컴포머 충전과정에 따른 상아질 투과도의 변화

조혜진 · 이경하 · 이세준 · 이광원
전북대학교 치과대학 치과보존학교실 및 구강생체과학연구소

ABSTRACT

DENTIN PERMEABILITY CHANGE ACCORDING TO THE PROCESS OF COMPOMER RESTORATION

Hye-jin Cho, Kyung-Ha Lee, Se-Joon Lee, Kwang-Won Lee
Department of Conservative Dentistry & Institute for Oral Bioscience,
College of Dentistry, Chonbuk National University

Compomer is composed of matrix and filler; matrix is made of the combination of resins and polycarboxylic molecules that are light-cured, and a filler is a glass component which is capable of ion-release. The resin content of compomers produces polymerization shrinkage which can adversely affect marginal adaptation. Pretreatment is a fundamental step which is treated with conditioner or primer in the use of these materials.

Microleakage of restorative materials has been investigated mostly by dye penetration method. Dye penetration method was not quantitative and not measured repeatedly. Fluid filtration method, introduced and developed by Pashley's group, has been extensively used for 20 years for research purpose to understand the physiology of dentin, as well as the effects of various restorative treatments on dentin permeability. It permits quantitative, nondestructive measurment of microleakage in a longitudinal manner. The purpose of this study was to evaluate the change of dentin permeability according to the process of compomer restoration.

In this study, Cl Ⅴ cavities were prepared on buccal surface of thirty extracted human molars. The prepared cavities were etched by 37% phosphoric acid. The experimental teeth were randomly divided into three groups. Each group was treated with following materials; Group 1 : Prime & Bond NT/Dyract AP, Group2 : Single Bond/F2000 compomer, Group 3 : Syntac Single Component/Compoglass. The bonding agent and compomer were applied for each group following manufacturers information. Dentin permeability of each group was measured at each process by fluid filtration method; Step 1 : preparation(smear layer), Step 2 : etching(smear layer removal), Step 3 : applying the bonding agent, Step 4 : filling the compomer. Dentin permeability was expressed by hydraulic conductance($\mu l\ min^{-1}cmH_2O^{-1}$).

The data were analysed statistically using One-way ANOVA and Sheffe's method.

The results were as follows :

1. Dentin permeability differences between each process were significant except between step 1 and step 2($p < 0.01$).
2. Dentin permeability after removal of smear layer was highly increased($p<0.01$).
3. In most case, decrease of dentin permeability was obtained by applying bonding agent($p<0.01$).
4. Dentin permeability differences among the experimental groups were not significant($p>0.05$).
5. None of compomers used in this study showed perfect seal at the interface.

Ⅰ. 서 론

컴포머는 전통적인 글라스 아이오노머가 갖는 긴 경화시간, 낮은 인장 및 압축강도, 불투명한 색조로 인한 비심미성 등의 단점을 보완한 글라스 아이오노머로서 점차 그 사용이 증가되고 있다. 현재 컴포머는 스트레스를 받지 않는 부위의 5급 와동과 크기가 작은 1급 와동, 복합레진 충전시 이장재로 주로 사용되고 있다.

컴포머는 복합레진의 polymerizable group과 글라스 아이오노머 시멘트의 acidic group을 모두 포함하고 있으며 초기 경화는 복합레진에서와 같이 methacrylate group내로 단량체의 광에 의해 개시되는 중합이 일어난다[1-3]. 주위 환경에 있는 물의 존재로 제한적인 산/염기 반응도 일어나는데, 불소의 방출과 다량체의 지속된 교차결합이 일어나게 된다[4].

글라스 아이오노머의 성분이 적어 자발적인 산/염기 반응이 일어나기에는 불충분한 반면, 레진의 성분을 많이 포함하고 있어 그 성질이 복합레진과 유사하다고 한다[5]. 전통적인 글라스 아이오노머보다 복합레진에 더 가까운 성질을 갖는 컴포머는 레진이 갖는 문제들을 고려하여 전처리가 필요하다고 한다[6,7].

Martin[8]는 5급 와동을 Dyract로 충전하여 1년 동안 임상적으로 관찰한 결과 97% 유지율을 보였으나 약 20% 변연변색을 보였다. 높은 유지율은 접착제에 의한 치질과의 화학적 결합에 의한 것이라 하였다. Brackett 등[9]은 conventional GI, resin modified GI, 컴포머의 5급 와동의 미세누출 비교시 세 재료간의 유의한 차이가 없다고 하였고, Toledano 등[10]은 resin modified GI인 Fuji Ⅱ LC가 컴포머인 Dyract에 비해서 미세누출이 적다고 보고하였다. Conventional GI에 비해서 컴포머와 resin modified GI가 레진 성분을 포함하고 있어 중합수축을 일으키기 때문에 미세누출이 크다고 하였으며[11], 따라서 컴포머는 결합력과 변연봉쇄의 향상을 위해 conditioner, primer와 같은 전처리가 수행되어야 한다.

미세누출은 삭제된 와동벽과 충전된 수복재료사이에 박테리아, 액체, 입자, 이온 등의 이동을 가능하게 하여[12] 과민증, 변연변색, 이차우식등의 문제를 야기하게 된다[13,14]. 이러한 미세누출을 평가하는 방법에는 dye penetration method, radioisotope tracer를 이용하는 방법, bacterial penetration method, fluid filtration method, SEM study와 같은 방법들이 있다. Pashley 등[15,16]에 의해서 소개된 fluid filtration 방법은 시간에 따른 밀폐효과의 관찰이 가능하고, 시편을 절단하지 않아도 되므로 반복측정이 가능하며, 더 정확하고 정량적으로 누출을 측정할 수 있으며, 관찰자간의 오차가 적다고 밝혀졌다[17].

비교적 개발된지 오래된 Dyract와 F2000, Compoglass의 변연누출에 대해서는 많은 보고가 있으나, 연구마다 방법의 차이로 인해 상이한 결과를 나타내고 있다. 이에 fluid filtration 방법을 이용하여 5급 와동을 수종의 컴포머로 충전할 때 전처리 과정에 따른 상아질 투과도의 변화를 정량화하여 컴포머 충전에 있어서의 미세누출을 평가하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험재료

최근 발거된 우식과 crack이 없는 건전한 치질을 갖는 대구치 30개를 치아시편 제작에 사용하였다. 치아는 백악상아경계 약 2mm 하방에서 diamond saw를 이용하여 절단하여 치관부위만을 얻었다. 치관의 협측치면에 #701 carbide bur를 이용하여 5mm(근원심측)×3mm(교합치은측)×2.5mm(치수측)크기의 와동을 형성하였다. 모든 와동은 37% 인산(Total etch, Vivadent)을 이용하여 20초 동안 산처리를 하여 도말층을 제거하였다. 치아를 무작위적으로 세 군으로 나뉘어 Prime & Bond NT/Dyract AP (Dentsply), Single Bond/컴포머 F2000(3M), Syntac Single Componet/Compoglass F(Vivadent)로 각각 처리하였다(Table 1). 본딩제의 도포와 컴포머의 충전은 각각 제조회사의 지시대로 시행하였다. Total Etch는 15초동안 적용 후 수세하였고, Prime&Bond NT는 20초동안 적용한 후에 5초동안 공기로 건조하고 10초동안 광중합하였으며, Single bond adhesive는 2번 도포한 후 2-5초동안 air로 건조 후 10초동안 광중합하였고, Syntac single component는 20초동안 적용한 후 20초동안 광중합하였다. 모든 컴포머는 와동에 충전한 후 20초동안 광중합하였다. 컴포머 충전 후 Sof-Lex disc(3M)를 이용하여 연마하였다. 치면의 다른 부위로의 누출을 방지하기 위해서 와동의 주위 1mm까지 nail varnish를 2회 도포하였다.

Table 1. Materials used in this study.

	Materials	Manufacturer
Group 1	Prime & Bond NT/ Dyract AP	Dentsply (Germany)
Group 2	Single Bond adhesive system/Compomer F2000	3M(U.S.A)
Group 3	Syntac Single Component/ Compoglass Flow	Vivadent (Liechtenstein)

2. Fluid Filtration method

치관은 1mm정도의 hole를 갖는 고안된 아크릴 판에 접착제를 이용하여 부착되었다. 아크릴 판과 100㎕ standard glass capillary 사이에 실리콘 튜브를 이용하여 연결하였고, 다른 한쪽은 compressor와 연결하였다. 실리콘 튜브내로 시린지를 이용하여 공기방울을 형성하였다. compressor에 부착된 조절 계기판이 40㎝H_2O이 되도록 고정하고 공기방울이 치아방향으로의 움직임을 관찰하여 그 이동량을 측정하였다. 압력을 가한 후 공기방울이 안정 단계에 이를 때까지 기다려 그 후 20분동안 공기방울의 이동량을 측정하였다. 상아질 투과도는 Hydraulic conductance로 표현하였으며, 단계마다 각각의 와동을 대조군으로 사용하여 반복측정하였으므로 와동의 면적은 생략하여 다음과 공식을 사용하였다(㎕ $min^{-1}cmH_2O^{-1}$).

Hydraulic conductance = 공기방울의 이동량(㎕)× 이동시간$(min)^{-1}$×가해진 압력$(cmH_2O)^{-1}$

와동형성 후 도말층 존재시, 산처리를 통한 도말층 제거 후, 본딩제 도포 후, 컴포머 충전 후 각각의 과정마다 3번씩 반복측정하여 그 평균값을 사용하였다(Table 2).

Table 2. Process of compomer restoration

	Process of compomer restoration
Step 1	Preparation (with smear layer)
Step 2	Etching with 37% phosphoric acid (smear layer removal)
Step 3	Bonding agent applying
Step 4	Compomer filling

3. Dye penetration

미세누출의 양상을 관찰하기 위해 fluid filtration device에서 증류수 대신 2% methylene blue를 사용하여 위와 동일한 방법으로 압력을 가하였다. 염색된 치아시편을 아크릴 판으로부터 제거하여 diamond saw를 이용하여 수직절단하여 관찰하였다.

Ⅲ. 실험결과

1. Hydraulic conductance 측정

각 군마다 10개씩의 치아시편을 각 단계마다 미세누출의 양을 측정하여 Table 3에 요약하였고, Fig. 2와 Fig. 3에 충전재에 따른 상아질 투과도의 변화와 충전과정에 따른 상아질 투과도의 변화를 나타냈다. 와동형성 직후 도말층이 존재하는 경우 5.37×10^{-3}㎕$min^{-1}cmH_2O^{-1}$이고, 37% 산처리를 한 후는 19.62×10^{-3}㎕$min^{-1}cmH_2O^{-1}$으로 산처리에 의해서 상아질 투과도가 약 4배 정도 증가했다. 각각의 본딩제인 Prime&Bond NT, Single bond, Syntac single

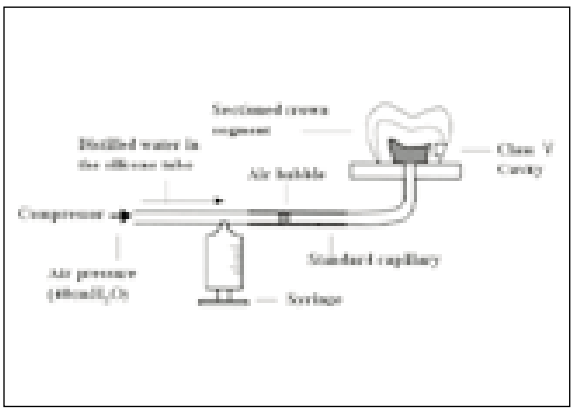


Fig. 1. Schematic diagram of fluid filtration device

Table 3. Results of dentin permeability($\times10^{-3}$㎕ min^{-1} cmH_2O^{-1}).

	Preparation	Etching	Bonding	Filling
Dyract AP/ Prime&Bond NT	5.85±0.69 (28.13%)	20.79±1.53 (100%)	2.21±0.49 (10.59%)	1.71±0.55 (8.16%)
F2000/Single bond	5.35±1.12 (27.69%)	19.25±2.18 (100%)	2.25±0.48 (11.67%)	1.48±0.31 (7.80%)
Compoglass/Syntac single component	4.90±0.81 (26.09%)	18.83±1.62 (100%)	2.13±0.51 (11.25%)	1.60±0.51 (8.51%)

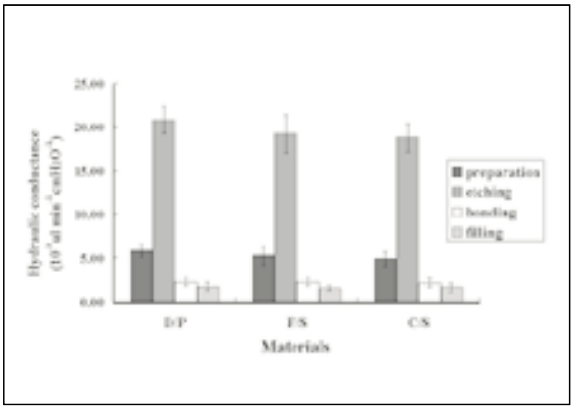


Fig. 2. The difference of fluid conductance in compomers used in the experiment.

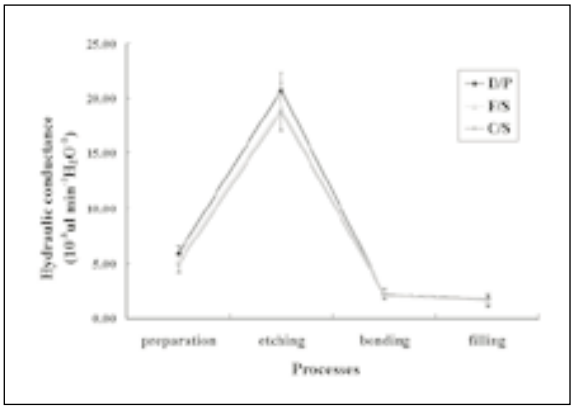


Fig. 3. The difference of fluid conductance according to the each process of compomer restoration.

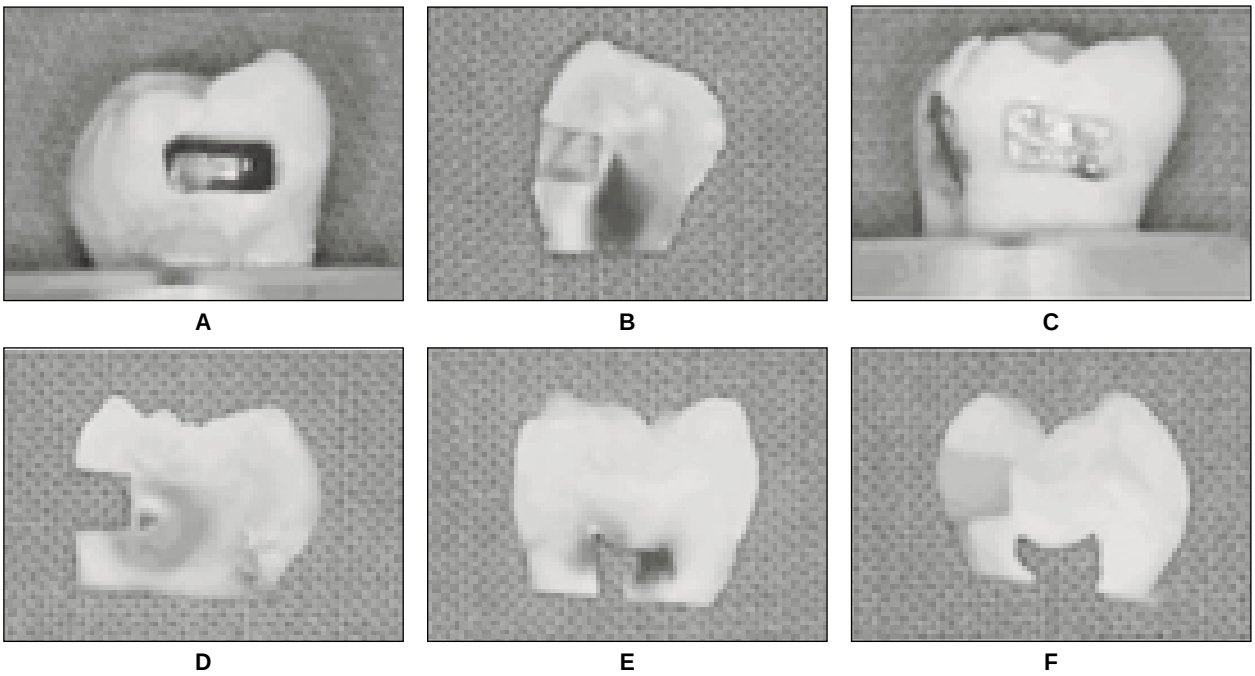


Fig. 4. Degree of dye penetration. A,B. After etching. C,D. After applying the bonding agent(Prime&Bond NT). E,F. After compomer filling(F2000, Compoglass flow).

component를 도포한 경우 $2.21\times10^{-3}\mu l min^{-1}cmH_2O^{-1}$, $2.25\times10^{-3}\mu l min^{-1}cmH_2O^{-1}$, $2.13\times10^{-3}\mu l min^{-1}cmH_2O^{-1}$로 현저히 감소되었다. 각 재료간의 통계적 유의성은 없었다($p>0.05$). 컴포머인 Dyract AP, F2000, Compoglass Flow으로 충전한 후의 상아질 투과도는 $1.71\times10^{-3}\mu l min^{-1} cmH_2O^{-1}$, $1.48\times10^{-3}\mu l min^{-1}cmH_2O^{-1}$, $1.60\times10^{-3}\mu l min^{-1} cmH_2O^{-1}$로 감소되었으나 각 재료간에는 통계적 유의성은 보이지 않았다($p>0.05$).

각 단계의 유의수준을 검정시 step 3과 step 4 사이를 제외한 모든 단계간에 통계적 유의성를 보였다($p<0.01$).

2. Dye penetration

미세누출의 양상을 평가하기 위해 증류수 대신 2% Methylene blue를 사용하여 염색한 후 와동내의 상아세관을 통한 염색상을 관찰하였으며, diamond saw를 이용하여

수직절단하여 절단면을 관찰하였다.

산처리를 했을 때 빠르게 상아세관을 통해 염색제가 스며나왔고, 본딩제를 도포한 경우에는 상아질층을 염색하였으나 본딩제를 통과하는 양은 적었다. 컴포머로 충전한 경우에는 치은변연 부위에서 누출이 있었다. 절단면을 관찰한 결과 치은변연부위에서의 상아질 층이 얇아 치은변연에서 대부분의 누출이 일어났다. 이러한 양상은 본딩제나 컴포머 모두 재료에 따른 큰 차이는 보이지 않았으며, Figure 4의 A와 B는 산처리 후, C와 D는 본딩제인 Prime&Bond NT를 도포한 후, E와 F는 각각 컴포머인 F2000과 Compoglass Flow를 충전한 후의 모습으로 각각의 단계마다 전형적인 누출양상을 나타내고 있다.

Ⅳ. 총론 및 고안

Fluid filtration method는 20년 전 Pashley 등[16]에 의해서 소개된 이래 상아질 투과도에 대한 다양한 수복재의 영향을 평가하는 데 사용되어져 왔다. 여러 가지 장점에도 불구하고 실험재료 및 방법에 대한 표준화가 되어 있지 않다.

Pommel 등[18]의 연구에 의하면 사용되어지는 압력은 생리적인 압력과 유사할수록, 측정시간은 길수록 정확하다고 하였다. 치수내 압력은 34-40cmH_2O이며[19], 상아세관을 통한 외부로의 압력은 약 14cmH_2O 정도이다[20]. 이 연구에서는 40cmH_2O의 압력을 사용하였으며, 측정시간은 공기방울을 형성하여 압력을 가한 후 그 움직임이 안정화되기를 기다린 후 20분 동안 측정하였다. 이는 압력이 가해진 직후에는 압력변화에 의해서 내부의 부피변화가 일어나고 보이지 않는 작은 기포들이 채워지면서 공기방울의 움직임이 빠르기 때문에 안정 단계에 도달하기를 기다렸다가 측정하는 것이 믿을만한 결과를 유도할 수 있다.

현재 사용중인 컴포머 제품들 중 임상적용상의 단순화를 위해 인산처리를 생략하고, acidic primer만 도포하도록 제시한 제품들이 있다. 그러나 아직 그 효과를 받아들이기 어려우며, 또한 대부분의 연구들에 있어서 산처리를 통해 봉쇄 능력이 증가됨을 보고하였다. 특히 Dyract AP는 법랑질과 상아질에 결합할 수 있는 polyelectrolyte와 유사한 반응기를 가지고 있어 제조회사는 산처리를 하지 않도록 제시하고 있으나, Ferrari 등[21]은 total etching을 한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 훨씬 변연봉쇄를 향상시켰으며 본딩제의 상아질 혼화층 형성을 개선시킬 것이라고 하였다. 실제로 산처리를 하지 않은 경우 도말층에 의해서 혼화층이 형성되지 않았으나 인산처리를 한 경우 혼화층이 형성되고 상아세관내로 형성된 resin tag의 밀도가 높았다[22]. Hasen 등[23]의 연구에서도 산처리 없이 본딩제를 도포한 경우에 비해서 산처리 후 본딩제를 도포한 경우가 상아질 투과도의 감소가 크다고 하였다.

산처리를 함으로써 도말층을 제거했을 때의 상아질 투과도를 100으로 하였을 때 step 3이 step 1에 비해서 각각 17.54%, 16.02%, 14.84%의 감소를 보였다. 컴포머를 충전한 step 4는 step 3에 비해서 각각 2.43%, 3.87%, 2.74%의 감소를 보였다. step 1과 step 3 사이에는 유의성이 있는 차이를 보였으나($p<0.01$) step 3과 step 4의 감소는 유의성이 없었다($p>0.05$). 또한 각 단계마다 재료간의 차이는 유의성이 없었다($p>0.05$). Prime&Bond NT의 경우 다른 재료에 비해서 더 작은 nanofiller를 포함하고 있어 상아세관으로의 침투가 더 쉽다고 하였으나 상아질 투과도에는 큰 영향을 주지는 못하였다.

컴포머의 미세누출에 관한 연구를 보면 resin modified GI 혹은 conventional GI와 비교시 미세누출이 크거나 비슷한 정도를 보였다[24,25]. 이는 컴포머가 다른 두 수복재에 비해 레진 성분이 더 많이 포함되어 있어 중합수축이 많이 일어나기 때문이다. 산처리와 본딩제 도포와 같은 전처리를 함으로써 이를 개선할 수 있다.

그러나 다른 연구들에서는 시간에 따른 체적의 변화가 변연누출에 영향을 준다고 하였다. Attin 등[11]은 conventional GI가 경화초기에는 resin-modified GI, 컴포머, 복합레진에 비해 수축량이 적지만 시간이 지나도 지속적으로 수축이 일어난다고 하였다. GI가 화학적인 반응이 초기경화이후에도 어느 정도까지 일어나며, resin-modified GI, 컴포머 등도 conventional GI에 비해서 적지만 지속적인 수축이 일어난다[26]. In vitro에서, 수분과 접촉하게 되면 수화팽창이 일어나게 되는데 resin-modified GI와 컴포머가 conventional GI와 복합레진에 비해서 그 정도가 크다. 이것은 중합후 수축을 보상할 수 있을 정도이며, 충전 24시간 이후에는 변연 틈새를 감소시킬 수 있다[14]. 그러나 임상적으로 오랜 기간동안 수분과의 접촉할 경우 변연봉쇄 효과가 향상되어질지는 의문이다.

대부분의 수복재는 치아에 비해 약 4배 정도의 열팽창계수를 갖는다. 이러한 차이로 인해 구강내의 온도변화에 따라 수복재와 치아의 계면 사이에 gap을 형성하여 변연누출을 야기할 수 있다[27]. 실험상 열순환의 필요성에 대해서 논란이 있어 왔지만[28], Hakimeh 등[29]은 컴포머로 5급 와동 충전시 열순환을 시행하였을 때 미세누출이 약 64%정도 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서 열순환을 시행하였다면 컴포머 충전 후에 더 큰 미세누출을 보일 것이라 사료된다.

또한 본 실험시 와동의 크기와 면적은 표준화하고자 하였으나 와동형성 후 남아있는 상아질의 양을 치아시편마다 정량화하기는 어려웠다. 상아질 투과도는 남아있는 상아질의 두께, 상아세관의 수과 크기에 따라 달라질 수 있으므로 이에 따른 표준화가 필요하리라 사료된다.

이 실험에 사용되어진 재료인 Dyract AP, Compomer F2000, Compoglass Flow의 경우 계면에서 완전한 밀폐는 얻을 수 없었으며, 본딩제 도포를 함으로써 상아질 투과도가 현저하게 줄어듬을 알 수 있었다.

Dye로 염색한 절단면을 관찰하였을 때 치은변연에서의 누출이 더 심하였다. 이는 5급 와동을 형성하였을 때 치은변연부위의 축벽 상아질 두께가 얇고, 교합면측 변연이 표층 상아질에 놓이는 반면 치은변연은 상대적으로 심층 상아질을 노출시키기 때문이다. 따라서 치은변연부위에서의 본딩제 도포의 필요성이 더욱 요구되어진다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 5급 와동을 수종의 컴포머로 충전할 때 전처리 과정에 따른 상아질 투과도의 변화를 측정하여 미세누출을 평가하기 위해, 발거된 치아에 5급 와동을 형성하고 각각 산처리를 한 후 Dyract AP/Prime&Bond NT, Compomer F2000/Single Bond, Compoglass Flow/Syntac single component를 이용하여 충전하였다. 와동형성 후 도말층이 있는 단계, 산처리 후 도말층을 제거한 단계, 본딩제를 도포한 단계, 컴포머를 충전한 단계마다 fluid filtration 방법을 이용하여 각각의 상아질 투과도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본딩제를 도포한 단계와 컴포머 충전 단계를 제외한 모든 단계사이의 상아질 투과도의 차이는 통계적으로 유의성을 나타내었다($p<0.01$).
2. 도말층을 제거했을 때 상아질 투과도는 큰 증가를 나타내었다($p<0.01$).
3. 상아질 투과도 감소의 대부분은 본딩제를 도포함으로써 얻을 수 있었다($p<0.01$).
4. 실험에 사용된 모든 충전재료들간의 통계적 유의성은 없었다($p>0.05$).
5. 실험에 사용된 어떠한 충전재료도 계면에서의 완전한 밀폐를 나타내지는 못했다.

참고문헌

1. McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD. Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. Quintessence Int 1994;25:587-9.
2. Van Dijken JW. 3-year clinical evaluation of a compomer, a resin-modified glass ionomer and a resin composite in Class Ⅲ restorations. Am J Dent 1996;9:195-8.
3. Abdalla Al, Alhadainy HA, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of glass ionomers and compomers in Class Ⅴ carious lesions. Am J Dent 1997;10:18-20.
4. Kakabura A, Eliades G, Palahias G. Evaluation of the extent of the acid-base reaction on Dyract restorative material. [Abstract 9]. J Dent Res 1996;75:1218.
5. Gladys S, Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vangerle G. Comparative physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin composite restorative materials. J Dent Res 1997;76:883-94.
6. Triana R, Prado C, Garro J, Garcia-Godoy F. Dentin bond strength of fluoride-releasing materials. Am J Dent 1994;7:252-4.
7. Ferrari M, Vichi A, Mannocci, Davidson CL. Sealing ability of two "compomers" applied with and without phosphoric acid treatment for Class Ⅴ restorations in vivo. J Prosthet Dent 1998;79:131-5.
8. Martin J Tyas. Clinical Evaluation of a polyacid-modified resin composite(compomer). Oper Dent 1998; 23:77-80.
9. Brackett WW, Gunnin TD, Gilpatrick, Browning GD. Microleakage of Class Ⅴ compomer and light-curing glass ionomer restorations. J Prosthet Dent 1998; 79:261-3.
10. Toledano M, Osorio E, Osorio R, Garcia- Godoy F. Microleakage of Class Ⅴ resin-modified glass ionomer and compomer restorations. J Prosthet Dent 1999; 81:610-5.
11. Attin T, Buchalla W, Kielbassa AM, Helwig E. Curing shrinkage and volumetric changes of rein-modified glass ionomer restorative materials. Dent Mater 1995;11:359-62.
12. Kidd EA. Microleakage: a review. J Dent 1976;4:199-206.
13. Davidson CL. Resisting the curing contraction with adhesive composites. J Prosthet Dent 1986;55:446-7.
14. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. J Dent Res 1990;69:36-9.
15. Outhwaite WC, Livingston MJ, Pashley DH. Effects of changes in surface area, thickness, temperature and post-extraction time on human dentine permeability. Arch Oral Biol 1976;21:599-603.
16. Derkson GD. Pashley DH. Derkson ME. Microleakage measurement of selected restorative materials: A new in vitro method. J Prosthet Dent 1986;56:435-40.
17. Wu MK, Wesselink PR. Endodontic leakage studies reconsidered. part 1. Methodology, application and relevance. Int Endod J 1993;26:37-43.
18. Pommel L, Camps J. Effects of Pressure and Measurement time on the fluid filtration method in endodontics. J Endod 2001;27:256-8.
19. Otsuki M. Histological study on pulpal response to restorative composite resins and their ingredients. J Stomatol Soc Jpn 1988;55:203.
20. Ciucchi B, Bouillaquet S, Holz J, Pashley D. Dentinal fluid dynamics in human teeth, in vivo. J Endod 1995; 21:191-194.
21. Kugel G, Ronald D. Perry, Elizabeth Hoang, Ferrari M. Dyract compomer: Comparison of total etch vs. no etch technique. Gener Dent 1998; :604-6.
22. Ferrari M, Mannocci F, Kugel G, Garcia-Godoy F. Standardized microscopic evaluation of the bonding mechanism of NRC/Prime & Bond NT. Am J Dent 1999;12:77-83.
23. Hansen SE, Edward J. Swift Jr., Krell KV. Permeability effects of two dentin adhesive systems. J Esthet Dent 1992;4:169-71.
24. 유현미, 박동성, 오태석. 5급 와동의 수복에 있어서 수종의 컴

포머의 미세누출에 관한 연구. 대한치과보존학회지. 2000; 25:41-5.
25. 장현주, 이희주, 허복. 쐐기 형태의 5급 와동에서 수복재료에 따른 변연 미세누출의 비교. 대한치과보존학회지. 2000; 25:56-62.
26. Bourke AM, Walls AWG, McCabe JF. Light-activated glass polyalkenoate(ionomer) cements: The setting reaction. J Dent 1992;20:115-20.
27. Darbyshire PA, Messer LB, Douglas WH. Microleakage in Class Ⅱ composite restorations bonded to using thermal and load cycling. J Dent Res 1988;67:585-7.
28. Litkowski KJ. McDonald NJ. Swierczewski MA. A comparison of thermocycling methods for evaluating microleakage. J Dent Res 1989;68:Abstract 208.
29. Hakimeh S, Vaidyanathan J. Microleakage of compomer Class Ⅴ restorations: Effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. J Prosthet Dent 2000;83:194-203.