무수치 표백술 후 잔존 과산화수소수 제거를 위한 수종의 치수강 세척제의 효과에 관한 정량적 연구

연세대학교 치과대학 보존학교실

금기연 · 한원섭 · 정일영 · 이승종 · 이찬영 · 오병훈

ABSTRACT

A QUANTITATIVE STUDY ON THE DEGRADING EFFECT OF THE VARIOUS IRRIGATING AGENTS IN THE ELIMINATION OF RESIDUAL HYDROGEN PEROXIDE FOLLOWING WALKING BLEACHING

Kee-Yeon Kum, Won-Sup Han, IL-Young Jung,
Seung-Jong Lee, Chan-Young Lee, Byung-Hoon Oh

Department of Endodontics, College of Dentistry, Yonsei University.

Hydrogen peroxide at high concentration during walking bleaching may cause damage to the tooth structure and to the surrounding periodontal tissues and may develop external root resorption. Clinically, It is so important to find a method of prevention or minimization of these complications. The efficacy of various chamber-irrigating agents to eliminate residual hydrogen peroxide after walking bleaching was examined and compared with water rinse in this study. Extracted human 46 premolars without any cementoenamel junction defects were treated endodontically and based with IRM to 1 mm below CEJ and totally bleached 3 times for each tooth with 30% hydrogen peroxide and sodium perborate. Upon completion of the 3rd walking bleaching procedure, the cervical portion and pulp chamber of each group of teeth were irrigated with catalase, 70% ethylalcohol, acetone, and distilled water. And then, a radicular hydrogen peroxide penetration was measured with spectrophotometer immediately after each bleaching and following teatment with each chamber-irrigating agents, and the significance of their eliminating efficacy of residual hydrogen peroxide was analyzed by Kruskal-Wallis test. The results were obtained as follows.

* 이 연구는 1996년도 연세대학교 학술연구비의 지원을 받아 이루어진 논문임.

1. Cervical root penetration of hydrogen peroxide was increased as the bleaching procedure was repeated($P<.01$).
2. The most effective irrigant that removed residual hydrogen peroxide was the catalase, and the least effective one was water rinsing ($P<.01$).; there was no significant difference between the acetone and ethanol group.
3. The Irrigation with antioxidant enzyme or water-displacement solutions can eliminate residual oxygen radicals from the pulp chamber effectively after walking bleaching.

So, these agents can reduce adverse effects such as cervical external resorption and periapical inflammation and prevent residual $O_2$from impeding composite resin polymerization, thus increase the bonding strength of composite resin. This, in turn reduces microleakage and discoloration of the esthetic restoration, extending its service-life.

Key words : walking bleaching, residual hydrogen peroxide, root resorption, CEJ

I. 서 론

최근 사회적, 문화적 발전으로 구강악안면 계통의 기능과 더불어 심미성에 관한 관심이 높아지면서 치아의 변색을 주소로 내원하는 환자의 수가 증가하고 있다. 변색된 무수치의 심미적 개선을 위하여 사용되고 있는 walking bleaching[17] 법은 화학 반응의 촉매제로서 열원을 사용하지 않고 과붕산나트륨과 고농도의 과산화수소수를 혼합하여 화학적으로 발생기 산소를 유리활성화시키는 표백방법으로, 치관형태에 변화를 주지않고 치질삭제가 적으며 치료시간이 짧아 비교적 간편하고 경제적인 치료법으로 많은 임상가들에 의하여 널리 시술되고 있다[3,4,18].

그러나 walking bleaching 법은 변색치의 색조 개선효과는 우수하지만 표백 후 치질에 잔존하고 있는 발생기 산소에 의해 복합레진의 중합이 방해되어 미세변연 누출을 야기하거나 치질과의 결합력을 저하시킬 수 있고[44,47] 또한 고농도의 표백제를 장기간에 걸쳐 사용하기 때문에 백악질, 상아질 및 법랑질에 형태학적인 혹은 구조적인 변화를 야기할 수 있으며[28], 표백제가 상아세관을 통하여 주위의 치주조직으로 침투하여 국소적인 염증반응을 일으키면서 치근 외흡수[20,24] 와 같은 부작용이 야기된다고 알려져 있다.

표백제의 상아세관을 통한 확산성과 투과성에 관한 여러 실험을 통하여 이러한 치근 외흡수는 치경부를 통한 표백제의 직접적인 누출에 의한 염증반응으로 인해 형성된다는 결론[2,19,58] 에 이르고 있으나 그 외에도 외상경력[23,50], 열원[2,41,49], 표백제의 pH[6,8] 와 농도[36,40], 이장재 유무[10,19], 잔존 상아질의 두께[54], smear layer 유무[51], 백악법랑 경계부의 해부학적 결함[13,46] 등의 여러 요인들과의 연관성 또한 보고되고 있어 임상적으로 이러한 부작용을 최소화하거나 방지할 수 있는 표백방법을 찾는 일은 중요한 의의를 갖는다고 할 수 있겠다. 일반적으로 과산화수소수나 산소는 물에 잘 용해되고 법랑질이나 상아세관을 통하여 쉽게 양쪽 방향으로의 이동이 가능하며 상아세관액에 용해되어 있는 산소자유기들은 표면확산(surface diffusion)을 통하여 천천히 표면으로 유리된다. Kalili[52] 등은 알코올같은 water-displacement solution 은 산소가 용해되어 있는 상아세관액을 효과적으로 증발시킬 수 있다고 하였으며, Barghi[53] 등은 표백 후 아세톤이 포함된 상아질 접착제를 사용하여 복합레진의 결합력이 증가되었다고 보고하였다. Torneck[29] 등은 *in vitro* 상에서 walking bleaching 후 치아를 수 일간 물에 담가 놓아도 잔존하고 있는 발생기 산소에 대한 효과적인 길항작용은 없기 때문에 결국 치주인대의 손상을 막을 수는 없으며 또한 지속적인 수

분과의 접촉은 복합레진의 water sorption 으로 인하여 치질과의 경계부에 미세한 변연누출을 야기할 수 있다고 하였고, 최근들어 Rotstein[30] 등은 치수내에 정상적으로 존재하는 oxygen radical scavenging enzyme 인 catalase 를 표백 전에 구강 점막에 도포하거나 ethyl cellulose polymer 를 치경부에 coating 함으로써 과산화물에 의한 주위 치주조직의 손상을 예방할 수 있었다고 주장하였다. 따라서 walking bleaching 후 antioxidant enzyme 이나 water-displacement solution 을 처리하여 치질에 잔존하는 과산화수소수를 단시간에 효과적으로 제거할 수 있다면 궁극적으로는 치주 조직의 손상 및 치근 외흡수와 같은 부작용을 예방할 수 있겠고 또한 잔존하고 있는 발생기 산소에 의한 복합레진의 중합방해를 차단할 수 있어 수복물의 변연누출과 이로 인한 이차변색과 같은 부작용도 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

이처럼 walking bleaching 후 종종 발생되는 치근 외흡수와 같은 부작용의 원인이 치질에 잔존하고 있던 과산화물이 상아세관을 통하여 누출되면서 일어나는 염증반응에 의하여 야기된다고 보고되고 있어 이에 저자는 임상적으로 이러한 잔존 과산화물을 효과적으로 줄이기 위한 방법으로 antioxidant enzyme 인 catalase 와 water-displacement solution 인 에탄올과 아세톤을 표백 후 각각 치수강 및 치경부의 세척제로 사용하였고, 기존에 통법으로 사용하던 물 세척과의 산소 자유기 제거 효과를 산화환원 적정법을 이용하여 정량적으로 비교분석하여 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

교정 목적으로 발치한 건전한 소구치를 Spectroscope 를 이용하여 백악질 결함이나 백악법랑 경계부에서의 상아질 노출이 없는 치아만을 실험에 사용하였다. 표백제는 30% H_2O_2 (Sigma Chemical Co., U.S.A. F.W=34.01)과 과붕산나트륨 (Junsei Chemical Co., Japan) 을 사용하였고 근관내 이장재와 개방된 와동의 임시 충전재로는 IRM^R (Type III. Class I, Caulk/Dentsply Inc., U.S.A.) 을 사용하였다.

2. 실험방법

교정 목적으로 발치한 46 개의 소구치를 선별하여 표면에 부착된 잔사와 치석은 백악질이 손상되지 않도록 초음파 기구로 제거한 후 생리식염수에 보관하였다. 각 치아는 # 330 bur 를 이용하여 치수강을 개방하고 #2, #3 Gates-Glidden drill 로 근관입구를 확대한 후 #15 파일을 근관에 삽입해 치근단공이 보이기 시작할 때 이보다 1 mm 를 감한 길이를 근관장으로 정하여 통법에 따라 #35 까지 근관을 확대하고 측방가압법과 sealapex®를 이용하여 근관충전하였다. 치수강내 과잉의 gutta-percha 는 뜨거운 수동기구를 이용하여 백악법랑 경계부 하방 3 mm 까지 제거하고, IRM 을 순.설측과 인접면의 백악법랑 경계부 1 mm 하방에 평행하도록 하여 전체적으로 사면을 두어 2 mm 두께로 근관내에 이장하였으며 노출된 상아질은 증류수로 수 차례 세척하였다. 충전이 완료된 모든 치아는 백악법랑경계부에서 치근쪽으로 3 mm, 치관측으로 2 mm 의 window 를 제외한 모든 부분은 nail varnish 를 3 회 코팅하였고, apex 부위는 wax 로 sealing 하였으며, 백악법랑 경계부의 근심과 원심 1 mm 상방 위치에 2-×4- cm laminate boxing wax (Kerr Brand, Emeryville, Calif.) 를 이용하여 치아를 감싸준 다음 1.6 ml 증류수가 포함된 plastic assay tube 에 window 를 포함하여 전치근이 잠기도록 위치시킨 후 모든 경계부는 sticky wax 를 이용하여 완전밀봉 하였다(Fig.1).

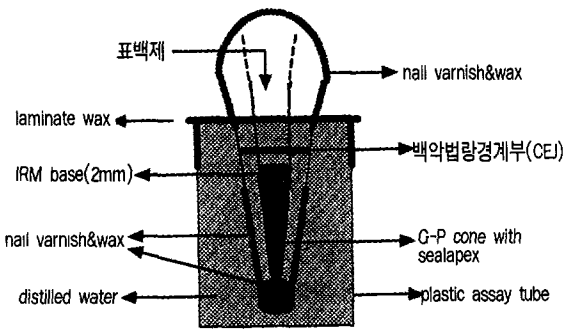

Fig. 1 An illustration of study model

3. 실험군

표백전 실험 치아는 체온을 재현하기 위하여 37 ℃ 항온기에 30 분간 넣었다가 꺼내어 30% 인산으로 치수강을 etching 후 세척건조시킨 다음, 과붕산나트륨 0.02g 과 30% H_2O_2 20㎕ 를 pipette 을 이용하여 치수강에 위치시키고 그 상방에 면사를 얇게 덮어 IRM 으로 임시 충전한 다음 1.6 ml 의 증류수가 담긴 assay tube 에 넣어 37℃, 100% 습도가 유지된 항온기에 3 일간 보관하였다가 누출된 과산화수소수의 양을 측정하였다. 표백제는 3 일 간격으로 새로운 약제로 교환하여 동일한 방법으로 총 3 회의 표백술을 시행하였고 매 표백마다 누출량을 측정하였으며 마지막 표백 후 모든 실험 치아는 치수강을 세척하는 약제에 따라 10 개씩 분류하여, 제 1군은 표백 후 20㎕ 의 catalase C-40, 10 mg/ml, 10,000 to 25,000 units/mg protein (Sigma, St. Louis, MO) 을 치수강 및 치경부 부위에 3 분간 처치하고 다시 2 분간 증류수로 세척하였고, 제 2 군과 3 군은 각각 동량의 70% ethylalcohol (Sigma chemical Co., U.S.A) 과 acetone (Sigma chemical Co., U.S.A) 을 이용하여 1 군과 동일한 방법으로 처치하였으며, 제 4 군으로는 기존에 통법으로 사용하였던 물 세척이 과산화수소수 제거에 얼마나 효과적인지를 알아보기 위하여 실험 치아의 치수강 및 치근을 흐르는 증류수로 5 분간 세척하였다. 치경부 세척후 실험 치아는 1.6 ml 의 증류수가 포함된 plastic assay tube 에 위치시켜 37 ℃ 항온기에 3 일간 보관하였다가 누출된 과산화수소수의 양을 3 회 측정하고 그 평균값을 기록하였다. 음성 대조군으로는 표백제 대신에 20㎕ 의 증류수와 소독된 면구만를 치수강에 넣어 실험을 진행하였으며, 양성 대조군은 1.6 ml 의증류수가 포함된 plastic assay tube 안에 30% H_2O_2 20㎕ 가 전부 녹았을때의 농도로 결정하였다..

누출된 과산화수소수를 정량적으로 측정하기 위하여 silica cell (Pacific CSA International INC., U.S.A) 내에 측정하고자 하는 assay tube 내의 용액을 0.5ml 옮기고 여기에 증류수를 부어 전체 용량이 1 ml 가 되도록 한 후 10 mM ferrous ammonium chloride (Sigma chemical Co., U.S.A) 0.2 ml 와 2.5 M potassium thiocyanate (Sigma chemical Co., U.S.A) 0.1 ml 를 떨어뜨려 시료의 색이 붉은색으로 변할 때 480nm 의 UV-VIS spectrophotometer 1201 (Milton Roy, U.S.A) 에서 optical density 를 각 치아당 3 회 측정하고 기록하였다. 한편 각 치아에서 측정한 optical density 를 토대로 누출된 과산화수소수의 농도를 계산하기 위하여, 30% H_2O_2 (Sigma Chemical Co., U.S.A.) 를 단계적으로 희석하여 과산화수소수의 표준방정식을 얻은 후 여기에 측정한 각 시편의 optical density 를 대입하였다(Fig. 2).

각 군간의 과산화수소수의 제거에 관한 유의성은 Kruskal-Wallis test 를 이용하여 분석하였으며, 표백 횟수와 과산화수소수의 누출량과의 상관성은 Friedman correlation coefficient 를 이용하여 검증하였다.

III. 실험성적

먼저 과산화수소수의 표준곡선을 구하기 위하여 순수 30% H_2O_2 (Sigma Chemical Co., U.S.A) 를 0 ㎛mol 에서 500 ㎛mol 범위에서 단계적으로 희석하고 480 nm 파장의 spectrophotometer 에서 optical density 를 측정하여 상관계수(R) = 0.998 인 표준곡선 Y = 0.0063X - 0.1205 을 산출하였다(Fig

Table 1. 각 군의 사용약제

실험군	치수강 세척제
제 1 군 :	Catalase (Sigma, St. Louis, MO) : 10개
제 2 군 :	70% Ethylalcohol (Sigma chemical Co., U.S.A) : 10 개
제 3 군 :	Acetone : 10 개
제 4 군 :	Distilled water : 10 개
음성대조군 :	Cotton ball with 20㎕ distilled water : 3개
양성대조군 :	Pure 30% H_2O_2 20㎕ in 1.6 ml distilled water : 3개

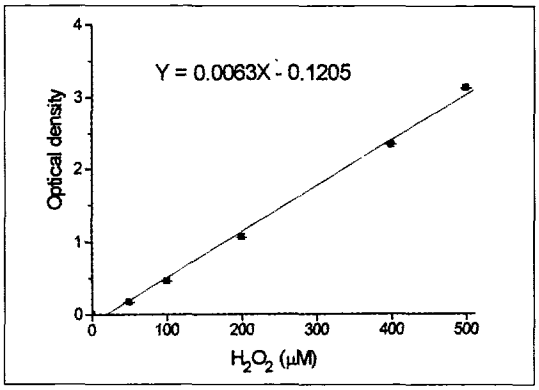

Fig 2. Standard curve generated by 30% H_2O_2 dose response.

2).

총 45 개의 치아에서 1회, 2회, 3회 표백후 각각의 optical density 를 측정하고 이를 과산화수소수의 표준곡선에 대입하여 계산된 과산화수소수의 평균농도와 30% H_2O_2 20㎕ 가 치경부를 통해 전부 누출되어 1.6 ml 증류수에 모두 녹았을 때의 농도를 100 으로 잡았을 때 표백후 각 치아에서 누출된 과산화수소수의 평균농도를 permeability 로 환산하여 보면 Table 1. 과 같다. 본 실험결과 음성대조군에서는 과산화수소수가 전혀 누출되지 않았으나 실험군에서는 과산화수소수의 누출이 모두 관찰되었고 투과도는 0.007 % 에서 28.46 % 로 다양하였으며, 표백횟수의 증가에 따른 과산화수소수의 누출량과의 상관성을 조사한 결과, 표백 2회와 3회의 누출량은 1회 누출량에 비해 유의성있게 증가한 것으로 나타났다(Table 2, Friedman test, $P < .01$).

한편 3회 표백 후 catalase, ethanol, acetone, distilled water 를 이용하여 각 실험 치아의 치수강 및 치경부를 세척한 다음 세척제의 종류에 따른 잔존 과산화수소수의 제거 효과를 비교한 결과, catalase 군의 경우 과산화수소수가 평균 1% 이하로 극소량만이 누출되었으나 물 세척군에 있어서는 평균

Table 1. Results of H_2O_2 penetration in tested teeth after 1st, 2nd, 3rd bleaching

표백횟수	Mean		Minimum		Maximum		Negative Control	
	농도 (㎛M)	투과도 (%)	농도 (㎛M)	투과도 (%)	농도 (㎛M)	투과도 (%)	농도 (㎛M)	투과도 (%)
1	2.33	0.02	0.88	0.007	488.97	3.98	0	0
2	60.08	0.49	15.79	0.13	846.92	6.89	0	0
3	1970.61	16.02	58.13	0.47	3301.42	26.84	0	0

Table 2. Statistical difference of H_2O_2 penetration after the 1st, 2nd, 3rd bleaching

표백횟수	실험군(㎛M)		음성대조군(㎛M)		P <0.01
	Median	Range	Median	Range	
1 st	2.33	0.88 - 488.97	0	0	
2 nd	60.08	15.79 - 846.92	0	0	*
3 rd	1970.01	58.13 - 3301.42	0	0	*

* Statistically different by Friedman test (Duncan' multiple range test)

Table 3. Results of H_2O_2 penetration after rinsing with 4 irrigating agents after 3rd walking bleaching

(mean)

Catalase (㎛M)		70% Ethanol (㎛M)		Acetone (㎛M)		Distilled water (㎛M)	
3rd bleaching (Mean)	catalase rinsing (Mean)	3rd bleaching (Mean)	ethanol rinsing (Mean)	3rd bleaching (Mean)	acetone rinsing (Mean)	3rd bleaching (Mean)	D/W rinsing (Mean)
1805.01	16.44	2122.06	185.79	1965.63	171.49	1852.30	1087.38

Table 4. Statistical difference of H_2O_2 penetration between 4 groups after rinsing with 4 irrigating agents

Irrigating agents	Catalase	70% Ethanol	Acetone	Distilled water
Catalase				*
70% Ethanol				
Acetone				
Distilled water	*			

* Statistically significant (P<0.01) by Kruskal-Wallis test

59% 정도 누출되어 두 군 사이에는 통계학적으로 유의성이 있었으며, 에탄올과 acetone 로 세척한 경우에는 비슷한 누출량이 관찰되었다(Table 3 and Table 4, Kruskal-Wallis test, P< .01).

IV. 총괄 및 고찰

무수치의 변색은 일반적으로 치수내 출혈, 치수의 괴사, 근관내의 약물 및 충전재와 봉합재에 의하여 야기된다. 이러한 변색 치아의 심미적 개선을 위해 과거에는 주로 도재관, 포셀라인 라미네이트, 복합레진 비니어와 같은 보철적인 수복물이 사용되어 왔으나 최근에는 치질의 손상이 적고 간편하면서도 심미적으로 색조의 개선이 우수하다는 장점 때문에 표백술[1]을 임상에서 흔히 사용하게 되었다.

무수치 표백술의 약제로 초기에는 염소가 사용되었으나 크게 효과를 보지 못하여 좀 더 강력한 표백제인 Superoxol[2] 이 등장하게 되었고 그 후 표백반응의 촉매제로써 열이나 전열기구를 가하여 발생기 산소를 유리 활성화시키는 thermocatalytic bleaching[33] 이 등장하게 되었다. 그러나 열을 사용한 표백법의 부작용이 알려지면서 과붕산나트륨을 이용하여 표백제 상호간의 화학반응으로 발생기 산소를 유리활성화시켜 보다 빠르게 표백 효과를 나타내는 walking bleaching[17] 법이 소개되어 현재까지 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 walking bleaching 은 변색치의 색조개선에 있어서는 상당히 효과적이었으나 여러 학자들에 의해 치경부 흡수에 관한 증례[2, 23, 49, 50] 들이 계속해서 보고되었고, 동물실험[5,25,26] 에서도 이러한 현상이 보고됨으로서 치근흡수를 방지하기 위한 다각적인 노력이 계속되고 있다.

현재 이러한 치근 외흡수의 정확한 기전은 확실히 정립되지는 않았지만 여러 학자들에 의해 몇 가지 가설들이 제시되었다. Harrington 과 Natkin[2] 등은 상아세관을 통해 치경부의 치주인대로 표백제가 침투하여 염증성 흡수 과정이 진행된다고 하였으며, Lado[19] 등은 모든 치아의 10% 에서 관찰되는 cemental defect 가 있는 경우 상아세관을 통과한 표백제가 치경부의 상아질을 변성시키면 이것이 치주조직의 세포들에 의해 면역학적으로 다른 조직으로 인식되고 공격받게 되어 foreign body reaction 이 일어나 흡수가 시작된다고 설명하였고, Cvek 과 Lindvall[23] 등은 표백제 누출이 일어나면 일차적으로 치주조직에 영향을 미치고 치은 열구나 치수강에서 유래한 세균오염이 복합되어 염증반응을 동반한 치근 흡수가 야기된다고 보고하였다. 한편 Hasselgren[34] 등은 무수치 표백후 야기되는 치근 흡수반응은 경조직 흡수에 관여하는 파골세포와 면역체계가 관여해야 하며 흡수가 계속 진행되려면 과산화수소수의 누출과 같은 지속적인 자극 요소가 필요하다고 하였다.

일반적으로 이온이나 분자, 용액 및 약제들의 상아질과 백악질을 통한 확산력은 약제나 치아 조직의 특성 및 노출된 표면적과 위치, 도말층(smear layer) 의 유무나 온도 등 여러 가지 요인들에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있는데[54], 분자량이 적은 물질은 보다 빠르게 확산될 것이고[51] 강산으로 부터 유리되는 수소 이온은 약산으로 부터 유리되는 수소이온이나 염기로 부터 유리되는 hydroxyl 이온보다 상아질을 통한 확산력이 떨어진다[55]. Fuss[17] 등은 과붕산나트륨과 Superoxol 의 혼합물(walking bleachng paste) 과 calcium hydroxide paste 을 근관내에 위치시킨 후 투과도를 조사한 결과 표백제가 보다 쉽게 상아질로 투과되는 것으로 보고하였으며 이때 상아세관의 직경이나 노출 상아질의 면적 및 잔존 상아질의 두께 등

이 투과에 관여하는 요인으로 작용한다고 보고하였다.

무수치의 표백 후 종종 발견되는 이러한 치경부 외흡수는 그 원인이 명백히 규명되지는 않았지만 외상 경력, 열, 표백제의 pH 와 농도, 도말층의 유무, 이장재 유무, 잔존 상아질의 두께, 백악법랑 경계부의 해부학적 결함 등의 요인들이 복잡하게 연관되어 있는 것으로 보고되고 있으며, 무엇보다도 치경부를 통한 표백제의 직접적인 누출에 의한 염증 반응으로 시작된다는 결론에 이르고 있다[2,19,58]. 또한 이러한 치근 외흡수는 외과적 술식이나 복잡한 보존 술식 혹은 교정력을 병행하여 치료하여야 하며 심지어 발치를 해야 하는 손실을 감수해야 하므로 이를 최소화하거나 방지할 수 있는 표백조건이나 방법을 찾는 일은 임상적으로 중요한 의의를 갖는다고 할 수 있겠다.

Heitherasay[50] 등은 치아 외상과 흡수와의 연관성에 대하여 외상을 받아 노출된 상아질에 수복 백악질이 약하게 부착되면 표백제 누출이 용이하게 되어 흡수를 야기하게 된다고 주장하였으나 외상 경력이 전혀 없는 치아에서도 흡수가 보고되고 있어 이들간에 확실한 상관성을 찾기는 어렵다. 열을 치경부 외흡수의 주원인으로 생각한 Madison[25] 등은 Pashley[51] 의 연구 (40℃의 온도로 상승시켰을 때 상아질의 투과성은 2 배로 증가하는데 이는 열팽창에 의하여 상아세관의 직경이 증가되고 상아세관액의 viscosity 가 감소하기 때문이다.)를 토대로 thermocatalytic bleaching 시 표백반응의 촉매제로 사용하는 열원에 의해 자극성이 높은 과산화수소수가 상아세관을 통하여 투과성이 증가되면 백악질의 화학적인 변성이 일어나면서 흡수가 야기될 수 있다고 하였고, Landvall[23] 등은 thermocatalytic bleaching 을 시행 후 1 년 뒤 방사선학적 검사를 한 결과 약 50 % 정도는 치근 표면의 흡수가 상당히 진행되었고 일부에서는 ankylosis 도 관찰되었다고 보고하였다. 그러나 Rotstein[8] 등은 thermocatalytic bleaching 결과 표백제를 사용한 실험군의 18% 만이 조직학적인 흡수 소견이 관찰되었고 식염수를 사용한 대조군에서는 열에 의한 흡수가 관찰되지 않았음을 보고하면서, 열 단독으로 흡수를 일으키기보다는 독성의 과산화수소수가 상아질의 유기물 혹은 무기질과 반응하여 염증을 일으킬 수 있는 radical 이나 변성체를 형성하기 때문일 것이라고 주장하였다. 한편 Heller[27] 등은 열원을 사용하지 않는 walking bleaching 법도 반복적으로 장기간 시행하면 치근 흡수의 가능성이 크며 이는 부식성 표백제가 치수강에 남아 있다가 서서히 유리되면서 흡수 인자로 작용하기 때문이라고 보고하였는데, 이번 연구결과에서도 3 회 시술후 누출량이 크게 증가한 것으로 나타나 3회 이상의 walking bleaching 은 치경부 흡수를 야기할 수 있는 잠재성이 있음을 시사한다고 볼 수 있다.

이렇게 장기간의 walking bleaching 후 치질에 남아있는 과산화물들은 치수강이나 상아세관내의 상아질이나 백악질의 일부 성분과 결합하고 있다가 활성화되면 상아세관을 통하여 서서히 유리되어 지속적인 염증반응과 치근 외흡수와 같은 부작용을 야기하는 것으로 생각되는데 이는 chlorohexydine 이 hydroxyapatite 나 salivary mucin 성분과 결합하고 있다가 서서히 유리되면서 치주병을 유발하는 세균의 억제 효과를 나타내는 것과 유사한 작용기전을 갖는다고 할 수 있겠다[56].

표백제의 pH 가 치근 흡수에 미치는 영향에 관하여 Kehoe[6] 등은 표백제가 상아세관을 통과하여 치근 표면의 pH 를 떨어뜨리게 되면 파골세포를 활성화시켜 치근 흡수를 위한 적당한 환경을 조성하게 된다고 하였으며, 이러한 강산성의(pH 〈 3) 의 Superoxol 에 의해 야기될 수 있는 치근 흡수를 예방하기 위하여 표백이 끝난 후 수 일 동안 수산화칼슘을 일시적으로 치수강에 충전할 것을 추천하였다. 그러나 Fuss[7] 와 Friedman[8] 등은 표백제가 상아세관을 통하여 치근막으로 확산될 수 있다는 가정하에 *in vitro* 상에서 walking bleaching 후 산도의 변화를 측정한 결과 초기에는 산성이었지만 시간이 지날수록 Kehoe 와는 상반된 결과인 염기성의 pH 를 관찰할 수 있었다고 보고하였다. 따라서 치근흡수는 pH 로 인한 손상이라기 보다는 주위조직의로의 표백제의 누출에 의한 직접적인 손상이 치근 흡수의 한 원인으로 보여진다고 주장하였다.

표백제의 누출 즉 상아세관으로의 확산 및 치경부 흡수에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 사용한 표백제의 농도도 고려될 수 있겠다. 일반적으로 표

백 후 치경부 외흡수를 보고한 모든 증례는 30% 과산화수소수를 표백제로 사용하였는데, Bowels 와 Thompson[40] 등은 5% 이하의 과산화수소수로도 치수 효소인 catalase 나 peroxidase 등의 활성을 효과적으로 방해할 수 있음을 보고하였다. Ramp[36] 등은 *in vitro* 에서 0.05-0.1 mM 정도의 과산화수소수로도 glucose 대사와 collagen 합성을 방해하고 골활성도(bone activity) 를 조절하는 alkaline phosphatase 의 활성을 감소시켜 1 회의 접촉일지라도 골에 대한 지속적 위해를 줄 잠재성이 있다고 하였으며, Rotstein[43] 등은 30% 과산화수소수를 표백제로 사용한 후 상아질과 백악질내의 Ca/P ratio 의 감소를 보고하면서 이는 강력한 표백제에 의해 hydroxyapatite 내의 inorganic components 가 용해되었기 때문이며 이로 인하여 치아경조직에 치명적인 손상을 줄 수 있으므로 조심스럽게 사용해야 한다고 주장하였다.

Simon[57] 등도 30% H_2O_2 가 치수나 치주인대의 섬유세포에 비가역적인 손상을 야기할 수 있음을 보고하였는데 이는 비극성의 저분자량을 갖는 과산화수소수가 세포막을 쉽게 통과하여 두 가지 기전에 - 첫째, 세포내로 침투하여 방어 기전에 관여하는 효소를 고갈시켜 치명적인 손상을 야기한다는 것과, 둘째, 상대적으로 보호능력이 없는 세포 외막에 치명적인 병소를 야기한다는 것에 - 의하여 세포를 파괴할 수 있음을 제시하였다.

따라서 무수치 표백시 치경부로의 표백제 누출을 줄이기 위한 한 방법으로 Lado[19] 등에 의해 취약지역인 치경부의 상아세관을 폐쇄시키는 이장재의 도포가 처음 제안되었고 그 후 이장재의 종류와 도포위치 및 두께에 대한 많은 연구가 있었으나 학자들마다 다소 상이한 결과를 보여 주고 있다. Brighton[10] 등은 IRM 이 보다 우수한 이장효과를 보였다고 하였으며, 이장재의 도포위치에 관한 Ho[58], Costas[9] 등의 연구에서는 이장재가 백악법랑경계부 다소 하방에 위치시킨 경우에 우수한 표백효과를 보인다고 하였으나 표백제의 누출에 관점을 둔 연구[24,59] 에서는 오히려 이장재를 백악법랑경계부나 다소 상방에 위치시킨 경우에서 보다 우수한 이장효과가 나타났다. 한편 MacIssac 과 Hoen[49] 등은 표백시술 후 후향적 연구를 통해 치경부 흡수가 보고되었던 모든 치아들은 이장재를 하지 않았으며, 84% 증례에서는 열을 사용한 thermocatalytic bleaching 과 관련이 있었음을 보고하였다.

이에 본 연구에서는 표백제의 누출에 영향을 미치는 것으로 알려진 여러 인자들의 영향을 가급적 제한하고 실제 흡수가 나타나는 치경부에서의 누출량만을 평가하기 위하여, 밀폐 효과가 우수한 IRM 을 사용하여 인접면의 백악법랑 경계부를 연결한 선과 평행하게 사면으로 CEJ 1 mm 하방에 위치하도록 이장재를 도포하였다. 한편 전자현미경을 이용하여 치수강내에서 치근방향으로 상아세관을 조사한 결과, 그 주행이 S-curve 를 그리면서 CEJ 경계부에 평균 1.2-2 mm 의 거리를 두고 도달하였기에 이장재의 두께는 2 mm 로 하였으며, 각각의 치아에 사용되는 표백제의 양도 균일하게 하기 위하여 임상에서 사용하는 것처럼 mixing slab 에서 한번에 일괄적으로 혼합하여 나누어 사용하지 않고 0.02g 의 과붕산나트륨을 먼저 치수강안에 넣은 후 작은 면구를 위치시킨 다음 30% H_2O_2 20㎕[38]을 pipette 을 이용하여 그 상방에 떨어뜨리고 실험을 진행하였다. 또한 표백제의 교환 시기는 이전의 실험[57]에서 3 일 이후로는 표백제의 활성이 거의 관찰되지 않은 것으로 나타나 본 연구에서도 3일 간격으로 설정하였으며, 치수강에 남아있는 유기물질이나 도말층은 인산으로 산부식하여 표백제의 투과성을 증가시켰고, 예비실험 결과 CEJ 뿐만 아니라 치근 중간에 결함이 있는 경우에도 표백제의 누출이 관찰되어 본 실험에서는 CEJ 에서 치근쪽으로 3 mm, 치관쪽으로 2 mm 를 제외한 나머지 치아부위는 nail varnish 와 wax 를 수 회 도포하여 완전밀폐를 시행하였다.

일반적으로 자연치의 경우 cementum-enamel relationship 은 다양하며 약 10% 에서는 CEJ 에서 법랑질과 백악질이 만나지 않아 상아세관이 노출된 상태로 존재하는 것으로 보고되고 있고 같은 사람이나 심지어는 같은 치아에서도 부위에 따라 서로 상이한 양상을 보인다고 알려져 있다. Schroeder[46] 등은 같은 치아에서도 협면이나 설측면에서 상아질의 노출이 특히 많이 관찰되었다고 보고하였고 소구치에서는 약 4% , 전치의 경우는 약 25% 정도까지도 상아질이 노출되었음을 보고하였다. 따라서 본 연구는 교정 목적으로 발치한

소구치에서 Spectroscope 를 이용하여 CEJ 결함이 없는 치아만을 선별하여 사용하였으나 CEJ 의 해부학적 구조와 상아세관의 주행특성 등 표백제의 투과성에 영향을 미치는 요인들에 의해 어느정도 영향을 받았을 가능성이 있으며, 특히 잔존 상아질 두께(remaining dentin thickness) 를 모든 실험치아에서 균일하게 통일하지 못한 것도 실험결과에 많은 영향을 주었을 것으로 생각된다.

표백시 누출되는 과산화수소수의 양을 정량적으로 측정하는 방법에는 철이온의 산화작용을 이용한 ferrihiocyanate method[15] 와 GSH peroxidase 효소를 이용한 Gunzler 법[60] 등이 있다. 본 연구에서 사용한 ferrothiocyanate method 는 과산화수소수가 존재하는 시료에 ferrous ammonium chloride 를 넣으면 ferric ion (Fe^{2+}) 이 방출되고 여기에 다시 potassium thiocyanate 를 첨가하여 붉은 색의 ferrihiocyanate complex 가 형성되는 순간, 480 nm 파장의 UV-VIS Spectrophotometer (Milton Roy, U.S.A) 로 각각의 흡광도(optical density)를 측정하는 방법으로, 이 흡광도를 다시 농도로 환산하기 위해서는 30% H_2O_2 (Sigma chemical Co., Ltd) 원액을 단계적으로 희석하여 직선형태의 표준곡선을 얻은 후 각 치아에서 측정한 흡광도(optical density)를 여기에 대입하여 누출된 과산화수소의 농도를 계산할 수있다.

이를 토대로 본 실험에서 과산화수소수의 치경부 누출량을 permeability 로 환산하여 보면 이장재를 도포하였음에도 불구하고, 최소 0.007 % 에서 최대 26.84 % 까지 다양하였으며 표백횟수에 비례하여 과산화물의 누출량은 유의성있게 증가한 것으로 나타났다(Table 2, $P<0.01$). 이는 각 치아들의 해부학적, 형태학적 다양성과 잔존 상아질의 두께 및 표백제에 대한 치질의 화학반응의 다양성에 기인된 차이라고 보아도 좋을 것이다. 김[57] 등은 상.하악 전치의 치경부의 평균 상아질 두께가 각각 1.7 mm, 1.0 mm 로 보고하였는데 따라서 walking bleaching 시 표백제의 누출을 최소한으로 줄이기 위해서는 치경부에 남아있는 잔존 상아질 두께 (Remaining dentin thickness) 를 최대한 보존하는 것이 임상적으로 표백제의 누출을 최소한으로 줄일 수 있는 효과적인 방법이 되리라 사료된다. 또한 본 실험결과에서도 나타났듯이 밀폐효과가 우수한 IRM 을 사용하여 Steiner 의 방법[12] 으로 치경부를 이장하였음에도 불구하고 모든 실험 치아에서 치경부를 통한 표백제의 누출이 다양하게 관찰되었는데 따라서 표백후 잔존 과산화물을 제거하기 위한 한 방법으로 치수강 세척제를 이용하는 것도 임상적으로 의미가 있다고 할 수 있으며 이는 CEJ 부위에 해부학적으로 존재하는 많은 dentinal tubule/mm^2 수를 생각할 때 필수적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

본 실험에서 산소 자유기의 제거 효과를 비교한 결과 catalase 가 가장 우수하였고 물 세척군에서 가장 낮았으며($p<0.01$), 에탄올과 아세톤 군은 물 세척군보다는 그 효과가 우수하였지만 통계학적인 유의성은 없었다. 따라서 보통 임상에서 사용하듯이 물을 이용하여 치수강을 세척하는 방법으로는 잔존하는 과산화물의 독성기를 빠르게 중화시키는 효과적인 방법은 되지 못하는 것으로 생각되며, 다만 구강내에서 표백 후 시간이 경과함에 따라 과산화물의 농도가 점차적으로 감소되는 것은 Torneck[29] 의 보고에서 처럼 수분이나 타액의 반복적인 접촉에 의해 희석되거나 자연적으로 decomposition 되기 때문으로 추측된다.

Catalase[40] 는 자연계는 물론 포유동물의 조직에 풍부하게 있으며 치수에도 정상적으로 존재하다가 표백 후 생성되는 독성의 oxygen radical 에 저항하여 치수를 보호하는 antioxidant enzyme 으로써, 아래의 2 단계 화학반응을 거쳐 1 mol 의 catalase 는 5,000,000 mol/min 의 H_2O_2 를 각각 물과 산소로 분해시키며 이때 분해되는 과산화물의 양은 반응에 참여한 catalase 농도에 비례한다.

$CAT+H_2O_2 \rightarrow CAT\text{-}H_2O_2$(complex I) … (1)

$CAT\text{-}H_2O_2+H_2O_2 \rightarrow CAT+2H_2O+O_2$(catalase activity) … (2)

치수내에서 일어나는 catalase 의 분해반응은 매우 빠르고 적은 양의 에너지만을 필요로 하며, 온도나 pH 에도 크게 영향을 받지않고 본 실험결과에서 처럼 단시간에 거의 대부분의 과산화물을 효과적으로 제거할 수 있기 때문에 표백 후 치질에 남아있는 과산화물에 의한 부작용을 예방하는 효과적인 antagonist 로써 그 임상적 활용이 널리 기대된다. 그러나 catalase 나 superoxide dismutase[42] 및 glutathion peroxidase[40] 등과 같은 an-

tioxidant enzyme 을 임상에서 쉽게 사용하기 위해서는 많은 제약이 따른다. 무엇보다도 이들 효소가 공기중의 산소와 매우 민감하게 반응하기 때문에 보관상 주의가 필요한데 냉장고안에 밀폐시켜 보관하였다가 사용해야 하며, 또한 self-life 가 짧아 시간이 경과할수록 과산화물에 대한 decomposition 효과가 감소하기 때문에 장기간 사용할 수 없고 또한 고가의 비용이 필요하기 때문에 그 대체제로써 임상에서 쉽게 구하여 사용할 수 있는 물질의 개발이 요원한 실정이다. 이번 실험결과 에탄올이나 아세톤을 세척제로 사용한 군이 물 세척군보다 과산화물의 제거 능력이 우수하였는데 이는 산소가 용해되어 있는 치질이나 상아세관액을 효과적으로 증발시켰기 때문이라고 생각된다. 따라서 표백 후 에탄올이나 아세톤을 면구에 묻혀 치수강과 치근면에 약 5 분 정도 처리하거나 혹은 이들 성분이 포함된 상아질 전처리제를 - 예를 들면, 흔히 임상에서 사용하는 상아질 접착제인 Primer A & B (Allbond 2, Bisco Co., Ltd) 의 경우 acetone 이 60-99%, ethanol 이 10-30% 및 NTG-GMA 가 1-5% 함유되어 있어 구성용액의 대부분이 아세톤이나 에탄올같은 water-displacement solution 으로 이루어져 있다. - 사용한다면 표백 후 치질내의 수분이나 상아세관액에 용해되어 잔존하고 있는 산소 radical 을 효과적으로 제거할 수 있을 뿐 아니라 레진 충전시 산소 자유기에 의한 중합방해를 차단함으로써 표백 후 문제시 되었던 복합레진의 결합력 저하나 변연부의 누출을 예방할 수 있어 임상적으로 많은 도움이 될 것으로 생각된다.

본 실험결과 밀폐 효과가 우수한 IRM 을 CEJ 1mm 하방에 이장재로 사용하여 치경부로의 표백제 누출을 차단하였음에도 불구하고 모든 치아에서 치경부를 통한 표백제의 누출이 다양하게 발생되었고, 표백횟수가 2, 3 회로 늘어남에 비례하여 과산화수소수의 누출량도 급격히 증가한 것으로 나타났다. 따라서 수 차례 반복하여 walking bleaching 을 시행하는 경우에는 치아의 구조적 변성이나 치근 외흡수와 같은 부작용의 가능성이 많을 것으로 예견되므로 이의 예방적 차원에서 가급적 치경부의 잔존 상아질의 두께를 보존하는 것이 추천되며, 또한 술자가 좀더 만족할 만한 색조개선을 위해 반복적인 표백술을 시행한다 할지라도 hydroxyapatite 내의 유기성분의 용해 가능성만 증가되고 임상적으로 더 이상의 색조개선의 효과는 기대하기 어려우므로 표백종료를 위한 saturation point 시기를 빨리 결정하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 또한 Spasser[14] 등의 주장처럼 강한 독성의 과산화수소수 대신에 과붕산나트륨과 증류수를 사용하는 방법도 색조개선의 효과와 시간은 다소 길어지겠지만 이같은 부작용은 상당히 예방할 수 있는 표백방법으로 고려해 볼 수 있겠다.

또한 무수치 혹은 생활치 표백술을 시행하여 만족할만한 색조를 얻은 후 개방된 와동이나 혹은 제 3, 4, 5 급 와동을 복합레진을 이용하여 충전해야 하는 경우 이들 약제로 와동을 세척한다면 치질에 잔존하는 발생기 산소 때문에 표백후 통상적으로 시행하는 약 1-2 주간의 충전연기가 필요없거나 단축할 수 있으며 또한 잔존하고 있는 산소 자유기에 의한 복합레진의 중합방해로 인한 치질과의 결합력 및 강도의 저하도 막을 수 있겠고 궁극적으로는 수복제의 변연누출을 차단하여 재변색의 빈도 감소와 함께 수복제의 수명도 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

이처럼 치아 표백술 후 치근 외흡수가 일어나면 외과적 술식이나 복잡한 보존 술식 혹은 교정력을 병행하여 치료하여야 하며 심지어 발치를 하여야 하는 손실을 감수해야 하므로 이를 최소화하거나 방지할 수 있는 표백조건이나 방법을 찾는 일은 임상적으로 중요한 의의를 갖는다고 할 수 있겠다.

결론적으로 walking bleaching 후 야기될 수 있는 이러한 치경부 외흡수는 외상경력, 열, 표백제의 농도, 이장재의 유무, 잔존 상아질의 두께, 백악법랑 경계부의 해부학적 결함 등의 여러 인자들에 의해 영향을 받을 수 있으며 무엇보다도 과산화수소수의 누출로 인한 주위 조직의 손상이 직접적인 치근 흡수의 원인이 될 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 이를 확인하기 위하여 표백 후 백아법랑 경계부의 상아세관을 통한 과산화수소수의 누출 여부를 정량적으로 측정하였고 또한 여러 치수강 세척제를 사용함으로써 표백 후 과산화수소수가 치질에 잔존한다는 사실도 간접적으로 확인하였다. 이와 더불어 이들 약제의 효용성을 입증함으로써 이러한 세척방법이 표백 후 치질에 잔존하

는 과산화물에 의해 예상되는 치주조직이나 치경부의 흡수 및 손상을 예방하고 복합레진의 결합력 향상에도 도움이 될 수 있는 간편하고 효과적인 술식으로 앞으로 많은 임상가들에 의해 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 앞으로 이번 실험결과를 토대로 표백후 과산화물에 의해 나타나는 치근 외흡수와 같은 부작용들의 pathophysiology에 관한 보다 정확한 평가가 이루어져야 할 것으로 생각되며 아울러 그 기전의 올바른 이해를 토대로 표백산물에 의한 주위조직의 부작용을 효과적으로 차단할 수 있는 간편한 임상 술식이나 약제의 개발에 관한 지속적인 연구도 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

무수치 표백술 후 야기되는 치경부 외흡수나 치근단 염증은 치수강에 남아있는 자극성이 높은 과산화수소수가 상아세관이나 근관을 통해 서서히 누출됨으로써 상아질과 백악질의 변성을 초래하거나 치주 조직의 손상을 유발함으로써 야기된다는 가설들이 제시되고 있다. 이에 본 연구는 표백 후 치질에 잔존하는 과산화물을 효과적으로 제거하기 위하여 교정 목적으로 발치한 건전한 소구치 46 개를 선별하여 과붕산나트륨과 30% H_2O_2 (Superoxol)를 이용하여 walking bleaching 을 시행한 다음 치수강 및 치경부의 세척제로 antioxidant enzyme 인 catalase 와 water-displacement solution 인 에탄올 및 acetone 및 기존에 통법으로 사용하고 있는 물 세척후 산소 자유기의 제거 효과를 산화환원적정법을 이용하여 정량분석하고 통계학적으로 유의성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 표백후 치경부를 통해 누출되는 과산화수소수의 농도는 다양하게 관찰되었으며 표백횟수에 비례하여 누출량은 유의성있게 증가하였다($P < .01$).
2. 치수강 세척제중 잔존 산소 자유기의 제거 효과는 catalase 군이 가장 우수하였고 물 세척군이 가장 낮았으며($P < .01$), 에탄올과 아세톤군은 비슷한 제거 효과를 나타내었다.
3. 무수치 표백후 antioxidant enzyme 이나 water-displacement solution 으로 치경부나 치수강 부위를 세척함으로써 치질에 잔존하는 과산화물을 효과적으로 제거할 수 있다.

이상의 결과 고농도의 과산화수소수를 사용하는 walking bleaching 의 반복적 사용은 추천되지 않으며 표백 후 antioxidant enzyme 이나 water-displacement solution 로써 치경부나 치수강 부위를 세척한다면 치질에 잔존하는 산소 자유기를 효과적으로 제거할 수 있어 치경부 외흡수 및 치근단 부위의 염증 형성과 같은 부작용을 예방할 수 있으며, 잔존하는 산소로 인한 복합레진의 결합력이 저하되는 것도 막을 수 있겠고 이로 인한 수복제의 변연누출을 감소시켜 재변색의 빈도를 줄일수 있고 수복제의 수명도 연장시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Feinman RA, Goldstein RE, Garber DA. : Bleaching teeth. Chicago, Quintessence Publishing Co., 1987, p10.
2. Harrinton GW, Natkin E. : External root resorption associated with bleaching of pulpless teeth. J Endodon. 1979 : 5:344-348.
3. Weiger R, Kuhn M. : In vitro comparision of varoius types of sodium perborate used for intracoronal bleaching of discolored teeth. J Endodon. 1994 : 20(7) : 338-341
4. Smith JJ, Cunninghamm CJ, Montgomery S. : Cervical canal leakage after internal bleaching procedure. J Endodon. 1992 : 18(10) : 476-481.
5. Rotstein I, Friedmann S, Sommer M. : Histological characteriztion of bleaching induced external root resorption in dog J Endodon. 1991 : 17(9) : 436-441.
6. Kehoe JC. : pH reversal following in vitro bleaching of pulpless teeth. J Endodon. 1987 : 13(1) : 6-9.
7. Fuss Z, Szajkis S, Tagger M. : Tubular permeability to calcium hydroxide and to bleaching agents. J Endodon. 1989 : 15 : 362-364.

8. Rotstein I, Friedmann S. : pH variation among materials used for intracoronal bleaching. J Endodon. 1991 : 17(8) : 3760379.
9. Costas FL. : Intracoronal isolating barriers : effect of location on root leakage and effectiveness of bleaching agents. J Endodon. 1991: 17(8) : 365-368.
10. Brighton DM, Harrington GW. : Intracoronal isolating barriers as they relate to bleaching. J. Endodon. 1994 : 20(5) : 228-232.
11. Rotstein I, Zyskind D. : Effect of different protective base materials on hydrogen peroxide leakage during intracoronal bleaching in vitro. J. Endodon. 1992 : 18(3) : 114-117.
12. Steiner DR, West JD. : A method to determine the location and shape of an intracoronal bleaching barrier. J Endodon. 1994 : 20(6) : 304-306.
13. Rotstein I, Torek Y. : Effect of cementum defects on radicular penetration of 30% H_2O_2 during intracoronal bleaching. J Endodon. 1991 : 17(5) : 230-233.
14. Spasser HF. : A simple bleaching technique using sodium perborate. NY Dent J. 1961:27:332-334.
15. Vogel AI. : A textbook of quantitative inorganic analysis. Longmans. 1961: pp:785.
16. Rotstein I, Torek T. : Effect of bleaching time and temperature on the radicular penetration of hydrogen peroxide. Endod Dent Traumatol. 1991:7:196-198.
17. Nutting EB, Poe GS.: Chemical bleaching of discolored endodontically treated teeth. DCNA 1967: 655-672.
18. Rotstein I, Zaikland M, Friedman S. : In vitro efficacy of sodium perborate preparations used for intracoronal bleaching of discolored nonvital teeth. Endod Dent Traumatol. 1991 : 7: 177-180.
19. Lado EA, Stanley HR, Weisman MI. : Cervical resorption in bleached teeth. Oral Surg. 1983:55(1):78-80.
20. Montgomery S. : External cervical resorption after bleaching a pulpless teeth. Oral Surg. 1984 : 57(2): 203-206.
21. Latcham HL. : Postbleaching cervical resorption. J Endodon. 1986 :12(6) : 262-264.
22. Goon WWY, Cohen SC, Borer RF. : External cervical root resorption following bleaching. J Endodon. 1986 : 12(9) : 414-418.
23. Cvek M, Lindvall AM. : External root resorption following bleaching of pulpless teeth with oxygen peroxide. Endod Dent Traumatol. 1985 :1 : 156-160.
24. Friedman S, Rotstein I, Stabholz A. : Incidence of external root resorption and esthetic results in 58 bleached pulpless teeth. Endod Dent Traumatol. 1988: 4: 23-26.
25. Madison S, Walton RE, Chiles S. : Cervical root resorption following bleaching of endodontically treated teeth: An in vitro study. J Endodon. 1987:13(3) :135
26. Madison S, Walton RE. : Cervical root resorption following bleaching of endontically treated teeth. J Endodon. 1990 : 16(12): 570-574.
27. Heller D, Skirber J. : Effect of intracoronal bleaching on external cervical root resorption. J Endodon. 1992: 18(4) :
28. Rotstein I, Lehr Z. : Effect of bleaching agents on inorganic components of human dentin and cementum. J Endodon. 1992 : 18: 290-293
29. Torneck CD, Titley KC. : Effect of water leaching on the adhesion of composite resin to bleached and unbleached bovine enamel. J Endodon. 1991:17:156-160.
30. Rotstein I, Wesselink PR, Bab I. : Catalase protection aganist hydrogen peroxide-induced injury in rat oral mucosa. Oral Surg(in press).
31. Titley KC, Torneck CD, Smith DC. : The effect of concentrated hydrogen peroxide solutions on the surfac morphology of human tooth enamel. J Endodon. 1988;14;69-74.

32. Walton RE, Torabinejad M. : Principles and practice of endodontics. Philadelphia: WB Saunders, 1989:385-397.
33. Pearson HH. : Bleaching of discolored teeth. J Am Dent Assoc. 1985;56:64-65.
34. Gold SI., Hasselgren G. : Pheripheral inflammatory root resorption. A riview of the literature with the case reports. J Clin Periodontol. 1992:523-534.
35. Fligel SEG., McCoy JP., Johnson KJ. : Protein degradation following treatment with H_2O_2. Am J Pathol. 1984; 115:418-425.
36. Ramp WK., Arnold RR. : Hydrogen peroxide inhibits glucose metabolism and collagen synthesis in bone. J Periodontol. 1987:58(5):340-344.
37. Cooper JS., Bokmeyer TJ. : Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents. J Endodon. 1992:18(7):315-317.
38. Rotstein I : In vitro determininationand quantification of 30% hydrogen peroxide penetration through dentin and cementum during bleaching. Triple O. 1991:72:602-606.
39. Al-Nazhan S. : External resorption after bleaching : a case report. Triple O. 1991:72:607-609
40. Bowles WH., Burns H. : Catalase/peroxidase activity in dental pulp. J Endodon. 1992;18(11):527-529.
41. Zach l., Cohen G. : Pulp responses to externally applied heat. Oral Surg. 1965:19:515-530.
42. Borrelo GS., Miani C. : Copper-zinc superoxide dismutase in human and animal dental pulp. J Dent. 1991:19:319-321.
43 Rotstein I., Stabholz A. : Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. J Endodon. 1996:22(1):23-26.
44. Titley KC., Torneck CD. : Scanning electron observations on the penetrations on the penetration and structure of resin tags in bleached and unbleached bovine enamel. J Endodon. 1991:17(2):72-76.
45. McCord JM., Fridovich I. : Superoxide dismutase : An enzymic function for erythrocuprein. J Biol Chem. 1969:244(22):6049-6055.
46. Shroeder HE., Scherle WF. : Cemento-enamel junction-revisited. J Periodon Res. 1988:23:53-59.
47. Cullen DR., Nelson JA. : Peroxide bleaches: Effect on tensile strength of composite resins. J Proth Dent. 1993:69:247-249.
48. Weiger R., Kuhn A. : Radicular penetration of hydrogen peroxide during intracoronal bleaching using various forms of sodium perborate. Int. Endodon J (in press).
49. MacIsaac AM., Hoen CH. : Intracoronal bleaching : Concerns and considerations. Canadian Dent Assoc J. 1994:60(1)57-64.
50. Heitherasay GS., Marin PD. : Incidence of invasive cervical resorptionin bleached root-filled teeth. Australian Dental J. 1994:39(2): 82-87.
51. Pashley DH., Livingstone MJ. : Effect of molecular size on permeability coefficients in human dentine. Arch Oral Biol. 1978:23:391-395.
52. Kalili KT., Caputo AA., Yoshida K. : Effect of alcohol on composite bond strength to bleached enamel. J Dent Res. 1993:72:285. Abstr.#1440.
53. Barghi N., Godwin JM. : Reducing the adverse effect of bleaching on composite-enamel bond. J Esthetic Dent. 1994:6(4):157-161.
54. Outhwaite WC., Livingstone MJ., Pasgley DH. : Effects of changes in surface area, thickness, temperature and post-extraction time on human dentin permeability. Arch Oral Biol. 1976:21:599-603.
55. Wang JD., Hume WR. Diffusion of hydrogen ion and hydroxyl ion from various sources through dentine. Int Endod J. 1988:21:17-26.
55. Rolla G., Schiott R. : The affinity of chlorhexidine for hydroxyapatite and salivary mucins. J Periodont Res. 1970:5:90-95.
56. Simon RH., Patterson D. : Hydrogen peroxide

causes the fatal injury to human fibroblasts exposed to oxygen radicals. J Biol Chem. 1981:256:7181-7186.
57. 김성철., 박동수. : 이장재 도포방법에 따른 표백제의 치경부 누출에 관한 연구. 대한치과보존학회지. 1995:21(1):200-217.
58. Ho S., Goerig A. : An in vitro comparision of different bleaching agents. J Endodon. 1989:15:106-111.
59. Smith JJ., Cunningham J., Montgomery S. : Cervical canal leakage after internal bleaching procedure. J Endodon. 1992:18:476-481.
60. Flohe L., Gunzler WA. : Assays of glutathione peroxidase.. Methods in enzymatology. 1984:105:114-121.