

무수치 표백시술시 치경부를 통한 표백제 누출량의 정량적 측정

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

박수경 · 이정식 · 최한석

Abstract

IN VITRO DETERMINATION & QUANTIFICATION OF HYDROGEN PEROXIDE PENETRATION DURING NONVITAL BLEACHING

Soo-Kyeong Park, Chung-Sik Lee, Han-Seuk Choi

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

It has been demonstrated that intracoronal bleaching of pulpless teeth may result in cervical root resorption. Several authors postulated that bleaching agents such as hydrogen peroxide penetrated through the dentinal tubules to damage the surrounding tissues that cause cervical root resorption.

The purpose of this study was to suggest on in vitro model for direct determination of hydrogen peroxide penetration through CEJ during nonvital bleaching. In addition, this model permit the quantification of the amount of hydrogen peroxide penetrated during the procedure.

Freshly extracted intact premolars, removed for orthodontic reasons were used. Root canal treatment was performed in each tooth. And then the outer surface and crown portion of the teeth was sealed with wax leaving the CEJ. The prepared teeth mounted on the wax laminates were placed in plastic assay tubes containing 1.5ml bidistilled water with their entire root, including the CEJ, submerged in the solution.

The teeth were divided into four groups.

Thermo group : thermocatalytic bleaching with superoxol

Walk group : walking bleaching with sodium perborate & superoxol

Combi group : combination of thermocatalytic & walking bleaching

Dw group : walking bleaching with sodium perborate & water

The bleaching procedure was performed three times. The bleaching intervals were at 3 days. The hydrogen peroxide present in the assay system was added to ferrous ammonium

* 본 연구논문은 서울대학병원 1994년도 지정진료비에 의하여 이루어 졌음.

sulfate resulting in ferric ion release. Upon the addition of potassium thiocyanate a ferrithiocyanate complex results, which absorbs light at the wavelength of 467nm. The radicular penetration of hydrogen peroxide in the four groups was assessed directly using spectrophotometer. The amount of hydrogen peroxide in the samples tested is determined by comparing them with a standard curve generated by known amounts of hydrogen peroxide.

The results were obtained as follows :

1. In all experimental groups except the Dw group showed lower penetration amount in day 4 than day 1, there was statistical importance in the difference($P < 0.05$).
2. After 3rd treatment, Thermo group showed slightly increased value and narrow distribution. Walk group showed much more penetration amount and widely dispersed value. Value of Combi group showed wide distribution without regard to treatment time, but value of Dw group evenly distributed.
3. Thermo group, Walk group and Dw group showed a tendency of increasing penetration amount with increasing treatment times($P < 0.01$), but Combi group revealed no statistically important differences.
4. Combi group showed the highest degree of penetration. Walk group showed lower penetration than Combi group. Thermo group & Dw group showed lower than Walk group.
5. Cervical root permeability to hydrogen peroxide varied from 0 to 35%.

Key words : hydrogen peroxide, nonvital bleaching, cervical root resorption.

I. 서 론

변색된 치아의 치료 방법으로 보철적인 수복물이 오랫동안 사용되어왔으나 최근 레진이나 porcelain laminated veneer 같은 접착형 수복 술식이 크게 발전하면서 상대적으로 치질의 손상이 적고 치료비가 적게 드는 이점을 가지고 있는 표백술에 의한 심미적 치료를 임상에서 흔히 사용하게 되었다.¹⁾

변색된 무수치의 표백을 위해 1895년 Garretson의 Chloride를 이용한 시도가 있었으나 크게 효과를 보지 못하여 그 후 강력한 산화제로써 Superoxol(hydrogen peroxide)과 Pyrozone(ether-peroxide)를 사용하게 되었으며^{2,3)}, 1950년대에 이르러 치수관에 위치한 표백제에 뜨거운 기구나 전열기구를 이용하여 열을 가하여 표백제에서 발생기 산소 유리를 활성화시키는 thermocatalytic bleaching을 이용하게

되었다.⁴⁾ 또한 1960년대에는 열 대신 sodium perborate를 이용하여 화학적으로 발생기 산소를 유리 활성화시키는 술식이 보고 되었는데⁵⁾ Spasser⁶⁾는 sodium perborate를 물과 되게 혼합하여 치수관에 위치시키고 임시 수복제로 충전한 다음 3-7 일후 이 과정을 반복하였으며 이 기간 동안 발생기 산소가 유리되어 표백된다 하여 walking bleaching 이라 명명하였다. 그후 Nutting과 Poe가^{7,8)} 물대신 과산화수소수를 사용하여 표백제간 상호작용으로 보다 빠른 표백 효과를 얻었음을 보고한 이래 특별한 장비가 필요 없고 편리하며 치료 시간이 짧은 과산화수소수와 sodium perborate를 이용한 walking bleaching이 흔히 이용되고 있다.^{9,10)}

무수치의 표백술은 변색된 치아를 가장 보존적으로 심미적 회복을 가져다 줄 수 있으나 Harrington과 Natkin³⁾에 의해 치경부의 치근 외흡수가 보고된 이래 여러 문헌들¹¹⁻¹⁶⁾ 에서

임상 증례 보고가 있었으며 동물실험을 통해 치근외흡수를 관찰한 경우도²⁰⁻²³ 보고되고 있어 이에 대한 관심이 증가되고 있다.

표백후 치근의 흡수가 일어나게 되면 수산화칼슘을 이용한 치료로 정지시킬 수도 있으나^{12, 24, 25} 실패한 경우 외과적 술식과 복잡한 보존 술식을 병행하여 치료하여야 하며 심지어 발치를 하여야 하는 손실을 감수해야 하므로^{13, 14, 17, 26, 27} 치근의 흡수를 최소화하거나 방지할 수 있는 표백조건을 찾는 일은 임상적으로 중요한 의의를 갖는다고 할 수 있다.

무수치의 표백시술후 발견되는 치근 흡수와 관련된 원인으로 여러 가지가 제기되고 있다.

Cvek과 Lindvall¹⁵은 11증례중 10증례에서, Heithersay등¹⁷은 모든 증례에서, Mac Issac과 Hoehn¹⁸은 72% 증례에서 외상을 받은 경력과 관련이 있었음을 보고하면서 외상을 받은 치아의 노출된 상아질에 수복 백악질이 약하게 부착되면서 표백제 누출이 용이하게 된다고 설명하였으나 외상 경력과 전혀 관련이 없는 경우에서도 많은 증례 보고가 있었다.^{9, 11-14}

Kehoe²⁴는 표백제가 상아세관을 통과하여 치근 표면의 pH를 떨어뜨리게 되면 파골 세포를 활성화시키며 치근 흡수를 위해 적당한 환경을 조성하게 된다고 보고 하였으며, 이에 근거하여 치근의 흡수시 수산화칼슘을 이용한 치료를 추천하였으나 Fuss등²⁸과 Rostein과 Friedman²⁹은 표백제가 초기에는 산성이나 대부분이 분해되어 시간이 지날수록 알칼리성이 증가되어 산성으로 인한 손상이라기 보다는 치근 주위 조직에 대한 직접적 손상이 원인으로 보여진다고 보고하였으며, Goon등¹⁴은 수산화칼슘이 일단 일어난 치근의 흡수를 정지시킬 수 없음을 보고하기도 하였다.

Thermocatalytic bleaching과 관련된 치경부 외흡수가 보고되면서^{3, 15, 18, 22} 열이 흡수의 주 원인으로 생각되어지기도 하였으나 Rostein등²¹은 동물실험에서 식염수 대조군에 대해 thermocatalytic bleaching을 시행하였으나 흡수를 발견할 수 없었음을 보고하였으며, walking bleaching 후에도 치경부 외흡수에 대한 많은 증례 보고^{12, 13, 22}가 있었다.

개를 이용한 실험에서 Madison²⁰은 thermocatalytic bleaching에서 발현 빈도가 조금 높았음을 보고하였고 Heller²³는 walking bleaching만으로도 발현 시킬 수 있음을 증명하였으나 Friedman¹⁶은 58 증례의 통계계를 통해 흡수 빈도가 사용된 술식과 관련이 있는 것으로 보이지는 않는다고 보고하였다.

표백시술후 치경부 외흡수를 야기시키는 기전에 대해 몇 가지 가설들이 제시되었는데 Harrington과 Natkin³은 상아 세관을 통해 치경부의 치주인대로 표백제가 침투되어 염증성 흡수 과정을 기시한다고 가정하였으며, Lado등¹¹은 상아세관을 통과한 표백제가 치경부의 상아질을 변성시키고 이것이 치주조직의 세포들에 의해 이물질로 인식되어 공격받으면서 흡수가 시작 된다고 설명하였고, Cvek과 Lindvall등¹⁵은 표백제 누출이 일어나면 일차적으로 치주조직에 영향을 미치고 치은 열구나 치수관에서 유래한 세균 오염이 복합되어 염증반응을 동반한 치근 흡수가 야기된다고 보고하였다. Gold와 Hassegen³⁰은 표백시술후 치경부 외흡수를 peripheral inflammatory root resorption의 범주에 포함시켰으며 치근 흡수를 일으키는데는 경조직 흡수에 관여하는 세포와 면역 체계가 관여하는데 흡수가 계속 진행되는데는 염증성 자극이 필요하다고 하였으며 표백시 과산화수소수의 누출이 하나의 자극 요소가 된다고 설명하였다.

표백시술후 치경부 외흡수를 보고한 모든 증례에서 30% 과산화수소수를 표백제로 사용하였는데^{3, 11-19} Fligel등³¹은 50-5000nM의 과산화수소수가 hemoglobin의 단백질 용해에 대한 감수성을 증가시킨다고 하였으며, Bowles와 Thompson³²은 5% 이하의 과산화수소수로도 치수효소의 활성을 극적으로 방해할 수 있음을 보여주었고, Ramp등³³은 in vitro에서 0.05-0.1mM 정도의 과산화수소수도 glucose 대사와 collagen 합성을 방해하고 골 증량과 alkaline phosphatase 활성을 감소시켜 한번의 접촉일 지라도 골에 대해 지속적 효과를 줄 잠재성이 있다고 보고하였고, Rostein등³⁴은 표백제 처리후 상아질과 백악질의 calcium량으로 용해도를 측정하고 ashing 전후 무게 비교로 유기물

질의 양을 측정한 결과 30% 과산화수소수 처리시 용해도가 크게 증가하고 화학적 구조도 변화되었다고 보고하였다.

표백시술시 침투되는 과산화수소수의 양을 정량해 보려는 시도로써 1987년 Bowles와 Ugwuneri³⁶⁾가 상악전치에 과산화수소수로 생활치 표백시술을 15분간 시행한 뒤 치수강에 침투되는 양을 spectrophotometer로 정량 하였으며, Cooper등³⁶⁾은 생활치 표백시술을 5%와 30% 과산화수소수, 10%와 15% carbamide peroxide로 시행하였을 때 누출되는 과산화수소수 양을 측정하여 비교하였다. 1991년 Rostein¹⁾이 소구치의 백악법랑경계부에 인위적 결함을 형성하여 superoxol로 15분간 thermocatalytic bleaching을 시행한 뒤 과산화수소수 누출량을 측정한 바 있으며, Smith등³⁷⁾은 walking bleaching후 근관충전물과 상아세관으로의 침투정도를 methylene blue dye를 이용 하여 측정하였다.

표백시술후 치경부 외흡수와 관련하여 외상경력, pH, 열 등은 간접적 요인으로 생각되어지며 제시된 가설들이 일차적으로 과산화수소수 누출로 인한 주위조직의 손상을 주된 원인으로 설명하였는데 이러한 가설을 뒷받침하는 몇 가지 실험들이 있었으나 과산화수소수 누출과 관련된 간접적 증거에 불과하므로, 본 연구에서는 무수치 표백시술시 백악법랑경계부의 상아세관을 통해 누출되는 과산화수소수를 spectrophotometer를 이용하여 정량적으로 측정하고, 무수치 표백 방법에 따른 과산화수소수 누출량의 차이를 시간 경과에 따라 비교 관찰하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

교정 목적으로 발거된 건전한 소구치를 광학현미경으로 검사하여 백악질 결함이나 백악법랑경계부에서 상아질 노출이 없는 것만을 실험치아로 사용하였다.

표백제는 superoxol(Union Broach Corp., U.S.A.)과 sodium perborate(Junsei Chemi-

cal Co., Japan)를 사용하였고, 근관내 이장재와 와동의 임시 충전재로는 IRM(Type III, Class I, Caulk/Dentsply Inc., U.S.A.)을 사용하였다.

Thermocatalytic bleaching를 위해 Electric bleaching instrument(Union Broach, New York, NY)를 이용하였다.

2. 실험 방법

실험치아의 치근 표면에 부착되어 있는 잔사와 치석을 백악질이 손상되지 않도록 주의하여 초음파 치석제거기로 제거한후 생리식염수에 보관하였다.

각 치아는 고속엔진의 No. 2 round bur를 사용하여 치수강을 개방하고 저속엔진의 No. 701 tapered fissure bur로 와벽을 평활하게 하였으며 No. 2, No. 3 gate glidden bur를 사용해 근관입구를 확대하고 No. 15 K-type file을 근관에 삽입해 치근단공에서 보이기 시작했을 때의 길이보다 1mm 짧은 길이를 근관장으로 정하여 통법에 따라 근관을 확대 형성하였다. Gutta percha와 zinc oxide eugenol sealer를 이용하여 축방 가압법으로 근관충전을

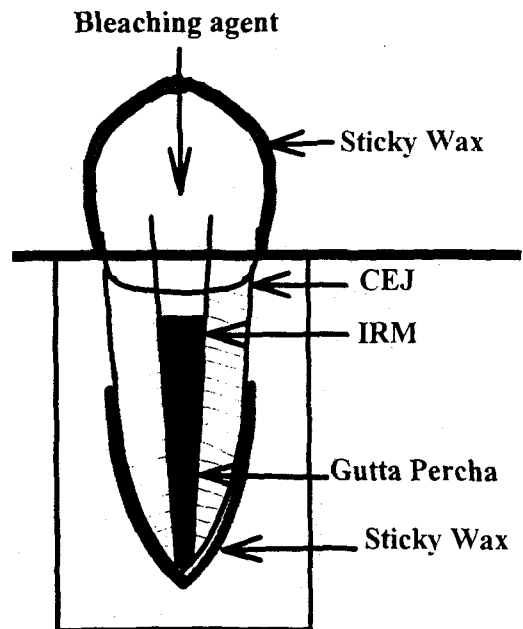


Figure 1. Study model : schematic diagram

하였는데 치수강 상방의 과잉의 gutta percha는 뜨거운 수동기구를 이용하여 백악법랑경계부에 위치하도록 제거하였다.

근관 충전물이 경화되면 뜨거운 수동기구와 저속엔진의 No. 701 tapered fissure bur를 이용하여 근관 충전물을 2mm 제거한 다음 IRM을 순·설 측과 인접면의 백악법랑경계부 1mm 하방에 평행하도록 하여 전체적으로 사면을 두어 1.0mm 두께로 근관내 이장하였다.

충전이 완료된 모든 치아는 백악법랑경계부에서 치근쪽으로 3mm, 치관측으로 2mm을 제외한 나머지 부분을 sticky wax로 밀봉하고 nail varnish를 2회 도포 하였다. 각 치아를 한쪽은 치관이 노출되고 다른 한쪽은 치근이 노출되게 하기 위해 boxing wax로 백악법랑경계부 2mm 상방 위치에 1mm 두께로 치아를 감싸준 다음, 1.5ml 증류수가 들어있는 시험관에 전 치근이 잠기도록 위치시켰다. 완전 밀봉을 위하여 치아와 boxing wax, 시험관과 boxing wax 주변을 sticky wax로 밀봉하고 paraffin film으로 3번 감싸주었다(Figure 1).

3. 실험군

40개의 치아를 아래와 같이 표백방법을 달리하여 각 군 당 10개씩 네 개의 군으로 분류하여 실험을 시행하였다(Table 1).

Thermo group은 superoxol과 열을 이용하여 thermocatalytic bleaching를 시행한 군으로써, 치수강에 작은 면구를 놓고 superoxol 10 μ l을 적정한 후 165°F로 고정시킨 electric bleaching instrument를 3분간 적용시켰으며, superoxol 10 μ l을 더 적정한 후 3분간 더 열을 적용시킨 다음, superoxol에 적셔진 면구를 건조된 면구로 교환하고 IRM으로 임시 가봉하였다.

Walk group은 superoxol과 sodium perbo-

rate를 이용하여 walking bleaching를 시행한 군으로써, 치수강에 아말감 운반기를 이용하여 sodium perborate 0.02g을 위치시키고 superoxol 20 μ l를 적정한 후 표백제의 외부에 작은 면구를 덮고 IRM으로 임시 가봉하였다.

Combi group은 combination technique을 시행한 군으로써 실험 1군의 thermocatalytic bleaching 방법을 동일하게 적용시킨 뒤 바로 실험 2군의 walking bleaching 방법을 시행하였다.

Dw group은 증류수와 sodium perborate을 이용하여 walking bleaching을 시행한 군으로써, 치수강에 sodium perborate 0.02g을 위치시키고 증류수 20 μ l을 적정한 후 표백제의 외부에 작은 면구를 덮고 IRM으로 임시 가봉하였다.

모든 치아는 37°C 와 100%의 습도가 유지된 항온기에 보관하였는데 1일 후 시험관에서 용액을 취하여 과산화수소수를 정량 하였으며, 시험관에서 치아를 분리하여 새로운 증류수가 들어있는 시험관에 옮겨 위와 동일한 방법으로 밀봉하여 항온기에 보관하였다가 3일 후 같은 방법으로 과산화수소수를 정량하였다. 표백제의 교환을 위해 임시 충전재를 No. 2 round bur를 이용하여 제거하고 세척·건조시킨 후 다시 새로운 표백제를 넣어 같은 방법으로 각각의 표백시술을 시행한 다음 밀봉하여 증류수를 교환한 시험관에 담그어 3일간 보관하였다가 3번째 과산화수소수 정량을 시행하였으며 다시 동일한 방법으로 표백제를 교환하고 3일간 보관하였다가 4번째 과산화수소수 정량을 시행하였다.

4. 과산화수소수의 정량법

과산화수소수의 정량은 Thurman^{등⁵⁰⁾}의 방

Table 1. Experimental groups

Experimental group	Technique
Thermo	Thermocatalytic bleaching with superoxol
Walk	Walking bleaching with sodium perborate & superoxol
Combi	Combination of thermocatalytic & walking bleaching
Dw	Walking bleaching with sodium perborate & water

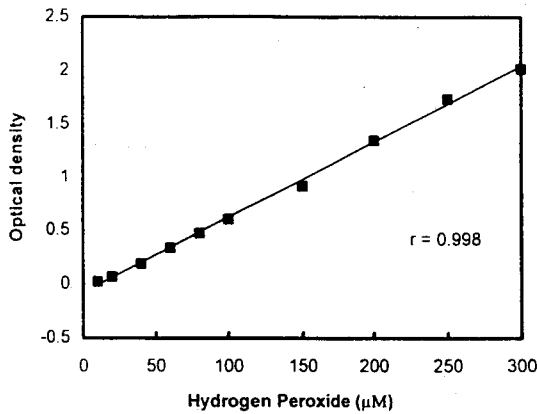


Figure 2. Standard curve generated by 30% H_2O_2 dose response

법으로 하였다. 실험 치아가 담긴 시험관에서 용액을 0.5 ml 취하고 증류수를 0.5 ml 넣어 전체 용량이 1ml가 되게 한 다음 10mM ferrous ammonium sulfate(Sigma chemical Co., U. S.A.)을 0.2ml, 2.5M potassium thiocyanate(Aldrich chemical Co., U.S.A.)을 0.1ml 적정하였다.

과산화수소수가 존재할 경우 ferrithiocyanate complex가 형성되어 무색에서 붉은 색으로 변하는 반응이 일어남에 근거하여 467nm 파장의 spectrophotometer (Cary, Varian Australia PTY LTD., Australia)에서 광학밀도를 측정한다. 다음 표준곡선(Fig. 2)을 이용하여 과산화수소수의 양을 계산하였다. 증류수 1ml에서 과산화수소수의 양을 측정하여 음성 대조군으로 하였으며 각 치아에서 표본용액을 3번 취하여 동일실험을 반복 후 평균값으로 하였다.

III. 실험 성적

과산화수소수를 0 에서 300 μ mol 범위에서 단계적으로 희석한후 467nm 파장에서 흡광도를 측정하여 Figure 2와 같은 표준곡선을 얻었으며 측정된 모든 값은 표준 곡선을 이용하여 과산화수소수의 농도로 환산하였다. 표준곡선은 0.998의 상관계수를 갖었으며 $Y=141.370 \times X + 11.5386$ 의 일차식을 갖는 직선 형태를 보였다.

Thermo group, Walk group, Combi group,

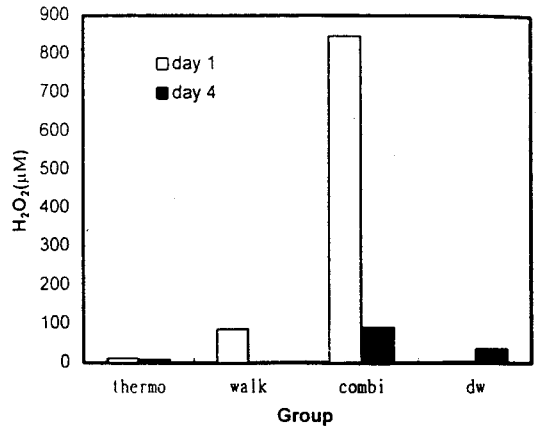


Figure 3. Comparison with H_2O_2 concentration(μ mol) between day 1 & day 4

Table 2. Comparison with H_2O_2 concentration (μ mol) between day 1 & day 4 by Wilcoxon signed rank test

Group	Prob> Z	P<0.05	P<0.01
Thermo	0.241		
Walk	0.0227	*	
Combi	0.6625		
DW	0.8961		

* significantly different between day 1 & day 4

Dw group에서 1회 시술시 1일후의 값과 4일후의 값을 Figure 3에 나타내었으며, 각각의 차이 검정은 Wilcoxon signed rank test를 이용하여 Table 2에 보였다. Walk group은 1일후 대부분이 누출되고 4일째 유의성있게 감소되었으며 Dw group은 시간이 지남에 따라 증가하는 것으로 나타났다.

각 군별로 1회, 2회, 3회 시술시 과산화수소수 누출량은 Table 3과 같다. Thermo group은 3회 시술시 약간 증가하였으나 표본값이 비슷한 분포를 보였다. Walk group은 3회 시술시 누출량이 크게 증가할뿐 아니라 표본값이 넓게 흩어지는 결과를 보였다. Combi group은 시술 횟수에 관계없이 표본값이 모두 넓게 분포하였다. Dw group은 시술 횟수와 관계 없이 표본값이 모두 균일한 분포를 나타내었다.

Table 3. Results of H₂O₂ concentration in the four groups

Group	Treatment	Median(μ M)	Minimum(μ M)	Maximum(μ M)
Thermo	1	16.8525	0	107.7567
	2	25.95305	8.7305	122.376
	3	42.2929	16.0402	398.381
Walk	1	3.6084	1.286	392.265
	2	75.044	13.65	668.328
	3	2167.4375	42.0242	3836.33
Combi	1	193.6586	0	4549.989
	2	93.3805	8.699	2866.556
	3	89.05885	29.0305	3768.07
Dw	1	9.22405	0.3371	47.1655
	2	20.03205	2.3132	64.1914
	3	56.9653	24.9367	98.692

Table 4. Statistical difference of H₂O₂ concentration between each group in the 1st, 2nd and 3rd treatment

	CHISQ	DF	Prob>CHISQ	P<0.05	P<0.01
1st Tx	3.306	3	0.3468		
2nd Tx	13.586	3	0.0035	*	*
3rd Tx	14.252	3	0.0026	*	*

* significantly different by Kruskal-Wallis test

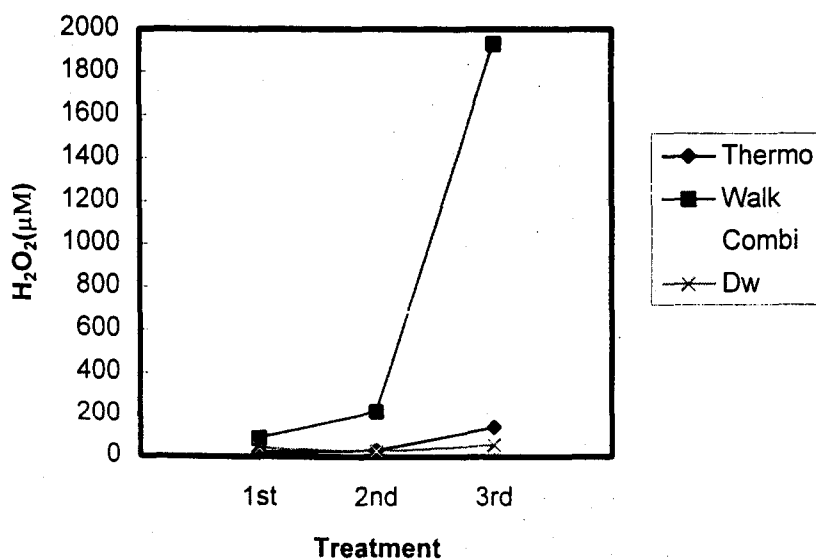


Figure 4. Comparison of H₂O₂ concentration in the four groups

각 군의 평균값으로 표백 횟수에 따른 결과를 종합한 것은 Figure 4와 같다. 1회, 2회 및 3회의 시술시 각 군간의 차이는 Kruskal-Wallis test를 이용하여 검정하였으며(Table 4), 독립된 두 군 사이의 유의성은 Wilcoxon rank sum test를 이용하여 비교하였다(Table 5). 첫회의 표백 시술에서는 네가지 표백방법에 따라 큰 차이를 볼 수 없었으나, 2회와 3회의 결과에서는 유의한 차이를 보여주었다(Table 4). 독립된 두 군간의 차이를 검정한 결과 1회의 표백에서는 군간의 차이를 볼 수 없었으나 2회에서는 The-

rmo group과 Walk group, Thermo group과 Combi group, Walk group과 Dw group, Combi group과 Dw group 사이에서 각각 유의한 차이를 보였으며, 3회에서는 2회와 비슷한 결과를 보였다(Table 5).

표백 횟수와 그에 의한 과산화수소수 누출값의 상관관계는 Spearman correlation coefficients 값을 구하였다(Table 6). Thermo group, Walk group, Dw group은 시술 횟수가 증가함에 따라 유의성 있는 증가를 보였으나 Combi group은 유의한 차이를 볼 수 없었다(Table 6, Figure

Table 5. Multiple comparison by Wilcoxon rank sum test

	Group	Prob> Z	P<0.05	P<0.01
1st Tx	Thermo1 vs. Walk1	0.6775		
	Thermo1 vs. Combi1	0.139		
	Thermo1 vs. Dw1	0.8501		
	Walk1 vs. Combi1	0.2411		
	Walk1 vs. Dw1	0.9698		
	Combi1 vs. Dw1	0.1211		
2nd Tx	Thermo2 vs. Walk2	0.0058	*	*
	Thermo2 vs. Combi2	0.0376	*	
	Thermo2 vs. Dw2	0.8501		
	Walk2 vs. Combi2	0.7337		
	Walk2 vs. Dw2	0.0073	*	*
	Combi2 vs. Dw2	0.0091	*	*
3rd Tx	Thermo3 vs. Walk3	0.0058	*	*
	Thermo3 vs. Combi3	0.1859		
	Thermo3 vs. Dw3	0.9097		
	Walk3 vs. Combi3	0.0257	*	
	Walk3 vs. Dw3	0.001	*	*
	Combi3 vs. Dw3	0.1405		

* significantly different by Wilcoxon rank sum test

Table 6. Statistical difference of H₂O₂ concentration between each treatment in the four groups tested

Group	Spearman correlation coefficient	Prob> R	P<0.05	P<0.01
Thermo	0.63682	0.0002	*	*
Walk	0.68392	0.0001	*	*
Combi	0.05189	0.7854		
Dw	0.50721	0.0042	*	*

* significantly different between day 1 & day 4

Table 7. Results of H₂O₂ penetration in tested group

Group	Treatment	Mean(%)	Minimum(%)	Maximum(%)
Thermo	1	0.17	0.00	0.84
	2	0.24	0.07	0.95
	3	1.10	0.12	3.09
Walk	1	0.70	0.01	3.04
	2	1.69	0.11	5.18
	3	14.97	0.33	29.74
Combi	1	7.28	0.00	35.27
	2	5.54	0.07	22.22
	3	4.70	0.23	29.21
Dw	1	0.32	0.00	2.17
	2	0.20	0.02	0.50
	3	0.44	0.19	0.77

4). Combi group이 표백 횟수에 관계 없이 가장 누출량이 많았고 Thermo group과 Dw group은 비슷한 정도를 나타내었다. Walk group은 Thermo group과 Dw group 보다 높게 나타났으며 3회 시술시 더욱 증가하였다.

각 군에서 매 시술시 측정된 과산화수소농도를 permeability로 환산한 결과는 Table 7과 같다.

IV. 총괄 및 고안

본 실험에서는 교정 목적으로 발거된 건전한 소구치를 실험 치아로 사용하였는데 이는 교정 목적으로 발치될 경우 가장 건전한 치아를 얻을 확률이 높고 많은 치아를 확보할 수 있으며, 전치보다는 소구치에서 백악법랑경계부에서 백악질 결함의 확률이 작을 뿐아니라³⁷⁾, 표백시술 후의 치근외흡수가 11-15세 때에 의상을 받았던 경력이 있는 치아에서 주로 발생한다고 보고된 바 있어^{3,12)} 어린 환자이면서 연령층이 비슷한 치아 표본을 얻기 위함이었다.

무수치 표백시 치경부로의 표백제 누출을 줄이기 위한 실제적 방법으로 이장재의 종류와 두께, 위치에 대한 여러 시도가 있었으나 다소 상이한 결과를 보이고 있다.

이장 효과에 있어서 Costas와 Wong³⁸⁾은

IRM이 gutta percha 만 사용한 경우보다 우수하다고 보고하였고, McInerney와 Zillich³⁹⁾은 Cavit과 IRM이 ZPC보다 우수하다고 하였으며 Brighton⁴⁰⁾등도 ZOE와 IRM이 Ketac-Cem과 Scotchbond Multipurpose보다 우수하였다고 보고하였다. 그러나 Rostein등⁴¹⁾은 이장재의 두께가 2mm일때는 IRM, ZOE, Glass ionomer가 모두 우수하였으며 그 이하 두께에서는 재료간에 유의성 있는 차이를 볼수 없었다고 보고하였다. 따라서 본 실험에서는 이장효과가 만족할 만하고 이장재의 정확한 위치와 형태를 부여하기에 용이하다고 판단된 IRM을 사용하였다.

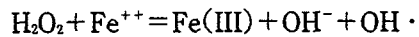
이장재의 도포 위치에 대한 연구에서는 Costas와 Wong³⁸⁾이 혈액으로 착색 시킨 치아의 표백시 이장재가 백악법랑경계부위에 위치한 경우보다 2mm 하방에 위치한 경우에 우수한 표백 효과를 보였다고 하였으나 Warren등⁴²⁾은 IRM을 백악법랑경계부위에 위치한 경우보다 2mm 하방에 위치한 경우에 있어 표백 효과의 차이는 보이지 않았다고 보고하였다. 또한 Rostein등⁴¹⁾은 표백시 백악법랑경계부에 위치한 IRM이 0.5mm 하방에 위치한 경우보다 표백제의 투과가 적었다고 보고하였다. 표백효과에 관점을 둔 연구에서는 이장재를 백악법랑경계부의 다소 하방에 위치시킨 경우에 우수한 이

장효과를 보인다고 보고하고 있어 본 연구에서는 Steiner 와 West⁴³⁾에 의해 제안된 방법에 따라 순설측과 인접면의 백악범랑경계부를 연결한 면과 평행하게 사면으로 이장하되 백악범랑경계부에서 1mm 하방에 위치하도록 하였다(Fig 1). 그러나 Rostein 등⁴⁴⁾이 Superoxol을 사용한 표백시 치근 침투 정도를 측정된 실험에서 백악범랑경계부에 결합이 있을때뿐 아니라 치근 중간에 결합이 있는 경우에도 비슷한 침투가 있었다고 보고한바 있어 백악범랑경계부에서 치근측으로 3mm, 치관측으로 2mm를 제외한 나머지 부분을 sticky wax로 밀봉하고 nail varnish를 2회 도포하여 실제 흡수가 나타나는 치경부에서의 누출량만을 비교하고자 하였다.

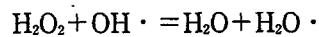
무수치의 표백시술로는 Superoxol을 치수강에 위치시키고 열을 가하는 thermocatalytic bleaching이 가장 오랫동안 이용되었다. 본 실험에서는 일정 온도를 적용시키기 위해 electric bleaching instrument를 165°F로 고정시켜 thermocatalytic bleaching을 시행하였는데 임상에서는 어느정도 표백효과가 나타날때 까지 반복하나 3분씩 2회만 적용시켰으며 다른 실험군과 초기 조건을 맞추기 위해 Superoxol을 20 μl만 적정하였다. 한편 표백제를 치수강 내에 위치시키고 밀봉하여 화학적 반응을 기대하는 walking bleaching이 소개된 이후로 이 표백시술에 사용되는 약제에 대해 많은 연구가 있었다. Spasser 등⁶⁾은 sodium perborate와 물의 사용을 제안하였고, Nutting⁷⁾은 sodium perborate와 Superoxol의 상호작용을 이용하였다. 본 실험에서는 Walk group에서 Nutting 등의 방법을, Dw group에서 Spasser 등의 방법을 시행하였는데 각 치아에 동량의 표백제를 적용시키기 위해 sodium perborate를 유리판에서 혼합하여 사용하지 않고 동일한 양의 sodium perborate를 치수강에 위치시킨다음 물과 superoxol을 직접 적정시켰다. 또한 임상에서 표백효과를 최대로 얻기위해 치료실에서 thermocatalytic bleaching을 시행한 후 바로 walking bleaching을 병행하는 경우도 있어 Combi group으로 분류하여 실험하여 보았다.

서로 다른 임상적 방법과 재료의 폐쇄능을 평가하기 위한 누출 검사 방법으로는 전기화학적 방법, 방사선 동위원소법, 색소법, 전자현미경적 방법, 용액 침투법등 여러가지 방법들이 사용되고 있으나⁴⁵⁻⁴⁹⁾ 색소의 pH, 농도, 방사선 동위원소의 종류등 변수에 따른 측정치의 차이가 크고 정선적 측정이라는 단점이 있다.

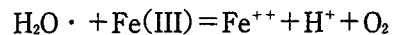
본 연구에서는 각각의 표백시술을 행하는 동안 표백제가 치경부를 통해 얼마나 누출되어 주위 조직에 존재하는가에 대한 직접적 근거를 얻기 위해 Thurman 등⁵⁰⁾의 방법에 따라 산화환원 적정법으로 과산화수소수를 정량하였다. 이는 과산화수소수가 존재하는 시료에 ferrous ammonium sulfate를 첨가하면 ferric ion이 방출됨에 근거한다.⁵¹⁾ 과산화수소수는 두개의 전자를 수용할 수 있으며 2가철 이온은 1개의 전자를 제공하여 hydroxyl free radical이 형성된다.



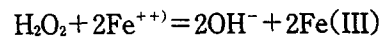
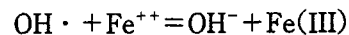
Hydroxyl free radical은 매우 불안정하며 강한 산화제로써 과산화수소수와 반응하여 또 다른 불안정한 perhydroxyl free radical을 형성하게 된다.



Perhydroxyl free radical이 약한 환원제로써 다시 3가철에 의해 산화되는 연쇄 반응을 일으켜 과산화수소수가 산소로 분해되는 양적 분해가 일어난다.



그러나 일부의 hydroxyl free radical 이 2가철과 반응하여 연쇄 반응이 종결되게 된다.



이때 potassium thiocyanate를 첨가하면 ferri-thiocyanate complex가 형성되어 무색에서 붉은색으로 변하게 되므로 흡광도를 측정하여 과산화수소수를 정량할 수 있다. 본 실험에서 spectrophotometer에 순수 용매만을 담은 표준 cell을 놓고 모든 측정 범위에서 강도를 비교한 결과 467nm 파장에서 최대 흡광도를 나타냄을 알수 있었다. 과산화수소수를 0 에서 300μmol

범위에서 단계적으로 회석하여 흡광도를 측정하여 상관 계수가 0.998이며 $y=141.370x+11.5386$ 방정식을 갖는 직선 형태의 표준 곡선을 얻었다(Fig 2).

네개의 실험군에서 첫번째 시술시 1일후와 4일후의 값을 비교하여 보면, Thermo group과 Combi group은 시간 경과에 관계없이 지속적인 누출을 보였다(Fig 3, Table 2). Thermocatalytic bleaching의 경우 대부분이 시술동안 치수강 상방으로 방출될 것이나 치관부의 1mm² 상아질에 존재 하는 많은 상아 세관을 고려할 때²⁰⁾ 표백시술후 상아 세관에 남아 확산될수 있는 표백제의 양은 의미가 있다고 할수 있다. Walk group에서는 표백제가 1일 이내에 대부분 누출되고 그 다음 3일간은 유의성 있게 감소하였으며 ($p<0.05$) Dw group은 첫날 누출량이 작았으나 시간 경과에 따라 점점 증가하는 양상을 보였다(Fig 3, Table 2). Superoxol을 이용한 walking bleaching의 경우 표백제의 활성이 약제 투입후 1일까지 가장 활발하며 3일 이후로는 변화가 거의 없는 것으로 보이며 이는 Costas와 Wong³⁸⁾, Weiger등³⁹⁾의 결과와 일치하였다. 따라서 표백제의 교환 시기를 3일 정도로 하면 표백 효과를 최대한으로 볼수 있을 것으로 사료된다. 그러나 증류수를 이용한 walking bleaching 의 경우는 시간이 지날수록 표백제의 활성이 증가하는 것으로 나타나 더욱 오랜 기간 약제를 넣어두어야 표백 효과를 나타낼 수 있을것으로 사료된다.

각 표백 방법에 따라 매 시술시 과산화수소수 누출량을 비교하여 보면 Thermo group은 1회, 2회 시술시 표본값이 비슷한 분포를 나타내다가 3회째 약간 증가 하는 것을 볼수 있었으며, Walk group 역시 1회, 2회 시술시 별 변화가 없다가 3회째 누출량이 크게 증가할 뿐 아니라 표본값이 넓게 흩어지는 양상을 나타내었다(Table 3). Combi group은 시술횟수가 증가하여도 평균값의 변화는 볼수 없었으나 초기부터 표본값이 넓게 흩어져 있음을 볼수 있고, 반면 Dw group은 시술횟수와 관계 없이 표본값이 모두 균일한 분포를 나타내었다(Table 3).

전체적으로 표본값의 분산이 크게 나타났는데

본 실험에서 백악법랑경계부의 결함을 면밀히 검사한 소구치를 실험치아로 선택하였음에도 불구하고 백악법랑경계부의 해부학적 구조와 상아세관의 주행 특성등 치아의 투과성에 영향을 미치는 요인이 다양하며 남아있는 상아질 두께를 일률적으로 제어하지 못하였으며 실험과정중 미세한 잔금이 형성되는 경우도 발견할 수 있었다.

표백제의 누출 즉 상아세관으로의 확산에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인으로는 사용한 표백제의 특성이나 온도등이 고려될 수 있는데 본 실험의 결과에서 보면 Thermo group의 표본값이 비교적 안정적인 것으로 보아 6분 정도의 가열은 치아에 크게 영향을 미치지 않는것으로 사료되며 그보다는 superoxol과 sodium perborate의 화학적 작용을 기대하는 walking bleaching시 표본값이 다양하게 나타나며 증류수와 sodium perborate 혼합 사용시는 표본값의 변이가 작은것으로 보아 superoxol과 sodium perborate의 단독 사용은 크게 영향이 없으나 두 약제의 상승작용을 기대할때는 치아의 확산능력이 크게 증가하는 것으로 사료된다.

Cvek과 Landvall¹⁵⁾은 11개의 치아에 thermocatalytic bleaching 시행 1년 뒤 방사선학적 검사를 한 결과 2개의 치아에서 치근 표면에 흡수가 시작된 것을 볼 수 있었고, 4개 치아에서는 흡수가 상당히 진행되었으며, 5개의 치아에서는 ankylosis를 관찰하였다고 보고하였다. MacIsaac과 Hoen¹⁶⁾은 표백시술과 관련하여 치경부 흡수 경향을 조사한 결과 모든 증례에서 이장재를 하지 않았으며, 84% 증례가 thermocatalytic bleaching과 관련이 있었다고 보고하였다.

Madison등^{20,22)}은 개를 이용한 실험에서 1주일 간격으로 2회 walking bleaching을 시행한 경우는 흡수를 발견할 수 없었고 145°F에서 1분씩 3회 thermocatalytic bleaching을 시행한 경우 조직 표본에서 흡수를 발견하였음을 보고하면서 열이 흡수의 주 요인으로써 자극성이 높은 과산화수소수를 상아세관에 잘 통과하게 하고 백악질을 화학적으로 변성시키는 것으로 사료된다고 하였다.

본 실험에서는 이와달리 Thermo group이 Dw group과 비슷하게 누출량이 작음을 볼 수 있었는데(Fig 4) 이는 thermocatalytic bleaching을 165°F에서 6분간 시행하여 열적용 시간이 짧았으며 중간에 치아가 냉각될 수 있는 시간이 부여되었기 때문으로 사료된다. Rostein등⁵³⁾은 발거된 소구치에서 superoxol로 24°C, 37°C, 47°C에서 5, 20, 40, 60 분씩 thermocatalytic bleaching을 시행하여 누출된 과산화수소수를 정량하였는데 5분 적용시는 어느 온도에서도 누출량이 거의 없었다고 하였으며 20분 이상 적용시는 온도가 증가함에 따라 누출량도 증가하였음을 보고한바 있다.

1980년대는 walking bleaching후에도 치경부 흡수를 나타내었다는 증례들이 보고되었는데 Lado등¹¹⁾은 표백시술후 6년뒤, Montomery¹²⁾는 2년뒤, Goon등¹⁴⁾은 26개월뒤, Latcham¹³⁾은 3년뒤에 치경부 흡수를 관찰하였었다. 1991년 Rostein등²¹⁾은 1000 W photoflood lamp를 이용하여 2분씩 5회 thermocatalytic bleaching을 2년생 개에 시행한 결과 실험군의 18%에서 조직학적으로 흡수를 관찰하였으나 식염수를 사용한 대조군에서는 열을 가하였어도 흡수를 나타낸 조직 표본이 하나도 없었다고 보고하면서 열 단독으로는 흡수를 일으키기에는 충분치 않고 과산화수소수가 상아질의 유기물 또는 무기물과 반응하여 염증을 일으킬수 있는 독성기나 변성체를 형성한것으로 사료된다고 하였다.

1992년 Heller²³⁾는 개의 48개 전치에 7일 간격으로 3회 walking bleaching을 시행한 결과 3개월째에 조직학적으로 염증성 흡수 소견을 관찰하였는데 Madison의 실험²²⁾은 walking bleaching을 2회 시행하여 안전한 것으로 보였으나 3회 시행한 경우는 위험한 것으로 보인다고 하였으며 부식성 표백제가 치수강에 남아 있다가 흡수 인자로 작용하는 것으로 사료된다고 보고하였다.

본 실험에서도 Walk group이 Thermo group보다 누출량이 훨씬 많았으며 특히 3회째에 크게 증가 하는것을 볼수 있었는데(Fig 4) Heller 실험에서 개를 이용하였기 때문에

사람과는 상아세관의 주행 특성이 다르고 치수강에서 치근막까지의 거리가 개의 치아가 훨씬 짧아 그와 같은 결과가 나왔을 가능성은 있으나 walking bleaching이 치경부 흡수를 야기할 수 있는 잠재성이 더 크음을 간접적으로 시사한다고 할 수 있다.

반면 Dw group에서는 과산화수소수의 누출이 극미함을 볼 수 있는데 만약 임상적 효과가 비슷하다면 증류수에 sodium perborate를 혼합하여 사용하는 walking bleaching이 치경부 흡수를 줄일 수 있는 방법이 된다고 사료된다. Rostein등¹⁰⁾이 sodium perborate를 증류수, 30%와 3% hydrogen peroxide에 각기 혼합하여 walking bleaching을 시행, 치아 색조 변화를 slide film 상에서 비교한 결과 별 차이가 없었음을 보고한 바 있었다.

본 실험에서 Combi group의 경우 표본값의 분산이 크고 시술 횟수의 증가에 따른 상관관계를 규명하기 어려웠는데 이는 발생기 산소가 과도하게 방출되면서 어떤 치아의 경우 구조적 변성을 야기 시킨 결과가 아닌가 사료된다.

1992년 Rostein등³⁴⁾이 3%, 30%의 hydrogen peroxide와 sodium perborate를 조합하여 4개의 실험군으로 나눈 다음 분쇄시킨 상아질과 백악질에 노출시켜 칼슘함량 분석으로 용해도를 측정하고 ashing 전후 무게 비교로 유기물 함량을 측정한 결과 sodium perborate와 30% hydrogen peroxide를 함께 사용한 경우 용해도가 크게 증가하였고 sodium perborate에 증류수를 섞어 사용한 경우는 대조군과 유사하였다고 보고하였다. Kodaka등⁵⁴⁾은 superoxol로 표백한 상아질을 SEM으로 관찰하였는데 과산화수소수가 peritubular matrix를 쉽게 통과하여 non-fibrillar substance를 용해시키고 수축을 야기하여 peritubular matrix에 잔금이 간 것을 볼 수있었다고 보고하였다. Farge등⁵⁵⁾은 사전에 산부식을 시키지 않은 경우에는 표백시술이 법랑질 구조에 특별히 유해 작용을 일으키지는 않는 것으로 보이나 이미 잔금이 가 있는 경우에는 간극을 증가시킬수 있으며 internal bleaching의 경우 특히 백악법랑경계부에서 법

랑질과 상아질의 탈회를 초래할수 있다고 보고하였다.

본 실험에서 측정된 과산화수소수 누출량을 permeability로 환산하여 보면 최소 0%에서 최대 35%까지 다양하게 나타남을 알 수 있다 (Table 7).

소구치의 백악법랑경계부에 인위적인 결함을 형성하고 15분간 thermocatalytic bleaching을 시행하였던 Rostein의 실험³⁾에서는 permeability가 82%에 달하는 경우까지 있었으며 비슷한 실험⁴⁾에서 결함이 없었던 경우는 0.001-0.091% 정도의 침투를 볼수 있었다고 하였으나 walking bleaching시 누출량을 정량측정한 문헌은 없었다.

이상의 실험 결과로 보아 임상결과만 만족스럽다면 sodium perborate를 증류수에 혼합하여 시행하는 walking bleaching이 가장 안전한 방법으로 생각되어지며 thermocatalytic bleaching은 치아가 냉각될 수 있는 시간을 부여하면서 반복적으로 행하며 열적용 시간을 줄인다면 walking bleaching보다 안전할 것으로 예상된다. Walking bleaching은 효과가 좋은 만큼 누출되는 과산화수소수도 많은 것으로 나타났는데 특히 3회 이상 시행한 경우는 치아에 구조적 변성을 초래할 가능성도 있다고 보여지나 2000 μ M 정도의 양이 치근막을 통해 구강내에서 얼마나 씻겨나갈 수 있고 실제 작용하는 시간은 얼마나 되며, 남아있는 과산화수소수가 정말 유해 작용을 일으킬 만한 충분한 양이 되는지에 관해서는 지속적인 연구가 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

무수치의 표백시술은 변색된 치아를 가장 보존적으로 심미적 회복을 가져다 줄 수 있으나 치경부 외흡수가 왕왕 보고되고 있으며, 이와 관련하여 제시된 가설들이 자극성이 높은 표백제 누출로 인한 주위 조직의 손상을 주된 원인으로 설명하고 있다.

본 실험에서는 무수치 표백시술시 백악법랑경계부의 상아세관을 통해 표백제가 누출됨을

직접 확인하고자 발거된 건전한 소구치에 근관치료를 시행한 후 백악법랑경계부 부근을 제외한 나머지 부위를 밀봉한 뒤 네 가지 방법의 무수치 표백시술을 3회 적용하여 누출된 과산화수소수를 spectrophotometer를 이용하여 정량 측정하였으며, 무수치 표백 방법에 따른 과산화수소수 누출량의 차이를 시간 경과에 따라 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표백 1회 시술시 1일과 4일 후의 값을 비교하여 보면 Walk group은 1일 후 대부분이 누출되고 4일째 유의성 있게 감소되었으며 ($P < 0.05$), Dw group은 시간이 지남에 따라 다소 증가하였으나 통계적 유의성은 없었다.
2. Thermo group은 3회 시술시 약간 증가하였으나 표본 값이 비슷한 분포를 보였으며, Walk group은 3회 시술시 누출량이 크게 증가할 뿐 아니라 표본값이 넓게 흩어지는 결과를 보였다. Combi group은 시술 횟수에 상관없이 표본값이 모두 넓게 분포한 반면 Dw group은 시술 횟수에 상관없이 표본값이 모두 균일한 분포를 나타내었다.
3. Thermo group, Walk group, Dw group은 표백 횟수가 증가함에 따라 유의성 있는 증가를 보였으나 Combi group은 유의성 있는 차이를 볼 수 없었다. ($P < 0.01$).
4. Thermo group과 Dw group이 비슷한 정도로 낮은 농도를 보였으며, Walk group은 그 보다 높게 나타났으며 Combi group이 표백 횟수에 관계없이 가장 누출량이 많았다.
5. 각 군에서 매 시술시 측정된 과산화수소수 누출량을 permeability로 환산하여 보면 0-35% 범위에서 다양하게 나타남을 알 수 있다.

참고 문헌

1. Feinman RA, Goldstein RE, Garber DA. Bleaching teeth. Chicago, Quintessence Publinsing Co., 1987, p10.
2. Haywood VB. History, safety & effective-

- ness of current bleaching techniques & applications of the nightguard vital bleaching technique. *Quintessence Int.*, 1992 : 23 : 471–488.
3. Harrington GW, Natkin E. External resorption associated with bleaching of pulpless teeth. *J Endodon.* 1979 : 5 : 344–348.
 4. Pearson HH. Bleaching of discolored teeth. *J Am Dent Assoc* 1985 : 56 : 64–65.
 5. Weiger R, Kuhn A, L st C. In vitro comparison of various types of sodium perborate used for intracoronal bleaching of discolored teeth. *J Endodon* 1994 : 20(7) : 338–341.
 6. Spasser HF. A simple bleaching technique using sodium perborate. *NY Dent J* 1961 : 27 : 332–334.
 7. Nutting EB, Poe GS. A new combination technique of bleaching teeth. *J southern Calif Dent Assoc* 1961 : 27 : 332–334.
 8. Nutting EB, Poe GS. Chemical bleaching of discolored endodontically treated teeth. *Dent Clin North Am* 1967 : Nov : 655–662.
 9. Smith JJ, Cunningham CJ, Montgomery S. Cervical canal leakage after internal bleaching procedures. *J Endodon* 1992 : 18(10) : 476–81.
 10. Rostein I, Zalkind M, Mor C, Tarabeah A, Friedman S. In vitro efficacy of sodium perborate preparations used for intracoronal bleaching of discolored non-vital teeth. *Endod Dent Traumatol* 1991 : 7 : 177–180.
 11. Lado EA, Stanley HR, Weisman MI. Cervical resorption in bleached teeth. *Oral Surg* 1983 : 55(1) : 78–80.
 12. Montgomery S. External cervical resorption after bleaching a pulpless tooth. *Oral Surg* 1984 : 57(2) : 203–206.
 13. Latcham HL. Postbleaching cervical resorption. *J Endodon* 1986 : 12(6) : 262–264.
 14. Goon WWY, Cohen SC, Borer RF. External cervical root resorption following bleaching. *J Endodon* 1986 : 12(9) : 414–418.
 15. Cvek M, Lindvall AM. External root resorption following bleaching of pulpless teeth with oxygen proxide. *Eddod Dent Traumatol* 1985 : 1 : 156–60.
 16. Friedman S, Rostein I, Libfeld H, Stabholz A, Heling I. Incidence of external root resorption and esthetic results in 58 bleached pulpless teeth. *Endod Dent Traumatol* 1988 : 4 : 23–26.
 17. Heithersay GS, Dahlstrom SW, Marin PD. Incidence of invasive cervical resorption in bleached root-filled teeth. *Australian Dental J* 1994 : 39(2) : 82–7.
 18. MacIsaac AM, Hoen CH. Intracoronal bleaching : concerns and considerations. *Canadian Dent Assoc J* 1994 : 60(1) : 57–64.
 19. Al-Nazhan S. External resorption after bleaching : a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991 : 72 : 607–609.
 20. 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.
 21. Rostein I, Friedman S, Mor C, Katznelson J, Sommer M, Bab I. Histological characterization of bleaching induced external root resorption in dogs. *J Endodon* 1991 : 17(9) : 436–441.
 22. Madison S, Walton R. Cervical root resorption following bleaching of endodontically treated teeth : *J Endodon* 1990 : 16(12) : 570–574.
- Heller D, Skriber J, Bin LM. Effect of intracoronal bleaching on external cervical root resorption. *J Endodon* 1992 : 18(4) :

- 145-148.
24. Kehoe JC. pH reversal following in vitro bleaching of pulpless teeth. *J Endodn* 1987 : 13(1) : 6-9.
 25. Gimlin DR, Schindler WG. The management of postbleaching cervical resorption. *J Endodon* 1990 : 16(6) : 292-297.
 26. Remeikis NA, Stromer WF. Inflammatory resorption untreated, arrested, prevented. *Endod Dent Trumatol* 1989 : 5 : 63-67.
 27. Friedman S. Surgical-restorative treatment of bleaching related external root resorption. *Endod Dent Trumatol* 1989 : 5 : 63-67.
 28. Fuss Z, Szajkis S, Tagger M. Tubular permeability to calcium hydroxide and to bleaching agents. *J Endodon* 1989 : 15 : 362-364.
 29. Rostein I, Friedman S. pH Variation among materials used for intracoronar bleaching. *J Endodon* 1991 : 17(8) : 376-379.
 30. Gold SI, Hasselgen G. Peripheral inflammatory root resorption. A review of the literature with case reports. *J Clin Peridontol* 1992 : 19 : 523-534.
 31. Fligel SEG, McCoy JP, Johnson KJ, Varani J. Protein degradation following treatment with hydrogen peroxide. *Am J Pathol* 1984 : 115 : 418-425.
 32. Bowles WH, Thompson LR. Vital bleaching : the effects of heat and hydrogen peroxide on pulpal enzymes. *J Endodon* 1986 : 12(3) : 108-112.
 33. Ramp WK, Arnold RR, Rissell JE, Yancey JM. Hydrogen peroxide inhiits glucose metabolism and collagen synthesis in bone. *J Peridontal* 1987 : 58(5) : 340344.
 34. Rostein I, Lehr E, Gedalia I. Effect of bleaching agents on inorganic components of human dentin and cementum. *J Endodon* 1992 : 18(6) : 290-293.
 35. Bowles WH, Ugwuneri Z. Pulp chamber penetration by hydrogen peroxide following vital bleaching products. *J Endodon* 1987 : 13(8) : 375-377.
 36. Cooper JS, Bokmeyer TJ, Bowles WH. Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents. *J Endodon* 1992 : 18(7) : 315-317.
 37. Seltzer S. In vitro determination and quantification of 30% hydrogen peroxide penetration through dentin and cementum during bleaching. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991 : 72 : 602-606.
 38. Costas FL, Wong M. Intracoronar isolating barriers : effect of location on root leakage and effectiveness of bleaching agents. *J Endodon* 1991 : 17(8) : 365-8.
 39. McInerney ST, Zillich R. Evaluation of internal sealing ability of three materials. *J Endodon* 1992 : 18(8) : 376-8.
 40. Brighton DM, Harrington GW, Nichols JI. Intracoronar isolating barriers as they relate to bleaching. *J Endodon* 1994 : 20(5) : 228-32.
 41. Rostein I, Zyskind D, Lewinstein I, Bamberger N. Effect of different protective base materials on hydrogen peroxide leakage during intracoronar bleaching in vitro. *J Endodon* 1992 : 18(3) : 114-7.
 42. Warren MA, Wong M, Ingram T. An in vitro comparison of bleaching agents on the crown and root discolored tooth. *J Endodon* 1990 : 16 : 463-7.
 43. Steiner DR, West JD. A method to determine the location and shape of an intracoronar bleaching barrier. *J Endodon* 1994 : 20(6) : 304-6.
 44. Rostein I, Torek Y, Misgav R. Effect of cementum defects on radicular penetration of 30% H₂O₂ during intracoronar bleaching. *J Endodon* 1991 : 17(5) : 230-3.

45. 김진우, 임성삼. 역충전재 및 치근단 절제 각도와 와동 형성기구에 따른 역충전물의 변연 누출에 관한 전기화학적 연구. 대한치과보존학회지 1994 : 19(2) : 499-511.
46. Mattison GD, Fraunhofer JA. Electrochemical microleakage study of endodontic sealer/cements. Oral Surg 1983 : 55(4) : 402-7.
47. Delivanis PD, Chapman KA. Comparison and reliability of techniques of measuring leakage and marginal penetration. Oral Surg 1982 : 53(4) : 410-6.
48. Mattison GD, Fraunhofer JA, Delvains PD, Anderson AN. Microleakage of retrograde amalgams. J Endodon 1985 : 11(8) : 340-5.
49. Töuë AJ, Kok WT. Peroxidase-modified carbon fiber microelectrodes in flow-through detection of hydrogen peroxide and organic peroxides. Anal Chem 1994 : 66 : 3604-10.
50. Thurman RG, Ley HG, Scholz R. Hepatic microsomal ethanol oxidation. Eur J Biochem 1972 : 25 : 420-30.
51. Kolthoff IM, Sandell EB, Meehan EJ, Bruckenstein S. Quantitative chemical analysis. Macmillan Co. : 752-68.
52. Ten Cate AR. Oral histology : development, structure and function. CV Mosby, 1980 : 147.
53. Rostein I, Torek Y, Lewinstein J. Effect of bleaching time and temperature on the radicular penetration of hydrogen peroxide. Endod Dent Traumatol 1991 : 7 : 196-8.
54. Kodaka T, Toko T, Debari K, Hisamitsu H, Ohmori A, Kawata S. Application of the environmental SEM in human dentin bleached. J Electron Microscopy 1992 : 41(5) : 381-6.
55. Farge P, Joffre A, Magloire H. Histological aspects of tooth bleaching technics. R Odonto-Stomatol 1990 : 19(4) : 317-24.