 35%의 과산화요소 미백제는 복합레진의 색에 상당한 변화를 나타냈다고 보고

* 교신저자 : 경상남도 양산시 물금읍 범어리 부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실, 박정길

Acknowledgements: This study was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University

했다. 또한 Rao 등(2009)의 연구 결과에 의하면 글라스 아이오노머 시멘트(glass-ionomer cement), 미세입자형 복합레진 그리고 나노입자형(nanofilled) 복합레진, 이 세 가지 수복 재료에 세 가지 다른 농도의 과산화요소 젤로 미백했을 때 글라스 아이오노머 시멘트와 미세입자형 복합레진에서 가장 심한 색변화를 보였다고 보고했다. 반면 권 등(2010)의 연구에서는 나노입자(nanofilled)를 포함한 복합레진의 색변화에 있어 미백제의 영향에 대해 살펴보았는데 나노입자형 복합레진의 색변화에 있어 미백제의 영향이 미미하다고 보고하였다.

최근 기존의 methacrylate 기질 복합레진과는 전혀 다른 기전으로 중합되어 최소의 중합수축을 보이는 silorane 기질 복합레진이라는 새로운 복합레진이 소개되었다(Weinmann 등, 2005; Eick 등, 2007; Papadogiannis 등, 2009; Lien 과 Vandewalle, 2010). Silorane은 siloxane 과 oxirane 분자의 복합물이다. Siloxane 분자는 소수성(hydrophobic)이며 복합레진의 물이나 수용성 착색용액의 흡수성이 낮다. Oxirane 분자는 ring 구조가 열리면서 결합하는 "cationic ring opening"기전으로 중합반응이 일어나도록 하여 중합수축을 줄이도록 개발되었다(Ilie 와 Hickel, 2006).

현재까지 silorane 기질 복합레진의 색 변화에 대한 미백제의 효과를 평가한 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구의 목적은 silorane 기질 복합레진의 색 변화에 대한 미백제의 영향을 알아보기 위함이다. 비교를 위해서 두 종류의 methacrylate 기질 복합레진도 평가해 보았다.

재료 및 방법

1. 실험재료 (Bleaching agents and resin composites)

본 연구를 위해 두 종류의 methacrylate 기질 복합레진(Filtek Z250, Filtek Z350, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)과 한 종류의 silorane 기질 복합레진 (Filtek P90, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)을 선택하였고, 모두 A2 색을 사용하였다. 이번 실험에 사용한 복합레진의 구성 성분을 Table 1에 나타내었다.

실험을 위해 각각 다른 3가지 용액을 준비하였다: 중류수(DW), 15% 과산화요소(Opalescence F, Ultradent, South Jordan, UT, USA)(CP), 30% 과산화수소(Junsei, Tokyo, Japan)(HP).

2. 시편제작 (Specimen preparation)

3가지 복합레진으로 아크릴 몰드를 이용하여 30개의

원통형 복합레진 시편을 준비하였다. 각각의 시편은 지름 8 mm, 높이 2 mm가 되도록 만들었다. 복합레진은 제조사의 지시에 따라 조작되고 중합되었다. 편평한 상부와 바닥의 표면을 위해 얇은 유리 슬라이드가 사용되었다. 광중합은 시편으로부터 약 1 mm 떨어진 곳에서 20초 동안 LED 광조사기 (BluePhase, Ivoclar Vivadent Inc., Amherst, NY, USA; light intensity of 1200 mW/cm²)로 광중합하였다. 그 후 시편은 24시간 동안 상온의 증류수에 저장되었다.

3. 색 측정 (Color measurement)

30개의 시편은 3가지 그룹(n=10)으로 나누어졌다. 모든 시편 그룹의 L^* , a^* 와 b^* 값은 CIE (Commission Internationale d'Eclairage) $L^*a^*b^*$ 의 분광광도계(spectrophotometer, CM-3600d, Minolta, Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다.

중합 24시간 후 첫 번째 색 측정을 하고 난 뒤 시편을 3주 동안 3가지 실험 용액(DW, CP, HP)에 담갔다. 3가지 실험 용액은 매일 새로운 용액으로 바꾸었다. 실험 용액을 바꾸는 동안 시편은 닿지 않고 흐르는 물에 씻었다. 3주 후 시편을 흐르는 물로 수세하고 건조시켰다. 3주 후 시편의 색은 분광광도계를 사용하여 앞에서 언급된 방법으로 측정되었다.

4. 색 변화(ΔE)를 측정을 위한 계산 (Calculation of color change)

색 변화(ΔE)는 다음의 공식을 이용하였다.

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

ΔL^* , Δa^* 와 Δb^* 는 3주 전과 후의 L^* , a^* 와 b^* 값의 차이를 나타낸다. L^* 는 밝기에 따른 명도의 정도를 나타내며 a^* 는 적색(for $+a^*$ value) - 녹색(for $-a^*$ value) 축, 그리고 b^* 는 황색(for $+b^*$ value) - 청색(for $-b^*$ value) 축을 나타낸다.

5. 통계 분석 (Statistical analysis)

색 변화는 ANOVA와 통계학 소프트웨어(SPSS, Version 18.0K, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용한 Tukey's test로 분석하였다. p 값은 <0.05 일 때 유의하게 차이는 것으로 간주하였다.

결 과

1. 색 측정 값

(Color coordinates of resin composites)

L^* , a^* 와 b^* 측정 값과 ΔL^* , Δa^* 와 Δb^* 계산 값은 Table 2와 3에 나타내었다.

1) ΔL^* (brightness) values

L^* 은 명도를 나타내며 0에서 100까지 수로 표시한다. 모든 시편에서 ΔL^* 값은 -0.09에서 -1.55범위 사이의 값을 나타내었다. 미백제의 종류와 레진 종류에 관계없이 3주 전, 후의 명도 차이 값은 경미했고(slight) 비슷한 값들을 보였다.

2) Δa^* (change along the red-green axis) values

a^* 는 적색-녹색 정도를 나타내는 지표이며, -60부터 +80까지의 숫자로 표시한다. 값이 클수록 적색을, 값이 적을수록 녹색을 나타낸다. Δa^* 의 양수부호 값은 적색쪽으로 음수부호 값은 녹색쪽으로 변화함을 나타낸다. 모든 시편에서 Δa^* 는 -0.71에서 0.22범위 사이의 값을 나타내었고 경미한 변화(slight change)를 나타내었다.

3) Δb^* (change along the yellow-blue axis) values

b^* 는 황색-청색 정도를 나타내는 지표로 -80부터 +60까지의 숫자로 표시한다. 값이 클수록 황색을, 값이 적을수록 청색을 낸다. Δb^* 의 양수부호 값은 황색쪽으로 음수부호 값은 청색쪽으로 변화함을 나타낸다. 모든 시편에서 Δb^* 는 -0.68에서 -3.48의 값을 보였고 다른 색 변화 값들에 비해 가장 큰 변화를 보였다. 특히 Filtek P90의 경우, -2.18에서 -3.48의 범위 값으로 Filtek Z250이나 Filtek Z350의 값들의 범위(-0.68에서 -2.42)보다 컸다.

2. 색 변화 값

(Color change (ΔE) of each resin composite)

복합레진과 실험용액에 따른 색 변화 값을 Table 4에 표시하였고, 모든 시편에서 색 변화 값은 1.13에서 3.52 사이의 값들을 나타내었다. 레진 종류에 관계없이 15% 과산화요소와 30% 과산화수소 용액에서 증류수보다 유의하게 큰 값을 나타내었다($p < 0.05$). 15% 과산화요소와 30% 과산화수소 용액의 색 변화 값 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

또한 실험 용액과 관계없이 silorane 기질 복합레진인 Filtek P90이 methacrylate 기질 복합레진인 Filtek Z250과 Filtek Z350보다 유의하게 큰 색 변화 값을 나타내었다($p < 0.05$). Filtek Z250과 Filtek Z350의 색 변화 값 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

고 찰

변색된 치아의 심미적 치료 방법으로 최근 10년간 치아 미백제의 사용이 증가하였다. 치아 미백을 위한 많은 미백제들이 소개되었다. 그 중에서 과불산나트륨, 과산화요소와 과산화수소가 가장 널리 사용되며 단독 또는 함께 섞어서 사용되고 있다. 과불산나트륨은 증류수와 함께 사용하는데, 이는 과산화수소를 생성할 수 있기 때문이다. 과산화요소는 요소(urea)와 과산화수소로 분해된다. 따라서 과산화요소는 종종 urea hydrogen peroxide로 언급되기도 한다(Kwon 등, 2010).

과산화수소는 수복재료나 치아에 작용하여, 분해된 후에 자유 라디칼(free radical), 반응성 산소분자들(reactive oxygen molecules)과 과산화수소 음이온을 형성한다(Carlsson, 1987; Frysh, 1995). 변색된 분자의 정확한 분해 경로는 분명하지 않으나 미백은 이러한 반응성 분자들(reactive molecules)에 의해 이루어진다. 이 반응 분자들은 어두운 색상의 긴 사슬의 변색(stain) 관련 분자와 반응하여 이를 작고 더 밝은 색의 분자로 나눈다. 변색 관련 물질은 탄소 이중결합 복합체로 구성된다. 이러한 이중결합은 가시광선을 흡수하였을 때 어두운 색을 나타낸다. 하지만 반응성 분자에 의해 이중결합이 깨지면, 가시광선을 흡수하지 않고 결과적으로 밝은 색을 나타내게 된다(Kihn, 2007). 일반적으로, 미백된 물질의 밝기정도(whiteness)는 사용된 미백제의 농도와 접촉 기간, 물질과 접촉한 횟수에 좌우된다. 이 때 변색 관련 분자와 반응성 분자 간의 직접적인 상호작용이 미백 결과에 영향을 주는 가장 중요한 요인이다.

많은 경우에서, 치아의 변색은 음식, 음료, 흡연과 같은 외부 요인에 기인한다. 외부적 요인으로 변색된 부분은 일반적으로 표면에 한정되며 외상 또는 기계적 스트레스에 의해 형성된 결함이나 치아 구조에 내재된 미세 통로를 통해서 변색 관련 분자가 통과하여 생긴다. 일반적으로 미백은 치아에서 더 쉽고 빠르게 이루어질 수 있다. 반면 복합레진에 있어 색은 기질내 염색소(dye)나 색소(pigment) 물질에서 비롯된다. 이러한 물질이 전체 복합레진 기질(resin matrix) 내에 균일하게 분포되어 있

다. 복합레진이 중합되고 나면 중합된 기질 분자와 필러 입자가 긴밀히 교차 결합되어 있기 때문에 사람치아에서 보다 더 작은 미세통로를 갖게 된다(Kwon 등, 2010). 따라서 미백으로 인한 색 변화의 정도는 치아에 비해 미미할 것이고 표면에 한정될 것이라고 예측할 수 있다.

심미 수복재료인 복합레진에 대한 치아 미백제의 영향은 임상적으로 흥미로운 주제이며 몇몇 연구에서 흔히 사용되는 미백제의 효과에 대해 평가하였다(Monaghan 등 1992; Garcia-Godoy 등, 2002; Turker와 Biskin, 2002; Canay와 Cehreli, 2003; Cehreli 등, 2003; Schemehorn 등, 2004; Hubbezoglu 등, 2008; Rao 등, 2009; Kwon 등, 2010). 색변화에 대한 평가는 육안으로 하는 것보다 측광측색기계(photometric equipment)로 하는 것이 훨씬 정확하므로 본 연구에서 CIE $L^*a^*b^*$ technique을 사용한 분광광도계를 사용하였다.

최근에 중합수축을 최소화하기 위해 기존의 레진과 전혀 다른 기전으로 중합되는 고분자 구성 기질 레진(high-molecular-weight-matrix resin composites)인 Filtek P90이 개발되었다. 이 레진은 siloxane과 oxirane을 결합한 기질로 “cationic ring opening”기전의 중합반응이 일어나도록 하여 중합수축이 최소화되도록 개발되었다. 이러한 치과용 레진을 silorane 기질 레진이라 부른다(Weinmann 등, 2005; Eick 등, 2007; Lien 과 Vandewalle, 2010). 비록 이전의 몇몇 연구에서 silorane 기질 복합레진에 대한 연구는 있었지만 대부분 중합도, 수축력 및 경도 등의 물리적인 특성에 관한 연구들이었다. 이 재료의 미백제에 의한 색 변화의 광학적인 특성에 대한 연구는 드물었다. 따라서 silorane 기질 복합레진의 미백제에 대한 효과(영향)를 기존 methacrylate 기질 복합레진과 비교하는 것은 매우 의미 있다고 할 수 있다.

본 연구 결과 레진종류와 관계없이 미백제(15% 과산화요소, 30% 과산화수소)에 노출된 복합레진 그룹들이 증류수에 노출된 그룹보다 색 변화의 차이가 많았다. 증류수에서 색 변화의 범위는 1.13에서 2.34인데 비해 미백제에 의한 색 변화는 1.57에서 3.52사이 범위였다. 실험된 시편들은 사용된 복합 레진 종류 또는 실험 용액에 따라서 약간(0.5~1.4) 또는 눈에 띄는 정도(1.6~2.9)의 색 변화를 나타내었다. 색 변화의 주된 요소는 b^* 값의 유의한 감소로 관찰되었으며 이는 황색의 감소를 의미한다. 특히나 silorane 기질 레진에서 미백제 노출 후 b^* 값의 감소가 두드러졌다. 이는 표면 구성성분에 포함된 색소에 대한 미백제의 효과로 볼 수 있을 것이다. 또한 미백제 노출 후 모든 복합레진에서 a^* 값은 현저한 변화를 보이지 않았으며 본 실험의 한계조건하이지만, 미백

제는 적색과 녹색에 영향을 미치지 않는 것으로 유추해 볼 수 있다.

본 연구에서 증류수에 노출된 그룹들에도 색 변화를 나타내었는데 복합레진의 산화로 생각해 볼 수 있다. 복합레진의 색 변화는 레진의 색을 결정하는 염색소(dye) 또는 색소(pigment)의 산화(oxidation)와 시간 경과에 따라 잔여 아민 복합체(amine compounds)의 산화, 이 2가지 기전으로 설명할 수 있다(Monaghan 등, 1992). 염색소 또는 색소의 산화는 실험용액의 직접적 상호작용의 결과로 복합레진의 표면에서 일어날 수 있다.

본 연구에서 복합 레진 종류와 관계없이, 미백제에 의한 색 변화는 증류수보다 더 크게 나타났다. 이는 산화의 정도가 반응성 분자(reactive molecules)에 의존하는데 미백제에 노출된 그룹에서 더 많은 반응성 분자들이 형성되기 때문으로 사료된다. 또한 15% 과산화요소와 30% 과산화수소 간의 색 변화는 유의한 차이가 없었다. 이는 중합된 레진시편이 분자들에 의해 긴밀히 교차결합되어 있기 때문에 치아보다 과산화요소나 과산화수소가 교차결합 내로 확산되는데 더 많은 시간이 필요하므로 과산화수소의 농도차이가 상쇄되는 것이 아닌가 생각된다. 이는 미백제가 중합된 복합레진의 색 변화를 서서히 일으킨다는 것을 의미한다.

본 연구 결과 silorane 기질 복합레진인 Filtek P90은 methacrylate 기질 복합레진인 Filtek Z250이나 Filtek Z350보다 색변화가 더 많았다($p < 0.05$). 두 methacrylate 기질 복합레진들 사이에는 색변화에 있어 유의한 차이가 나지 않았다($p > 0.05$). 본 실험에서 모두 같은 조건의 미백제를 사용하여 같은 방법으로 실험하였기 때문에 이는 서로 다른 기질 재료의 구조 차이에 기인한다고 생각할 수 있다. 하지만 복합레진의 화학적 구조보다는 복합레진의 기질(resin matrix)의 부피와 필러의 종류가 복합레진의 색 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Hubbezoglu 등, 2008). 본 연구에 사용된 복합레진 중 Filtek P90의 필러 함유량이 가장 작다(55vol%). 또한 두 methacrylate 기질 복합레진들의 필러 함유량은 유사하다 (60vol%, 59.5vol%). 이것이 색 변화 차이에 있어 가장 근본적인 이유일 것으로 사료된다.

또한 레진기질 부피뿐만 아니라 필러의 광학적 성질이나 모양, 크기가 수복재의 광학적 성질에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(dos Santos 등, 2008; Lee, 2008; Lim 등, 2008). 본 실험에 사용된 silorane 기질 복합레진과 methacrylate 기질 복합레진의 필러종류도 서로 다르다. 필러종류, 모양, 크기 그리고 함유량 같은 물리적 요소들은 복합레진의 색에 영향을 미친다(Arikawa 등,

2007). 또한 미백제는 필러 입자도 용해시켜 silicon, barium 그리고 strontium 같은 이온들을 침출(leaching)시킬 수 있어 복합레진의 색에 영향을 줄 수도 있다고 보고하고 있다(Lee 등, 2002). 이러한 필러에 대한 영향 뿐 아니라 복합레진 기질의 화학적 성분이 다름에 따라 색 변화의 차이가 존재할 수 있기 때문에 같은 종류의 필러와 필러 함유량을 가진 실험용 복합레진을 제조함으로써 이에 관한 심도 깊은 연구가 앞으로 계속 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구의 목적은 미백제가 silorane 기질 복합레진과 methacrylate 기질 복합레진의 색변화에 미치는 영향을 평가하기 위함이다.

두 종류 methacrylate 기질의 복합레진(Filtek Z250, Filtek Z350)과 silorane 기질의 복합레진(Filtek P90)를 대상으로 각 10개씩의 직경 8 mm, 두께 2 mm의 시편을 제작하였다. 시편들을 다시 세 그룹으로 나누어 15% 과산화요소, 30% 과산화수소, 증류수에 3주간 침전시켰다. 침전 전과 후의 L^* , a^* 와 b^* 값을 분광광도계로 측정하고 색변화를 계산하였으며, 결과 값을 ANOVA와 Tukey's test 로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Silorane 기질 복합레진인 Filtek P90이 나머지 두 복합레진 (Filtek Z250, Filtek Z350)보다 유의하게 높은 색 변화 값을 보여주었다. 용액들 사이 비교에서는 미백제 (15% 과산화요소, 30% 과산화수소)에 노출된 복합레진 그룹들이 증류수에 노출된 그룹보다 색변화의 차이가 많았다. 결론적으로 미백제에 노출된 silorane 기질 복합레진이 methacrylate 기질 복합레진과 비교하여 더 많은 색변화를 나타내었다.

참고 문헌

Arikawa H, Kanie T, Fujii K, Takahashi H, Ban S (2007). Effect of filler properties in composite resins on light transmittance characteristics and color. *Dent Mater J* 26:38-44.

Canay S, Cehreli MC (2003). The effect of current bleaching agents on the color of light-polymerized composites *in vitro*. *J Prosthet Dent* 89:474-478.

Carlsson J (1987). Salivary peroxidase: An important

part of our defense against oxygen toxicity. *J Oral Pathol* 16:412-416.

Cehreli ZC, Yazici R, Garcia-Godoy F (2003). Effect of home-use bleaching gels on fluoride releasing restorative materials. *Oper Dent* 28:605-609.

dos Santos GB, Alto RV, Filho HR, da Silva EM, Fellows CE (2008). Light transmission on dental resin composites. *Dent Mater* 24:571-576.

Eick JD, Kotha SP, Chappelow CC, Kilway KV, Giese GJ, Glaros AG, Pinzino CS (2007). Properties of silorane-based dental resins and composites containing a stress-reducing monomer. *Dent Mater* 23:1011-1017.

Frysh H (1995). The chemistry of bleaching. In: Goldstein RE, Garber DA. *Complete dental bleaching*. Carol Stream: Quintessence, 25-33.

Garcia-Godoy F, Garcia-Godoy A, Garcia-Godoy F (2002). Effect of bleaching gels on the surface roughness, hardness, and micromorphology of composites. *Gen Dent* 50:247-250.

Hubbezoglu I, Akaoğlu B, Dogan A, Keskin S, Bolayir G, Ozçelik S, et al (2008). Effect of bleaching on color change and refractive index of dental composite resins. *Dent Mater J* 27:105-116.

Ilie N, Hickel R (2006). Silorane-based Dental Composite: Behavior and Abilities. *Dent Mater* 25:445-454.

Kihn PW (2007). Vital tooth bleaching. *Dent Clin North Am* 51:319-331.

Kwon YH, Shin DH, Yun DI, Heo YJ, Seol HJ, Kim HI (2010). Effect of hydrogen peroxide on microhardness and color change of resin nanocomposites. *Am J Dent* 23:19-22.

Lee JH, Kim HI, Kim KH, Kwon YH (2002). Effect of bleaching agents on the fluoride release and microhardness of dental materials. *J Biomed Mater Res* 63:535-541.

Lee YK (2008). Influence of filler on the difference between the transmitted and reflected colors of experimental resin composites. *Dent Mater* 24:1243-1247.

Li Q, Yu H, Wang Y (2009). Colour and surface analysis of carbamide peroxide bleaching effects on the dental restorative materials in situ. *J Dent*

- 37:348-356.
- Lien W, Vandewalle KS (2010). Physical properties of a new silorane-based restorative system. *Dent Mater* 26:337-344.
- Lim YK, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC (2008). Influence of filler distribution on the color parameters of experimental resin composites. *Dent Mater* 24:67-73.
- Monaghan P, Trowbridge T, Lautenschlager E (1992). Composite resin colorchange after vital tooth bleaching. *J Prosthet Dent* 67:778-781.
- Papadogiannis D, Kakaboura A, Palaghias G, Eliades G (2009). Setting characteristics and cavity adaptation of low-shrinking resin composites. *Dent Mater* 25:1509-1516.
- Rao YM, Srilakshmi V, Vinayagam KK, Narayanan LL (2009). An evaluation of the color stability of tooth-colored restorative materials after bleaching using CIELAB color technique. *Indian J Dent Res* 20:60-64.
- Schemehorn B, Gonzalez-Cabezas C, Joiner A (2004). A SEM evaluation of a 6% hydrogen peroxide tooth whitening gel on dental materials *in vitro*. *J Dent* 32:35-39.
- Turker SB, Biskin T (2002). The effect of bleaching agents on the microhardness of dental aesthetic restorative materials. *J Oral Rehabil* 29:657-661.
- Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM (2006). Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *J Prosthet Dent* 95:137-142.
- Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R (2005). Siloranes in dental composites. *Dent Mater* 21:68-74.

Table 1. Composition of composite resins tested in the study

Code	Composition	Filler type	Filler content* vol%/wt%	Manufacturer
P90	Silorane	Silanized quartz, yttrium fluoride	55/76	3M ESPE,
Z250	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA	Zirconia, silica	60/84.5	St. Paul, MN, USA
Z350	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, Bis-EMA	Zirconia, nanosilica	59,5/82	

** According to the manufacturers

Code P90: Filtek P90; Z250: Filtek Z250; Z350: Filtek Z350

Bis-EMA: ethoxylated bisphenol A glycidyl methacrylate; Bis-GMA: bisphenol A glycidyl methacrylate; TEGDMA: triethyleneglycol dimethacrylate; UDMA: urethane dimethacrylate.

Table 2. CIEL *a*b* color coordinate values before and after immersion in test solutions for 3 weeks

Code	L*	Baseline		After 3 weeks			
		a*	b*	L*	a*	b*	
DW	P90	56,61±0,19	-1,28±0,17	12,42±0,31	56,20±0,17	-1,99±0,07	10,24±0,47
	Z250	57,22±0,38	-0,64±0,11	11,26±0,37	56,09±0,38	-0,83±0,10	10,59±0,28
	Z350	63,53±0,71	-0,56±0,09	10,02±0,43	63,16±1,34	-0,53±0,22	9,05±0,54
CP	P90	56,75±0,15	-1,31±0,08	12,78±0,28	56,66±0,52	-1,33±0,06	9,96±0,48
	Z250	57,57±1,00	-0,62±0,14	10,96±0,96	56,02±0,13	-0,70±0,16	9,72±0,33
	Z350	63,57±0,82	-0,58±0,20	10,49±0,35	62,92±0,87	-0,49±0,15	8,07±0,33
HP	P90	56,90±0,30	-1,32±0,05	12,28±0,63	56,69±0,42	-1,72±0,09	8,80±0,38
	Z250	57,44±0,47	-0,79±0,14	11,13±0,58	56,57±0,54	-0,79±0,14	9,89±0,66
	Z350	63,59±0,70	-0,55±0,13	10,46±0,19	63,45±0,68	-0,33±0,12	8,84±0,32

Code P90: Filtek P90; Z250: Filtek Z250; Z350: Filtek Z350

DW: distilled water; CP: 15% Carbamide peroxide; HP: 30% Hydrogen peroxide

Table 3. Mean and standard deviation values of color coordinates (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) after immersion in test solutions for 3 weeks

Code	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	
DW	P90	-0,40±0,13	-0,71±0,11	-2,18±0,24
	Z250	-1,13±0,17	-0,19±0,09	-0,68±0,26
	Z350	-0,36±0,68	0,02±0,15	-0,97±0,58
CP	P90	-0,09±0,55	-0,02±0,05	-2,82±0,39
	Z250	-1,55±0,90	-0,08±0,13	-1,24±0,68
	Z350	-0,65±0,20	0,09±0,12	-2,42±0,14
HP	P90	-0,21±0,30	-0,39±0,10	-3,48±0,30
	Z250	-0,87±0,28	0,01±0,07	-1,24±0,42
	Z350	-0,14±0,15	0,22±0,06	-1,62±0,18

Code P90: Filtek P90; Z250: Filtek Z250; Z350: Filtek Z350

DW: distilled water; CP: 15% Carbamide peroxide; HP: 30% Hydrogen peroxide

Table 4. The mean values (\pm standard deviation) of color changes (ΔE^*) after 3 weeks immersion of the specimens in the bleaching solutions

	P90 ¹	Z250 ²	Z350 ²	p-values
DW ^A	2,34±0,22	1,36±0,12	1,13±0,75	$\alpha < 0,001$
CP ^B	2,87±0,35	2,16±0,62	2,52±0,11	$\beta < 0,001$
HP ^B	3,52±0,30	1,57±0,25	1,65±0,19	

Code P90: Filtek P90; Z250: Filtek Z250; Z350: Filtek Z350

DW: distilled water; CP: 15% Carbamide peroxide; HP: 30% Hydrogen peroxide

* Statistically significant difference on test solution is shown by superscript letters^{A,B}, on resin composite by superscript numbers^{1,2,3}. Same letters or numbers are not significantly different ($p < 0,05$).

* On p -values, the letters α and β denote test solution and resin composite, respectively.