대한치과기재학회지 40(1) : 51~56, 2013

저온 상압 플라즈마의 치아 미백 효과 및 법랑질 표면형상의 변화에 미치는 효과

최혜숙[1], 유은미[1], 최은하[2], 김경남[1], 김광만[1]*

연세대학교 치과대학 생체재료공학교실[1]*, 광운대학교 바이오플라즈마 연구센터[2]

Effect of atmospheric pressure cold plasma on tooth bleaching and enamel surface roughness

Hye-Sook Choi[1], Eun-Mi You[1], Eun-Ha Choi[2], Kyoung-Nam Kim[1], Kwang-Mahn Kim[1]*

Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering, College of Dentistry, Yonsei University [1], Plasma Bioscience Research Center, Kwangwoon University [2]

(Received: Jan. 30, 2013; Revised: Mar. 9, 2013; Accepted: Mar. 12, 2013)

ABSTRACT

The aim of the present study was to investigate the combinational effect of atmospheric pressure cold plasma and hydrogen Peroxide bleaching agents on external tooth bleaching. Teeth were randomly divided into three groups: 15% hydrogen peroxide+Air flow plasma (Air plasma), 15% hydrogen peroxide+ Nitrogen plasma (Nitrogen plasma) and 15% hydrogen peroxide only (control). The color change of the teeth was evaluated before treatment, 10 min and 20 min after treatment using a spectrophotometer. Surface roughness(Ra) was measured by profilometer at before and after 20 min treatment. There was significant differences in color change between the plasma treated groups and control ($p<0.05$), there being no significant difference between the two plasma groups ($p>0.05$). There were no significant differences in surface roughness among all group ($p>0.05$). Hence, we conclude that the atmospheric pressure cold plasma treatment may accelerates the teeth bleaching process no matter which kind of gases (Air plasma and Nitrogen plasma) is used.

KEY WORLDS : atmospheric pressure cold plasma, tooth bleaching, enamel surface roughness

서 론

사회가 발달하고 국민들의 생활수준이 높아짐에 따라 이전에는 기능회복을 위한 치과치료가 주로 행해졌던 것에 비해 건강한 치아를 더욱 하얗고 밝고 만들고 싶어 하는 환자들이 증가하였으며 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 방법 중 하나로 치아미백이 급속도로 발전하여 왔다. 치아미백이란, 강한 산화제인 과산화수소(hydrogen peroxide)의 산소기 발생(oxygen releasing)과 세척(cleansing) 기전으로 치질 내 착색 부분을 산화시켜 착색을 제거하고 치아를 원래의 색으로 회복시켜주는 술식을 말한다 (McEvoy, 1989).

치아 미백술은 행위 주체에 따라 전문가 미백술(office bleaching)과 자가 미백술(home bleaching)로 나뉜다 (Walton과 Rostein, 1996). 전문가 미백제로는 주로 30~35%의 과산화 수소나 35% 과산화요소(carbamide peroxide)가 주로 사용되며 자가 미백제로는 10%, 16%, 20% 등의 과산화요소가 주로 사용되고 있다. 전문가 미백에 사용되는 고농도의 과산화수소는 과산화물이 분해되면서 생성된 반응성 높은 자유라디칼이 치아에 부착된 착색물이나 유기물을 제거하거나 변성시켜 미백효과를 나타내지만(Moraes 등, 2006) 활성이 높고 불안정해서 법랑질의 구성성분 및 표면형상, 기계적 성질에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 또한 치아 미백 과정 중 법랑질

* 교신저자 : 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실, 김광만
Tel : 02-2228-3082, E-mail : kmkim@yuhs.ac

* 이 논문은 한국연구재단 SRC 프로그램 지원에 의해 수행됨(20100029418).

표면에는 기공과 구멍 등이 형성되고(Allison 등, 1991; Haywood, 2000; Li, 2000; Mokhlis와 Matis, 2000) 불규칙한 프리즘으로 인해 법랑질 표면의 마모 저항성이 감소되는 결과를 보인다(Bitter과 Sanders, 1992). 따라서 고농도의 과산화수소를 사용하여 치아미백을 시행하는 것에 대한 우려의 목소리가 높은 실정이다.

저온 상압 플라즈마는 대기압 하에서 대상체의 표면을 식각, 증착할 수 있고, 소수성 또는 친수성 등을 개선하여 사용분야에 맞게 기능성을 향상시킬 수 있다. 또한 최근에는 의료, 환경 등의 분야로 확대되어 그 응용분야를 넓혀가고 있다. 이는 저온 플라즈마의 주요한 특성, 즉, 저온의 가스 온도를 유지하면서도 화학적으로 활성화된 반응종들의 생성이 용이하다는 점 때문이다. 치과 분야에도 응용되어 42.8°C 이하로 치주조직 및 치수에 해를 주지 않으며 적용할 수 있고(Shekhter 등, 2005), 수산기(hydroxyl radical) 생성의 증가로 치아 미백에 효과를 나타내는 것으로 보고되었다(Lee 등, 2009). 저온 상압 플라즈마에 사용되는 가스는 헬륨, 아르곤, 산소, 질소 등 다양하며, 이용되는 가스의 종류에 따라 표면의 특성이 바뀐다. 이 중 헬륨 저온 상압 플라즈마를 통한 치아미백의 효과가 보고되었고(Lee 등, 2009), 압축 공기 저온 상압 플라즈마 조사 시에도 미백의 효과가 있음을 보고하였다(Pan, 2010; Sun, 2010). 그러나 헬륨은 고가의 기체로 실용화에 제한이 따른다. 압축 공기와 질소의 경우 비용이 저렴하고 취급이 용이하여 플라즈마 기체로 일반화되어 있다. 저온 상압 플라즈마 원리를 확인하고자 압축 공기 플라즈마 방전을 통해 발생하는 광학신호(optical signal) 관측 결과 616 nm, 777 nm 및 844 nm에서 산소 원자(atomic oxygen)가 관측되었다(Kanga 등, 2010). 플라즈마 가스 중 질소 플라즈마 방전을 통해 발생하는 광학신호에서는 777 nm와 844 nm에서 산소 원자가 관측되어 압축 공기 플라즈마 광학신호 관측 결과와 유사한 부분을 관찰할 수 있었다(Yong 등, 2008). 저온 상압 플라즈마 치아 미백 시 산소 원자의 출현으로 인한 치아 미백 효과를 가정한다면 압축 공기 뿐 아니라 질소에서도 같은 효과를 기대할 수 있을 것으로 예측할 수 있다. 질소로 치아미백이 가능하다면 플라즈마의 가스의 종류에 큰 제약을 받지 않고 다양한 기체로 치아미백이 가능할 것으로 사료되며, 치아 미백을 위한 최적화된 저온 상압 플라즈마 개발에 박차를 가할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 법랑질 표면을 과산화수소에 추가적으로 저온 상압 플라즈마로 처리 하였을 때 치아 미백의 효과에 어떠한 영향을 미치는지, 압축 공기 플라즈마와 질소 플라즈마로 치아미백 처리 시 미백 효과에 차이가 있는지를 검증하고자 하였다. 또한 치아미백 시 문제점인 법랑질 표면의 변화에 미치는 영향에 대해서도 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시편제작

실험에 사용된 우전치는(bovine teeth) 최근 3개월 이내에 발거된 것으로, 육안 상 법랑질 형성부전이나 상아질 노출이 없는 것을 사용하였으며 실험 전까지 증류수에 넣어 냉장 보관하였다. 우전치는 순면(25 mm^2)이 노출되도록 자가중합형 에폭시 레진으로 매몰한 뒤 노출된 법랑질을 상아질이 노출되지 않는 범위에서 자동연마기(Polisher DP-1, Dae Heung Science, Korea)로 600번, 800번, 1000번, 1200번 2,000번 순으로 평활하게 연마하였다. 최종 연마된 모든 시편은 3차 증류수로 세척하였다. 치아를 착색시키기 위하여 23°C의 물 500 ㎖에 인스턴트 분말 커피(Maxim, Dongseo, Korea) 3 g을 녹여 액상 커피를 제조하고, 준비된 시편을 액상 커피에 침적하여 23°C에서 15일간 보관하였다. 이때 보관 용액은 매일 교환해 주었다.

2. 플라즈마 장비

플라즈마는 저온 상압 플라즈마로 장비의 토출부를 우치로부터 3 ㎜ 떨어진 위치에 고정하고, 최대 출력 전압 15 kV, 전류 13 ㎃, 플라즈마 방전을 위한 가스는 5 L/min로 설정하였다. 본 실험에서는 플라즈마 방전을 위하여 압축 공기와 질소를 사용하였다.

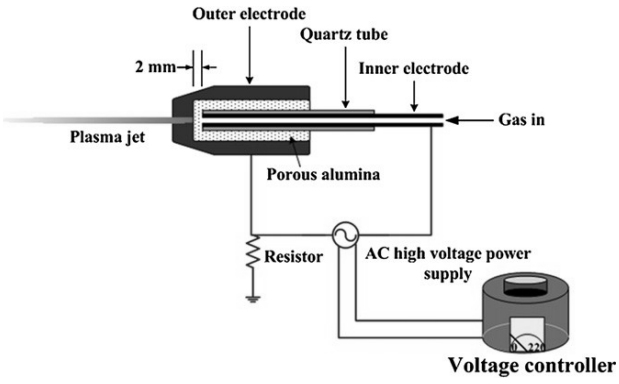

Figure 1. Schematic presentation of the atmospheric-pressure plasma jet device with the porous alumina dielectric (Kaushik 등, 2012).

3. 치아미백술식

준비된 시편은 총 3군: 1) 15% 과산화수소+압축 공기(압축 공기 플라즈마군); 2) 15% 과산화수소+질소 플라즈마(질소 플라즈마군); 3) 15% 과산화수소 단독(대조군)으로 나누었으며 각 군당 10개의 시편을 사용하였다.

미백제는 15% 과산화수소 용액 0.5 ㎖에 치과용 연마제(Brite powder, Pac Dent International Inc., USA) 45 mg을 첨가하여 페이스트 형태로 제조하였 사용하였다. 미백과정은 시편에 페이스트 형태로 제조된 미백제를 착색된 우치 순면의 법랑질 표면에 1 mm 두께로 도포하였다. 치아미백은 각 군마다 20분 시행하였고 5분마다 미백제를 재도포하였다.

4. 치아미백효과 측정

치아미백효과 측정은 미백 시행 전, 10분 미백 처리 후, 20분 미백 처리 후에 분광분석계(spectrophotometer, CM-3500d, Minolta, Osaka, Japan)를 사용하여 색을 측정하였다. 색차계의 감지부에 흡광통을 밀착시켜 영점조정을 하고, 표준 백색판과 흑색판으로 L^*, a^*, b^*의 표시치에 대해 표준조정을 시행하였다. 시편의 같은 부위를 3회 반복 측정하여 산술평균값을 사용하였다.

색조변화량(ΔE^*)은 국제조명위원회에서 규정한 CIE $L^*a^*b^*$ 측정체계를 사용하여 분석하였다. L^*값은 물체에 대한 밝기를 나타내는 명도지수로 0(검정)에서 100(백색)까지의 범위로 나타내고, a^*와 b^*값은 물체에 대한 채도지수로서, a^*는 적색/녹색 값을, b^*는 황색/청색 값을 나타내며, 0에 근접 할수록 무채색에 근접한다. 색조변화량은 아래의 식에 의해 계산하였다.

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

색조 변화의 10분 측정값은 미백 처리 전으로부터 10분 미백 처리 후의 변화량을 나타낸 것이고, 20분 측정값은 미백 처리 전으로부터 20분 미백 처리 후의 변화량을 나타낸 것이다.

5. 표면조도 측정(Ra)

시편의 표면 변화를 관찰하기 위하여 표면조도 측정기(optical profilometer, ContourGT-X3, Bruker AXS, USA)를 이용하여 VSI 모드에서 렌즈 비율 10배로 촬영하였다. 측정 시기는 미백 전과 20분 미백 처리 후 측정하였으며, 산술평균조도(Ra)를 기록하였다.

6. 통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램(SPSS 18.0; SPSS GmbH, Munich, Germany)을 이용하여 색조변화량과 표면조도에 대한 평균값과 표준편차 값을 구하였다. 실험 집단의 색조변화량에 따른 비교를 위하여 one-way ANOVA 검증을 실시하였으며, 표면조도의 차이를 검증하기 위하여 paired t-test와 one-way ANOVA 검증을 실시하였다. 모든 통계적인 유의 수준은 95% 신뢰수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 치아미백 효과

10분 치아 미백과, 20분 치아 미백 후의 색을 미백 전과 비교하였을 때, ΔL^*은 양의 값으로 명도가 증가하는 양상을 보였고, Δa^*는 음의 값으로 적색이 엷어지는 양상을 보였으며, Δb 역시 음의 값으로 황색이 엷어지는 양상을 보였다. 20분 미백 처리 후 Δa^*는 -2.3~-4.0으로 Δb^* -3.0~-10.6에 비해 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 미백 처리에 의한 색변화가 적색 계열의 변화보다 황색 계열의 변화가 큰 것으로 해석할 수 있다. 또한 ΔL^*은 +7.69~+19.55로 Δa^*나 Δb^*에 비해 현저하게 큰 값을 보이므로 미백 효과는 주로 명도의 증가에 의존한다는 것을 알 수 있었다. Ruyter 등(1987)과 Johnston과 Kao(1977)는 인간의 눈으로 인지 가능한 변색은 ΔE^*가 3.3 이상일 때이며, Gross와 Moser(1977)는 ΔE^*가 3~8이면 보통 인지 할 수 있으며, 8 이상이면 현저하게 인지 할 수 있다고 하였는데, 본 연구결과 실험군의 ΔE^*는 10분 미백 처리 후 16 정도의 수치를 기록하였으며, 20분 처리 후에는 20 이상으로 치아미백에 큰 변화를 나타내었다.

위의 결과를 종합하여 보면 플라즈마를 사용한 실험군과 플라즈마를 사용하지 않은 대조군간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내어($p<0.05$) 플라즈마가 치아미백에 효과가 있음이 입증되었다. 반면, 압축 공기 플라즈마군과 질소 플라즈마군의 ΔE^* 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p>.005$). 따라서 과산화수소에 추가적으로 저온 상압 플라즈마를 사용할 경우 치아미백의 효과를 증대시킬 수 있을 것이며, 질소와 압축 공기 모두 치아 미백 효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1. Color differences of specimen between before and after treatment

Group		Mean±SD	
		10 mim	20 mim
⊿L*	HP only	3.70±2.35[a]	7.69±2.42[a]
	HP+Air flow plasma	14.26±3.38[b]	19.55±2.26[b]
	HP+Nitrogen plasma	14.07±2.90[b]	19.26±1.44[b]
⊿a*	HP only	-0.98±0.74[a]	-2.30±1.20[a]
	HP+Air flow plasma	-2.74±1.34[b]	-4.04 ±1.27[b]
	HP+Nitrogen plasma	-2.41±1.14[b]	-3.55±0.99[b]
⊿b*	HP only	-0.77±2.88[a]	-2.98±3.10[a]
	HP+Air flow plasma	-6.66±2.13[b]	-10.60±2.46[b]
	HP+Nitrogen plasma	-6.26±2.39[b]	-9.00±2.71[b]
⊿E*	HP only	4.87±2.23[a]	9.19±2.13[a]
	HP+Air flow plasma	16.10±3.67[b]	22.72±2.56[b]
	HP+Nitrogen plasma	15.73±3.23[b]	21.69±1.98[b]

ab:The same letter indicates no significant difference in parameter and group(p〉.005)

Table 2. Surface roughness of the enamel specimens before and after treatment (Unit :nm)

	Mean±SD	
	Before	After 20 min
HP only	166.5±33.5	175.0±30.7
HP+Air flow plasma	146.2±23.4	153.8±34.2
HP+Nitrogen plasma	153.3±34.9	163.1±34.3

2. 표면 거칠기

미백 시행 후 표면거칠기의 변화를 평가하기 위한 미백 시행 전 Ra값과 시행 후 Ra값의 결과는 Table 2와 같다. 압축 공기 플라즈마군, 질소 플라즈마군 및 대조군 모두 미백 시행 전과 미백 시행 후 Ra값의 변화 분석 결과 세 군 모두 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다(p〉0.05). 선행연구에서 미백처리에 따른 탈회 현상에 의해 법랑질로부터 칼슘과 인산 등이 탈회되어 표면이 거칠어졌다는 연구 결과가 보고되었으나(Catharina 등, 2007; Fraoni-Romano 등, 2007), 15% 과산화수소로 20분 치아미백 처리 시에는 표면 변화를 일으키지 않는 것으로 사료되었다. 또한 대조군, 압축 공기 플라즈마군, 질소 플라즈마군 세 그룹간의 one-way ANOVA 분석 결과 역시 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다(p〉0.05). 따라서 플라즈마 처리에 의한 법랑질 표면 변화는 발생하지 않는 것으로 사료되었다.

결 론

본 연구는 과산화수소에 추가적으로 저온 상압 플라즈마 처리를 시행하였을 때 치아미백에 효과가 있는지 검증하고자 하였으며 표면 변화를 관찰하였다.

1. 미백 처치 전과 후의 색변화 ⊿E*는 플라즈마를 사용한 실험군이 플라즈마를 사용하지 않은 대조군보다 유의하게 컸다(〈0.05).
2. 압축 공기 플라즈마군과 질소 플라즈마군 사이의 ⊿E*는 유의한 차이를 보이지 않았다(p〉0.05).
3. 치아 미백 시행 전과 후의 법랑질 표면 거칠기 Ra값 사이에는 실험군과 대조군 모두에서 유의한 차이가 없었다(p〉0.05).
4. 미백 시행 후 대조군, 압축 공기 플라즈마군, 질소 플라즈마군 사이의 법랑질 표면 거칠기 Ra값은 유의한 차이가 없었다(p〉0.05).

따라서 저온 상압 플라즈마로 치아 미백을 시행할 경우 과산화수소만으로 치아 미백을 시행한 경우보다 치아 미백 효과가 증가되고, 플라즈마 방전에 사용되는 압축

공기와 질소 가스에 의한 효과 차이는 미미할 것으로 사료된다. 또한 저온 상압 플라즈마 처리가 법랑질 표면 거칠기에 영향을 미치지 않을 것으로 사료되는 바, 효과적인 치아미백 처리를 위하여 저온 상압 플라즈마의 추가적인 적용이 추천될 수 있다.

참고문헌

Allison R, Symons AL, Meyers IA (1991). The effect of a vital bleaching technique on the surface integrity of enamel. *Aust Dent J* 36:312-315.

Catharina Z, Nils BS, Konrad N, Andrej MK (2007). Surface microhardness of enamel after different home bleaching procedures. *Dent Mater* 23:243-250

Faraoni-Romano JJ, Turssi CP, Serra MC (2007). Concentration-dependent effect of bleaching agents on microhardness and roughness of enamel and dentin. *Am J Dent* 20:31-4.

Gross MD, Moser JB (1977). A colorimetric study of coffee and tea staining of four composite resins. *J Oral Rehabil* 4:311–322.

Haywood VB (2000). Current status of nightguard vital bleaching. *Compend Contin Educ Dent* 28:10-17.

Hong YC, Uhm HS, Yi WJ (2008). Atmospheric pressure nitrogen plasma jet: Observation of striated multilayer discharge patterns. *Appl. Phys. Lett.* 93:051504

Johnston WM, Kao EC (1987). Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 68:819–822.

Kanga WS, Hongb YC, Honga YB, Kima JH, Uhmc HS (2010). Atmospheric-pressure cold plasma jet for medical applications. *Surface&Coating Technology* 205:S418-S421

Kaushik NK, Kim YH, Han YG, Choi EH (2012). Effect of jet plasma on T98G human brain cancer cells. *Curr. Appl. Phys.* 13:176-180.

Lee HW, Kim GJ, Kim JM, Park JK, Lee JK, Kim GC (2009). Tooth bleaching with nonthermal atmospheric pressure plasma. *J. Endod* 35:587-591.

Li Y (2000). Peroxide-containing tooth whiteners: An update on safety. *Compend Contin Educ Dent* 28:4-9.

McEvoy SA (1989). Chemical agents for removing intrinsic stains from vital teeth Currents techniques and their clinical application. *Quintessence Int* 20: 379-384.

Mokhlis GR, Matis BA, Cochran MA, Eckert GJ (2000). A clinical evaluation of carbamide peroxide and hydrogen peroxide whitening agents during daytime use. *J Am Dent Assoc* 131:1269-1277.

Moraes RR et al. (2006). Carbamide peroxide bleaching agents: effects on surface roughness of enamel, composite and porcelain. *Clin Oral Investig* 10:23-28.

Pan J, Sun P, Tian Y, Zhou H, Wu H, Bai N, Liu F, Zhu W, Zhang J, Becker KH, Fang J (2010). A Novel Method of Tooth Whitening Using Cold Plasma. *IEEE Trans. Plasma Sci* 38:3143-3151.

Ruyter IE, Nilner K, and Moller B (1987). Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 3:246–251.

Shekhter AB, Serezhenkov VA, Rudenko TG, Pekshev AV, Vanin AF (2005). eneficial effect of gaseous nitric oxide on the healing of skin wounds. *Nitric Oxide* 12: 210–19.

Sun P, Pan J, Tian Y, Bai N, Wu H, Wang L, Yu C, Wei S, Zhang J, Zhu W, Fang J (2010). Tooth-whitening with hydrogen peroxide assisted by a direct current, cold, atmospheric-pressure air plasma microjet. *IEEE Trans. Plasma Sci* 38:1892-1896.

Walton RE, Rostein I (1996). Bleaching discolored teeth: Internal and External. Principle and practice of endodontics. 2nd ed. *Philiadelphia, Saundets*: 385-400.

Weitzman SA, Weitberg AB, Stossel TP, Schwartz J, Shklar G (1986). Effects of hydrogen peroxide on oral carcinogenesis in hamsters. *Journal of Periodontology* 57:685-688.