



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학석사 학위논문

최신 근관전색제의 생물학적,
물리/화학적 특성 비교연구

A Systematic review on the biological,
chemico-physical characteristics of the
latest root canal sealer.

2014년 2월

서울대학교 대학원

치의학과

하 희 진

최신 근관전색제의 생물학적,
물리/화학적 특성 비교연구

A Systematic review on the biological,
chemico-physical characteristics of the
lastest root canal sealer.

지도교수 양형철

이 논문을 치의학석사 학위논문으로 제출함
2014년 1월

서울대학교 대학원
치 의 학 과
하 희 진

하희진의 석사 학위논문을 인준함
2014년 2월

위 원 장 임 범 순 (인)

부위원장 양 형 철 (인)

위 원 안 진 수 (인)

국문초록

최근 근관치료의 발달로 인해 치아를 보존하는 것에 대한 환자와 치과의사들의 관심이 높아졌다. 근관치료의 성공율을 높이기 위해서는 적합한 근관전색제를 선택하는 것이 중요하다. 근관전색제는 근관충전제와 근관 벽 사이의 미세 공간을 채워 치아 외부의 물질이 근관 속 또는 치근단을 통하여 치조골 내로 퍼지는 것을 막는 역할을 한다. 또한 근관 충전 시 윤택제 역할을 하여 충전제가 근관 속에 안착하는 것을 돕는다. 본 논문에서는 최근에 많이 사용되고 있는 근관전색제를 선별하여 이상적인 근관전색제의 요구조건에 대한 비교연구를 수행하였다.

현재 근관전색제로서 다양한 기전의 재료가 개발되어 있고, 가장 우수한 성질을 나타낸다고 알려진 것은 epoxy resin 계열의 AH Plus이다. 이번 비교 연구에서 조사된 근관전색제는 epoxy resin 계열의 AH Plus, MTA 계열의 Fillapex, silicone 계열의 Gutta-Flow와 RoekoSeal, methacrylate resin 계열의 EndoREZ와 Epiphany, ZOE 계열의 Endomethasone, CaOH 계열의 Sealapex와 Apexit 등이다. 비교연구에 기준이 되는 요구조건은 1)생체적합성, 2)치관변색, 3)구강용액에 대한 용해도, 4)관주액에 대한 용해도, 5)항균성 등으로 Grossman의 이상적인 근관전색제의 요구조건을 참고하여 선별하였다.

생체적합성을 기준으로 근관전색제를 비교해 본 결과, Silicone 계열과 CaOH 계열의 근관전색제의 생체적합성이 우수하였고 MTA 계열의 근관전색제는 비교적 낮은 생체적합성을 나타내는 것으로 보고 되었다. MTA 계열의 Fillapex는 epoxy resin 계열의 AH Plus 또는 CaOH 계열의 Sealapex보다 높은 세포 독성을 보

이는 것으로 보고되었다. Silicone 계열인 GuttaFlow와 RoekoSeal은 근관전색제들 중에서 가장 낮은 세포 독성을 갖는 것으로, methacylated resin 계열의 EndoREZ와 Epiphany는 AH Plus와 비슷한 정도의 세포 독성을 갖는 것으로 조사되었다. CaOH 계열 근관전색제는 epoxy resin 계열이나 ZOE 계열의 근관전색제보다 높은 생체적합성을 가지는 것으로 보고 되었다.

치관 변색을 기준으로 비교해 본 결과, AH Plus가 다른 전색제보다 치관 변색을 유도하는 것으로 보고 되었다.

구강용액에 대한 용해도는 GuttaFlow와 AH Plus가 작은 반면, Sealapex와 Apexit은 큰 용해도를 보이는 것으로 보고 되었다.

근관전색제의 관주액의 용해도에 대한 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 단, NaOCl과 EDTA를 이용한 연구에서 AH Plus가 큰 용해도를 보이는 것으로 나타났다.

근관전색제의 항균성은 Fillapex가 AH Plus보다 항균성이 높은 것으로 조사되었다. RoekoSeal과 GuttaFlow는 항균성을 전혀 나타내지 못했다.

본 조사 연구의 결과는 적절한 근관전색제의 선택에 이용 가능할 것으로 기대된다.

주요어 : root canal sealer, biocompatibility, discoloration, solubility, dissolution, antibacterial

학 번 : 2010-22509

목 차

I. 서론	1
II. 최신 근관전색제의 종류	4
III. 이상적인 근관전색제의 요구조건	12
IV. 요구조건에 따른 근관전색제 비교연구	18
V. 결론	26
VI. 참고문헌	29

I. 서론

최근 근관 치료에 이용되는 기술과 재료 및 장비의 발달로 인해 치아를 보존하는 것에 대한 환자와 치과의사들의 관심이 높아졌다.[1-4] 근관 치료 후에 근관은 Gutta-percha 등의 근관충전제와 근관전색제로 채워지게 된다. 따라서 근관 치료의 성공율을 높이기 위해서는 적합한 근관전색제를 선택하는 것이 중요하다.[5]

근관전색제는 근관충전제와 근관 벽 사이의 미세 공간을 채워 치아 외부의 물질이 근관 속 또는 치근단을 통하여 치조골 내로 퍼지는 것을 막는 역할을 한다. 또한 근관 충전 시 윤활제 역할을 하여 충전제가 근관 속에 안착하는 것을 돕는다.[6] 근관치료의 성공을 위해 근관전색제가 적합한 생물학적, 물리/화학적 특성을 지니며 치근단을 완전히 봉쇄하는 것이 중요하다.[7]

기존의 근관전색제는 크게 네 가지 계열로 나눌 수 있다. 초기의 근관전색제는 Grossman 또는 Ricker's formulas를 기반으로 한 zinc oxide-eugenol(ZOE) 계열을 근관전색제이다.[8] ZOE 계열의 근관전색제는 현재까지도 전 세계적으로 널리 쓰이고 있다. 그 후에 등장한 epoxy resin 계열 근관전색제는 임상적 성질이 우수하여 오랫동안 사용되고 있다. 1980년대에 등장한 calcium hydroxide(CaOH) 계열의 근관전색제는 치근단에 경조직을 형성하려는 목적으로 개발되었다.[9] 비교적 최근에 시장에 나온 glass ionomer(GI) 계열의 근관전색제는 자발적으로 상아질에 접착하는 성질이 있어 치근단을 밀폐하는데 적합할 것이라 기대되었다.[10, 11] 하지만 GI 계열의 근관전색제는 재치료에 어려움이 있는 등 몇 가지 단점으로 인해 현재 활발히 이용되지 못하고 있다.

최근에는 MTA 계열, silicone 계열, methacrylated resin 계열 등의 근관전색제가 개발되며 활발히 연구가 진행되고 있다. MTA 계열 근관전색제는 골전도를 촉진하는 성질이 있고,[12-14] 알칼리성 pH를 가지는 특성을 가지고 있다.[15] silicone 계열의 근관전색제의 경우 대표적 근관충전제인 gutta-percha와의 균질한 충전을 위해 개발되었다. 흐름성과

밀폐력이 우수한 장점을 가진 것으로 보고되고 있다.[16] methacylated resin 계열의 근관전색제는 근관충전제와 상아질에 동시에 접착하는 성질이 있다.[17] 이로 인해 다른 계열의 근관전색제들 보다 비교적 밀폐력이 우수한 것으로 보고 되고 있다.[18]

근관전색제는 근관치료 시에 필수적인 재료로서 오랫동안 사용되어 왔으며 다양한 계열의 제품들이 개발되어, 각 근관전색제의 특성을 비교하는 연구 결과들이 상당수 보고되었다. 또한 특정 계열의 근관전색제의 다양한 특성을 비교하거나 서로 다른 계열의 근관전색제들을 단일한 특성으로 비교한 연구들은 다수 있었다.[19-28]

Vujaskovic는 scanning electronic microscopy (SEM)을 사용한 실험에서 silicone 계열 근관전색제인 GuttaFlow(Coltène/Whaledent, Altstätten, Switzerland)가 GI 계열의 Ketac-Endo(3M ESPE)보다 gutta-percha에 대한 접착력이 우수하여 밀폐력 또한 우수한 것으로 보고 하였다.[19] Lee의 연구에서 ZOE 계열, CaOH 계열, epoxy resin 계열, GI 계열 근관전색제를 이용하여 상아질과 gutta-percha와의 접착성에 대해 실험하였다. 실험 결과 ZOE 계열과 epoxy resin 계열 근관전색제가 비교적 접착성이 강하였다.[27]

Alnezi의 연구에서 calcium silicate 계열의 Endosequence BC (Brasseler USA, Savannah, GA) 와 회색 및 흰색 MTA를 대상으로 실험한 결과 세포의 생활력에 큰 차이를 나타내지 못했다. 반면, epoxy resin 계열의 AH 26(Dentsply, Konstanz, Germany)은 세포의 생활력을 확실히 감소시키는 것으로 보고 되었다.[28] Karapinar-Kazandag는 L929 세포와 사람의 치수 세포를 이용한 실험에서 methacrylated resin 계열의 Epiphany(Pentron Clinical Technologies, LLCC, Wallingford, CT, USA)가 비교적 높은 세포 독성을 가지는 것으로 보고 하였다.[22]

본 논문에서는 최근에 많이 사용되고 있는 근관전색제를 선별하여 이 근관전색제들이 기존의 근관전색제들과 비교하여 어떤 특성을 지니는지 살펴보도록 하겠다. 이를 위해 우선 Grossmas의 이상적인 근관전색제의 요구조건을 참고하여 근관전색제가 갖추어야 할 이상적인 요구조건을 선

정하였다. 선정된 요구조건들을 바탕으로 하여 최신의 근관전색제들을 기존의 근관전색제들과 더불어 비교연구를 수행하였다.

II. 최신 근관전색제의 종류

일반적으로 주요 네 가지 종류의 근관전색제는 zinc oxide eugenol(ZOE)계열, epoxy resin 계열, calcium hydroxide(CaOH) 계열, 그리고 glass ionomer(GI) 계열의 근관전색제이다.[29] ZOE 계열과 epoxy resin 계열, 그리고 CaOH 계열 근관전색제는 여전히 많이 이용되고 있지만 GI 계열 근관전색제는 경도가 강하고 용해성이 낮아 재치료 및 포스트공간 형성에 어려움이 있어 널리 사용되지 못해 이번 비교 연구에서 제외 하였다. 현재까지 가장 우수한 임상적 특성을 지닌 것으로 알려져 있는 근관전색제는 epoxy resin 계열이다.[30, 31]

최근 개발된 mineral trioxide aggregate (MTA) 계열과 silicone 계열, 그리고 methacrylated resin 계열 근관전색제는 현재 활발한 연구가 진행되고 있어 비교 연구에 포함하였다.

따라서 본 논문에서는 기존 근관전색제의 계열인 ZOE 계열, epoxy resin 계열, CaOH 계열과 최신 근관전색제 계열인 MTA 계열, silicone 계열, methacrylated resin 계열 등의 여섯 계열의 근관전색제들을 비교 연구하고자 한다. 각 계열에 따라 선별된 아홉 가지의 제품들은 아래와 같다.

계열	제품	제조사
ZOE	Endomethasone	Septodont, France
Epoxy resin	AH Plus	Dentsply, Konstanz, Germany
CaOH	Sealapex	SybronEndo, Orange, CA, USA
	Apexit	Vivadent, Germany
MTA	Fillapex	Angelus, Londrina, PR, Brazil
Silicone	GuttaFlow	Colténe/Whaledent, Altstätten, Switzerland
	RoekoSeal	Colténe/Whaledent, Altstätten, Switzerland
Methacrylated resin	EndoREZ	Ultradent Products, Inc, South Jordan, UT, USA
	Epiphany	Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, USA

1. zinc oxide eugenol(ZOE)계열 근관전색제

ZOE 계열 근관전색제는 근관전색제의 표준으로 인식되며 오랫동안 성공적으로 사용되어 왔다.[32] 이 근관전색제는 치질착색, 경화시간의 지연, 접착성 결여, 그리고 구강 액체에 대한 용해성과 같은 부정적인 성질보다 긍정적인 성질이 크다.[33]

이 근관전색제는 zinc oxide와 resin이 주성분인 분말과 eugenol액으로 구성되어 있다. 현재 사용되는 대부분의 ZOE 계열의 근관전색제는 이 Grossman's formula 원래 조성을 수정한 것이다.[33] 산화아연에 각종 첨가제가 포함된 분말을 Eugenol 액과 혼합하여 사용한다. Eugenol 대용으로 Clove oil, Peru balm이 사용되기도 한다. 기타 첨가 물질로서 thymol(antibacterial), paraformaldehyde, hydroxyl apatite, calcium hydroxide가 첨가되기도 한다. 산화아연유지놀은 다른 종류의 실러의 기저(base)를 이루기도 한다.

이 재료는 근첨공 밖에 나가도 치근단 조직에 친화성이 좋아 소량인 경우는 처음에 염증 반응이 있어도 곧 소실되고 흡수된다. 또 항균효과가

높고 근관 폐쇄성이 우수하다. Chloroform, carbon tetrachloride, xylol, ether 등에 용해된다.[34, 35]

ZOE 계열 근관전색제는 일반적으로 생체적합성이 우수한 것으로 알려져 있다. ZOE 계열 근관전색제의 세포독성은 다른 근관전색제와 비교해서 중간 정도이지만 Formaldehyde를 포함한 근관전색제는 세포독성이 매우 강하다. ZOE 계열 근관전색제는 완전히 setting된 후에도 강한 항균성을 지니는데 eugenol이 ZOE 근관전색제 항균작용의 주요 물질이다. ZOE cement는 경화가 된 후 가수분해되어 부피가 상실되고 free eugenol이 유리되는 등 많은 단점을 가지고 있다.

이 계통의 제품으로는 Grossman 근관전색제(Procosol)(Star Dental, Conshohocken, PA, USA), Ricker's sealer, N2 (Indrag-Agsa, Losone, Switzerland), 그리고 endomethasone(Septodont, France) 등이 있다. 이번 논문에서 비교 연구에 포함된 endomethasone에 이어 endomethasone C, endomethasone N 등이 출시되어 판매되고 있다.

2. epoxy resin 계열 근관전색제

최근 많이 사용되고 있는 근관전색제인 epoxy resin 계열 근관전색제는 항균성, 접착성, 긴 작업시간, 혼합의 용이성, 그리고 매우 우수한 폐쇄성을 가진다. 단점으로는 치질 착색성, 용매에서의 낮은 용해성, 경화 전의 독성, 구강액체에 대한 용해성 등이다.[35] 이 계통의 제품으로는 AH26(Dentsply, Konstanz, Germany), AH plus(Dentsply, Konstanz, Germany) 등이 있다.

AH26은 epoxy resin이 주성분으로 분말과 액으로 되어 있으며 접착성이 좋고 경화시간이 길며(36내지 48시간) 폐쇄성도 좋다. 치아에 착색되어 변성을 일으키고 용해성이 있는 것이 단점이다.[35] 최근 도입된 AH plus는 AH26과 유사한 물성을 가지나 포름알데히드 방출이 적어서 생체적합성이 더 우수하고 은(silver) 성분이 제거됨으로써 상아질 착색성이 감소된 것으로 보인다.

AH26의 독성은 AH Plus의 독성보다 더욱 높는데 이는 AH26에 포함되어 있는 paraformaldehyde 성분에 의한 것이며 AH Plus에서는 이 성분이 제외되었다.[36] 물론 이중 몇몇의 근관전색제는 혼합 직후 높은 독성을 나타내기도 하지만 경화된 후에는 불활성화되며 특히 최근에 나온 AH plus같은 재료는 이전의 재료들보다 더 낮은 세포 독성 및 유전적 독성을 보인다는 점에서 다른 계통의 근관전색제에 비해 추천되는 재료라고 할 수 있다.[36]

AH Plus는 세포 독성 면이나 물리적 성질 측면에서 현재 가장 우수하다고 알려진 재료이다.[30, 31] 하지만 방사성 불투과성, 재치료 면에서 불리한 특성 또한 지니고 있다.[7] 따라서 근관 치료의 목적에 맞게 근관전색제를 선택해야 한다.

3. calcium hydroxide(CaOH) 계열 근관전색제

CaOH 계열 근관전색제는 ZOE 또는 resin 기저(base)에 calcium hydroxide 을 첨가한 것이다. 이 근관전색제는 비교적 낮은 세포 독성을 나타내고 치근단부에 경조직 형성을 촉진하는 생물학적 성질을 가진다. 경조직 형성에 대한 메커니즘은 완전히 밝혀져 있지 않으나 높은 pH와 calcium이 관련된 것으로 추정되고 있다.[35]

CaOH 계열 근관전색제는 ZOE 계열보다 낮은 항균 작용을 가지며 *Enterococcus faecalis*와 *Candida albicans*에 대한 항균효과는 없다고 보고 되었다.[37-40]

또한 구강 액체에 대한 용해도가 커서 장기적으로 변연 적합이 부적절하고 미세 누출이 되는 단점이 있다.[41, 42] 큰 용해성으로 인한 장기간의 안정성과 조직 독성에 대해서는 의문이 제기되어 왔다. 부가적인 실험적 및 임상적인 결과가 나올 때까지 이 근관전색제는 뚜렷한 장점을 가진다고 보기 어렵다.[35]

이 계열의 제품으로는 Sealapex(SybronEndo, Orange, CA, USA), Apexit(Vivadent, Germany) 등이 있다. Setting은 calcium ion과

salicylate의 chelating에 의해 형성된다. OH⁻와 Ca ion이 방출된다.

Desai의 연구에서 CaOH 계열 근관전색제의 물리적 성질, 생체적합성, 미세누출, 접착성, 용해성, 항균성, 치유효과를 기준으로 다른 종류의 근관전색제와 비교하였다. CaOH 계열 근관전색제는 적절한 항균성을 지니면서도 비교적 약한 세포 독성을 나타내었다.[43]

4. Mineral Trioxide Aggregate(MTA) 계열 근관전색제

MTA는 최근 근관전색제, pulp capping, apexification, root end filling 등에 사용되고 있다. MTA 계열의 근관전색제는 생체적합성과 생물 작용이 우수하고 골전도를 촉진하는 성질이 있으며,[12-14] 알칼리성 pH를 가지는 특성을 가지고 있다.[15]

하지만 MTA 계열 근관전색제의 생물학적 특성에 대해서는 현재까지 논의가 계속되고 있다. 이 근관전색제를 혼합한 직후에는 매우 높은 세포 독성과 유전 독성을 보이는 것으로 보고 되기도 하였고[44] 또 다른 in vivo 실험에서는 90일 가량 세포 독성이 지속되었다.[45] 하지만 최근의 연구에서는 MTA 계열의 근관전색제는 초기의 높은 세포 독성이 점점 감소하여 적합한 생체적합성을 가지게 된다고 보고하고 있다. 또한 아파타이트 크리스탈(apatite crystal) 형성을 위한 핵을 자극하는 생물 작용을 보이는 것으로 보고 되고 있다.[46]

이 계열의 제품으로는 Fillapex(Angelus, Londrina, PR, Brazil) 등이 있다. Fillapex는 MTA, salicylate resin, natural resin, bismuth oxide, 그리고 silica 등으로 구성되어 있다.

최근의 연구에서 이 근관전색제는 방사성 불투과성, 흐름성, 알칼리성 pH 등의 적절한 물리 화학적 특성을 지니는 것으로 보고 되고 있다.[15]

Silva의 연구에서 Fillapex는 AH Plus보다 방사선 불과성이 낮았고 모든 실험 과정에서 pH는 더 높았다.[15]

또한 Vitti의 연구에서 Fillapex의 흐름성과 수분 흡수성은 AH Plus와 비교하여 낮았고 작업 시간과 경화 시간은 더 짧았다. 특히, 수분 흡수성

과 용해도는 시간이 지날수록 증가하였는데 이는 AH Plus에서도 마찬가지였다.[47]

5. Silicone 계열 근관전색제

최근 근관충전제로 많이 쓰이는 gutta-percha와의 균질한 충전을 위해 silicone 계열의 근관전색제가 개발되었다. 이 계열의 근관전색제는 흐름성이 좋아 gutta-percha가 미치지 못하는 공간까지 잘 흘러들어 미세 누출을 막아 밀폐력이 좋은 것으로 알려져 있다.[16]

이 계열의 제품으로는 RoekoSeal(Coltene, Germany)과 GuttaFlow(Colténe/Whaledent, Altstätten, Switzerland)가 있다.

특히, GuttaFlow는 RoekoSeal의 단점을 보완하며 새롭게 출시된 제품으로[49-51] RoekoSeal보다 우수한 생체적합성을 보이는 것으로 보고되었다.[52, 53] RoekoSeal은 polyvinylsiloxane으로서 경화시 다소 팽창한다고 알려져 있으며 GuttaFlow는 혼합하여 사용하는 흐름성 재료로서 주입식(injectable) 시스템이다. 또한 GuttaFlow는 gutta-percha 성분이 Filler로서 포함되며 polydimethylsiloxane과 nano-silver particles (< 30 μm) 등으로 구성되어 있다.[49-51]

GuttaFlow의 낮은 점도로 인해 압력을 가해 근관내로 주입할 경우 치근단공 밖으로 유출될 가능성이 높다.[54] 하지만 대체로 특별한 조직 반응은 없는 것으로 보고 되고 있다.[52, 53]

6. methacrylated resin 계열 근관전색제

methacrylated resin 계열 근관전색제는 근관충전제와 상아질에 동시에 접착성이 있다는 개념으로 개발되었다. 현재까지 총 4세대의 근관전색제가 개발되었고 자가부식 접착제 시스템의 개발로 치과계에서 함께 주목받게 되었다.[17]

1세대 근관전색제는 1970년대 중반에 시장에 소개되었으나 생물학적,

물리적, 임상적 성질이 적합하지 못해 주목을 받지 못했다. 1세대 제품의 종류로는 Hydron (Hydron Technologies, Inc, Pompano Beach, FL)등이 있다. 21세기 초반에 자가부식 접착 시스템의 개발과 더불어 methacrylated resin 계열의 근관전색제는 근관 내에서 접착성을 가지는 성질로 인하여 다시 소개 되었다. 그 후의 2,3,4세대의 methacrylated resin 계열의 근관전색제가 개발 되어 현재 치과계에서 사용되고 있다.

Methacrylated resin 계열의 근관전색제는 in vitro 연구에서 밀폐력, 자가부식능력, 생체적합성, 제거 용이성 등이 우수한 것으로 보고 되고 있다.[55-59]

특히, 이 계열의 근관전색제는 근관 내 공간을 monoblock으로 채우고자 하는 목표를 성취해 낼 수 있는 근관전색제로서 주목받고 있다. monoblock이란 근관 내 공간을 빈틈없이 완전한 고체로 채우는 것으로 이 고체는 서로 다른 물질로 이루어져 있으나 밀폐력이 우수하고 근관 파절에 대한 저항성을 나타낸다.[60, 61]

하지만 현재까지 methacrylated resin 계열 근관전색제는 더 많은 연구 개발을 통해 문제점을 보완할 필요가 있다.

Kim의 연구에서 이 계열의 근관전색제는 시험관 실험에서 기존의 비접착식 근관전색제보다 밀폐력, 자가 부식력, 생체적합성, 제거용이성 등의 면에서 우수하다는 결과가 나왔다. 하지만 근관 내 공간과 완전한 하나의 결합을 이루기에는 앞으로 해결해야 할 문제들이 많다. 따라서 근관 충전제와 결합력을 증진시키기 위해 이 계열의 근관전색제를 사용할 특이할 만한 이유는 없다고 보고 하였다.[17]

Patil은 기존 epoxy resin 계열 근관전색제인 AH Plus와 methacrylated resin을 사용한 치근단의 밀폐력을 알아보는 실험에서 치관이 단순한 모양일 때 밀폐력이 더 우수하다고 보고 하였다.[18]

이 계열의 제품으로는 2세대 제품인 EndoREZ (Ultradent Products, Inc, South Jordan, UT, USA)와 3세대 제품인 FibreFill R.C.S. root canal sealant (Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT), Epiphany (Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, USA), RealSeal

(SybronEndo, Orange, CA), Resinate(Obtura Spartan Corp, Fenton, MO), Smart (Discus Dental, Culver City, CA)등이 있다. 4세대 제품들은 3세대 제품이 개선된 제품들로 Meta-SEAL(Parkell Inc), RealSeal SE(SybronEndo, Orange, CA)등이 있다.

Ⅲ. 이상적인 근관전색제의 요구조건

1. Grossman의 이상적인 근관전색제의 요구 성질[35,62]

Grossman은 이상적인 근관전색제의 요구성질을 나열하였다. 그러나 현재 사용되고 있는 근관전색제 중 그 성질을 모두 충족하는 것은 없으며 다만 재료에 따라 다소의 차이가 있을 뿐이다. 그가 나열한 이상적인 근관전색제의 요구 조건은 다음과 같다.

첫째, 폐쇄 능력이 우수하여야 한다. 근관전색제는 근단 방향, 측방 및 치관 방향으로 폐쇄를 유지하여야 한다.

둘째, 근관벽과 충전재 사이에서 접착성이 있어야 한다. 접착성이 좋은 재료라면 코어재료와 상아질 사이에 완전한 접착을 이루어 모든 공간을 막아줄 것이다. ZOE 계열 근관전색제는 접착성이 없으나 resin 계열 근관전색제는 다소의 접착성을 가진다.

셋째, 혼화했을 때 점착성이 있어야 한다.

넷째, 방사선 불투과성이어야 한다. 근관전색제는 방사선사진에서 보일 수 있어야 한다. 그러나 근관전색제의 방사선 불투과성이 강할수록 충전 내부의 기포를 가려 보이지 않게 하는 단점이 있다. 방사선 불투과성을 증진시키기 위한 첨가물로는 silver, lead, iodine, barium, bismuth를 사용한다.

다섯째, 치질을 착색시키지 않아야 한다. 잔여물이 추후에 치관을 변색시키지 않아야 한다. 현재 시험된 모든 근관전색제, 특히 ZOE 계열 근관전색제나 중금속을 함유하는 근관전색제는 치질을 착색시킨다.

여섯째, 천천히 경화하여야 한다. 근관전색제는 충전물을 도입하고 조작할 수 있는 적절한 작업시간을 허용해야 하고 충전이 종료되면 곧 경화하여야 한다. 포스트 공간을 즉시 형성할 경우에는 근관전색제가 경화되어 있지 않는 것이 좋다.

일곱째, 경화 시 수축하지 않아야 한다. 근관전색제는 체적 안정적이거나 경화 시 약간 팽창해야 한다.

여덟째, 쉽게 혼합할 수 있어야 하고 근관 속에 잘 유입되어야 한다.

아홉째, 구강 또는 조직액에 용해되지 않아야 한다. 근관전색제는 조직액에 닿았을 때 분해되지 않아야 한다. 근관전색제는 특히, 구강용액에 닿았을 때 다소 용해되는 성질을 가지고 있다.

열번째, 치근단 조직에 자극을 가하지 않아야 한다. 근관전색제가 조직의 파괴나 세포의 사멸을 초래해서는 안된다. 사용되는 모든 근관전색제는 다소의 독성을 나타낸다. 이 독성은 근관전색제가 경화되기 전에 가장 크고 경화 후 및 시간 경과에 따라 감소하는 경향이 있다.

열 한번째, 세균의 성장을 조장하지 않아야 한다. 살균성을 가진 근관전색제가 이상적이겠으나 세균을 죽이는 물질은 환자의 조직에도 독성을 나타낼 것이다. 최소한 근관전색제는 세균의 성장을 조장하지는 않아야 한다.

열 두번째, 필요 시 제거하고자 할 때 용매에 용해되어야 한다. 충전 후 수일, 수개월, 또는 수년 후에 포스트 공간형성 또는 재치료가 필요할 수 있다. 근관전색제는 용매에 용해될 수 있어야 한다. 다양한 근관전색제는 서로 다른 용매에서 다양한 기계적 방법으로 서로 다른 용해도를 나타낸다.

2. 근관전색제 요구조건 선별

1) 생체적합성

치과 재료는 구강 내 조직에 직접 접촉되고 비교적 긴 시간 동안 인체 내에서 기능을 하기 때문에 생체적합성이 우수해야 함이 필수적이다. 근관전색제도 마찬가지로 근관 내에서 상아질 세포와 반응하고 치근단공을 넘어가는 경우가 발생할 수 있기 때문에 생체적합성을 본 논문의 요구조건에 포함시키고자 한다.

생체적합성의 주요 분류에는 세포 독성과 알러지 반응이 있다. 대부분의 논문에서 근관전색제의 생체적합성은 세포 독성을 통해 평가되고 있

다. in vivo 또는 in vitro 실험을 통해 근관전색제의 세포 독성에 대해 살펴보고 생체적합성은 어떠한지 알아볼 필요가 있다.

근관전색제의 systemic toxicity가 보고된 바는 없다.[63] 하지만 epoxy resin 계열과 ZOE 계열 근관전색제는 드물지만 allergy 반응이 보고되었으며 특히 ZOE가 paraformaldehyde를 포함할 경우가 반응성이 높다. Formaldehyde를 포함한 근관전색제는 학계에서 추천하지 않는다. 근관전색제는 setting중 biologically active하므로 임상종사자는 직접적인 접촉은 피해야 한다.[64-66]

모든 계열의 근관전색제는 혼합된 직후에는 어느 정도의 독성을 나타내나 경화된 후 조직액에 노출되면 흡수되기 때문에 조직의 치유반응에는 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 충전 후 분해 산물이 치근 주위조직에 해를 끼칠 수도 있기 때문에 임상에서 근관전색제가 치근단공을 넘어가는 것은 추천되지 않는다. 따라서 근관전색제는 neurotoxic하지 않아야 한다.

Azar et al.에 의하면 모든 근관전색제들은 혼합 직후 초기에는 독성을 나타내지만 경화가 완료된 후에는 큰 폭으로 독성이 감소한다고 한다. 특히 epoxy resin 계열의 근관전색제는 다른 계열에 비해 감소폭이 크다. ZOE 계열 근관전색제는 free eugenol에 의해 세포독성이 지속되며 epoxy resin 계열의 근관전색제는 일단 경화가 완료되면 비교적 안정된 물질로 변환된다.[36]

근관전색제의 생체적합성은 근관치료의 성공 여부에 중요한 요소이다.[57] 근관전색제는근관 내부에 있는 것을 기대하여 개발되었지만 치근단공을 통하여 근관 외부로 유출되는 경우를 자주 볼 수 있다.[67, 68] 근관전색제와 상아질 세포의 반응보다 근관전색제가 치근단을 넘어갔을 때의 염증 반응이 중요하다.[69]

근관전색제가 치근단을 넘어갔을 때의 반응은 근관전색제 종류별로 다르게 나타난다. Bernath et al.의 연구 결과에 의하면 근관전색제의 종류에 무관하게 치근단을 넘어가면 염증 반응을 일으켰고, 치근단을 넘어가지 않더라도 Endomethasone과 AH26은 각각 3/9, 2/7의 확률로 염증 반

응을 나타내었다. 치근단을 넘어 간 것과 넘어가지 않은 것의 반응 양태는 다르지 않았으나 근관전색제의 종류별로 조직학적 반응 양태는 달랐다.[70]

2) 치관변색

근관 치료 후에 치아의 심미성은 치과의사의 주요한 관심사이며 환자의 삶의 질에도 영향을 미친다.[71] 만약 근관전색제가 치수강 내에 남아 있게 되면 치관의 변색을 유발할 수 있다. 몇 가지 연구를 통해 Gutta-percha 등 근관충전제 및 근관전색제가 치관 변색을 유발한다는 것이 보고 되었다.[72-76] 치관 변색의 원인, 외관, 위치, 정도 등은 다양한 양상을 나타낸다.[77] 따라서 치수강 내에 남은 여분의 근관전색제를 완전히 제거하는 것이 중요하며 치관의 변색에 어느 정도 영향을 미치는지가 근관전색제의 중요한 요구조건이 된다.

최근 연구들은 근관전색제에 의한 치관 변색을 CIE L*a*b* color system을 이용하여 측정하는 경향이 늘어나고 있다.[78, 79] CIE L*a*b* color system은 L, a, b의 세 가지 축을 이용하여 색을 표현한 시스템으로서 L*은 밝기, a*는 빨강-초록의 정도, b*는 노랑-파랑의 정도를 나타낸다. L은 0(검정)부터 100(흰색)까지 범위의 값을 가지는데 100에 가까울수록 밝다. a는 양의 값(빨강)과 음의 값(초록)을 가지고 b도 양의 값(노랑)과 음의 값(파랑)을 가지면서 색을 표현하게 된다.[80]

근관전색제에 의해 변색된 치아의 경우 통상적인 미백 방법을 사용하여 치아의 원래 색을 유도해 낼 수 있으나 재발의 위험성이 있다.[81]

3) 구강용액에 대한 용해도

성공적인 근관 치료를 위하여 근관전색제는 치근단을 밀폐하여 박테리아의 침입을 막아주는 역할을 해야 한다.[82-84] 따라서 근관전색제가 구강 내 조직액에 의해 용해되지 않는 성질은 이상적인 근관전색제의 요

구조건에 해당된다고 볼 수 있다.[85, 86]

근관전색제가 구강 용액에 용해될 경우 미세누출이 증가하게 된다. 이는 치근단의 밀폐력 감소로 이어지고 이 틈으로 박테리아가 침입할 수 있다. 이럴 경우 결국 근관 치료의 실패로 이어질 수 있다.

대부분의 실험 논문들이 구강 액체 보다 물을 이용하여 실험하였다. 물에 대한 용해성이 낮다는 것은 임상 적용 시 조직액에 가장 적게 용해될 것임을 시사한다.

4) 관주액에 대한 용해도

이상적인 근관전색제는 구강 용액에 용해되지 않아야 하며 동시에 관주액 등의 용매에는 용해도가 높아야 한다. 관주액에 용해도가 높아야 하는 이유는 재치료 시에 근관전색제를 제거를 용이하게 하기 위함이다.

현재 근관 치료의 성공율은 높은 편이나 재치료의 가능성을 항상 염두할 필요가 있다. 따라서 근관전색제는 관주액에 잘 용해됨으로써 제거가 용이해야 한다. 현재 많이 사용되고 있는 관주액으로는 NaOCl 등이 있다.

5) 항균성

근관전색제는 근관 내에서 세균의 번식을 막아주는 역할을 해야 하기 때문에 적합한 항균력을 지니고 있는가가 중요한 요구조건이 된다. 이것은 우선적으로 근관의 형성과 세척으로 가능하지만 항균력이 우수한 근관전색제를 이용하는 것보다 밀접한 관련을 지닌다.[87]

대부분의 연구에서 근관전색제의 항균성에 대한 실험에 *Enterococcus faecalis*를 사용하였다. 그 이유는 *Enterococcus faecalis*가 근관 치료 실패의 원인균으로 잘 알려져 있기 때문이다.[53] 일반적으로 세포독성이 강한 근관전색제는 항균력도 강하다.

그 밖에 근관전색제의 요구조건 중에서 밀폐력과 연관된 물리적 성질이 중요하다. 근관전색제가 상아질 및 gutta-percha와의 접착력이 있는지의 여부도 중요한 요구조건이나 본 연구에서 선별한 ‘구강용액에 대한 용해도’에 해당하는 요구조건과 물리 화학적 측면에서 일정부분 겹쳐지는 면이 있다고 판단하여 본 논문의 비교 기준에 포함하지 않았다.

Lee의 연구에서 ZOE 계열, CaOH 계열, epoxy resin 계열, GI 계열 근관전색제를 이용하여 상아질과 gutta-percha와의 접착성에 대해 실험하였다. 실험 결과 ZOE 계열과 epoxy resin 계열 근관전색제가 비교적 접착성이 강하였다.[27]

이상 살펴 본 바에 따라서 본 논문에서는 Grossman의 이상적인 근관전색제의 조건을 참고하여, 비교 연구에 포함할 요구조건을 다음의 5가지로 선택하였다; 생체적합성(Biocompatibility), 치관변색(Tooth discoloration), 구강용액에 대한 용해도(Insolubility in tissue fluid), 관주액에 대한 용해도(Solubility in solvent agent), 항균성(Antibacterial effect)

IV. 요구조건에 따른 근관전색제 비교연구

1. 생체적합성

생체적합성을 기준으로 근관전색제를 비교해 본 결과, MTA 계열의 근관전색제는 비교적 낮은 생체적합성을 나타내었다. epoxy resin 계열과 methacrylated resin 계열의 근관전색제는 중간 정도의 생체적합성을, silicone 계열과 CaOH 계열의 근관전색제는 비교적 높은 생체적합성을 나타내는 것으로 보고 되었다.

우선 MTA Fillapex에 관한 연구들을 살펴보면, Silva의 연구에서 Fillapex는 실험의 전 과정에서 중간 정도의 세포 독성을 나타내며 AH Plus, Sealapex 등 다른 근관전색제들 보다 생체적합성이 낮음을 나타내었다. 실험에 이용된 모든 근관전색제들은 초기에 강한 세포 독성을 나타내었으나 시간이 지남에 따라 감소하였다.[48]

Silicone 계열 근관전색제에 관한 연구를 살펴보면 먼저, GuttaFlow는 AH Plus나 Sealapex 등 실험에 사용된 다른 근관전색제들 중에서 가장 낮은 세포 독성을 나타내었다.[88] RoekoSeal은 아무런 세포 독성을 나타내지 않았다.[48] Lodiene의 연구에서도 setting 전에는 아무런 세포 독성을 나타내지 않았고 setting 후에도 AH Plus 등 실험에 사용된 근관전색제들 중에서 가장 약한 세포 독성을 나타내었다.[89] 반면, Silva-Herzog의 연구에서는 쥐를 이용한 in vivo 실험에서 AH Plus와 RoekoSeal 사이의 세포 독성은 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다고 보고하기도 하였다.[90]

하지만 전반적으로 Silicone 계열의 근관전색제는 epoxy resin 계열인 AH Plus보다 낮은 세포독성을 보이는 것으로 보고되고 있다. 특히, GuttaFlow는 RoekoSeal의 단점을 보완하며 새롭게 출시된 제품으로 [49-51] RoekoSeal보다 우수한 생체적합성을 보이는 것으로 보고되었다.[52, 53] 따라서 silicone 계열의 근관전색제는 비교적 높은 생체적합성을 보이는 것으로 판단된다.

Ashraf는 L929 세포를 사용한 ex vivo 연구에서 epoxy resin 계열의 AH plus와 methacylated resin 계열의 EndoREZ, Epiphany 등 세 종류의 근관전색제의 세포 독성을 실험하였다. 실험 결과, 위의 근관전색제들의 세포독성은 통계학적으로 유의할만한 차이가 없었다.[91] Sousa의 연구에서 Epiphany는 기니 피그의 치조골 내에서 가장 높은 생체적합성을 보였다. Epiphany는 AH Plus보다 생체적합성이 높았고 EndoREZ는 AH Plus보다 심각한 염증 반응을 보이며 더 낮은 생체적합성을 나타내었다.[92]

반면, Lodiene의 연구에서는 Epiphany 가 가장 심각한 세포 독성을 나타내었고 EndoREZ는 세포 독성을 나타내지 않았다. AH Plus는 중간 수준의 생체적합성을 보였다.[89] Mutoh의 연구에서도 Epiphany SE와 AH Plus Jet이 쥐의 치근단 조직에 유발하는 염증 정도는 차이가 없는 수준이었다. 또한 14일 후에 모든 근관전색제로부터 발생한 염증은 회복되었다. 이 실험에서는 Epiphany SE와 AH Plus Jet의 생체적합성이 우수함을 확인하였다.[93]

전통적으로 많이 사용된 근관전색제들의 생체적합성을 비교한 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 전반적으로 CaOH 계열의 근관전색제가 epoxy resin 계열 또는 ZOE 계열의 근관전색제보다 우수한 생체적합성을 보이는 것으로 판단된다.

Huang은 Epoxy resin 계열 AH Plus, ZOE 계열 Endomethasone, CaOH 계열 Sealapex 등을 서로 다른 타입의 근관전색제를 대상으로 인간과 햄스터의 치주인대 세포를 사용하여 생체적합성 실험을 하였다. 실험 결과 CaOH 계열 근관전색제는 가장 낮은 세포 독성을 보였다. 따라서 CaOH 계열 근관전색제가 가장 좋은 생체적합성을 가진다고 볼 수 있다. 세포 독성의 순서는 Endomethasone > AH plus > Sealapex였다.

근관전색제는 생체내의 수분에 의해 서서히 용해되는 경향이 있고 심각한 세포 독성을 초래 할 수 있다.[94] 반면, Silva-Herzog는 Sealapex가 AH Plus보다 더 큰 염증 반응을 일으키는 것으로 보고하였다.[90]

2. 치관변색

치수강 내에 남아있는 근관전색제는 치관의 변색을 일으킬 수 있다. 근관전색제의 많은 발전에도 불구하고 근관전색제에 의한 치관의 변색은 여전히 임상적인 과제물로 남아있다.[78]

치관 변색을 기준으로 비교해 본 결과, 최근 개발된 MTA 계열, silicon 계열, methacrylated resin 계열과 CaOH 계열의 근관전색제들은 비교적 치관 변색을 유발하지 않는 것으로 판단된다. 반면, epoxy resin 계열인 AH Plus는 다른 전색제보다 치관 변색을 유도하는 것으로 보고 되었다.[95]

Ioannidis는 MTA 계열 Fillapex와 ZOE 계열 근관전색제인 Roth-811 (Roth's International, Chicago, IL, USA)의 치관 변색 정도를 CIE $L^*a^*b^*$ color system을 이용하여 각각 1주, 1달, 3달동안 비교하였다. 실험 결과 Fillapex는 치관 변색을 거의 일으키지 않은 반면, Roth-811이 Fillapex보다 L^* 을 감소시키고 a^* 와 b^* 를 증가시키는 것으로 나타났다.[79]

Silicone 계열 근관전색제인 GuttaFlow는 치관 변색을 거의 일으키지 않는 것으로 알려져 있다. 하지만 Ioannidis의 또 다른 연구에서 GuttaFlow도 약간의 치관 변색을 유도하는 것으로 보고 되었는데, GuttaFlow는 CIE system의 a^* 와 b^* 값을 증가시키며 빨강과 노랑 측면에서 치관에 약간의 변색을 일으켰다.[86] 같은 계열 근관전색제인 RoekoSeal의 치관 변색에 미치는 영향에 대해 연구한 논문은 미미하였다.

Methacrylated resin 계열 근관전색제인 Epiphany도 역시 치관을 변색 일으키지 않는 것으로 알려져 있다. Epiphany SE는 적용 1개월 후에 치관의 밝기를 증가시켰다가 6개월 후에 다시 원래 상태로 복귀시켰다.[78] 같은 계열 근관전색제인 EndoREZ의 치관 변색에 미치는 영향에 관한 연구는 미미하였다.

기존에 많이 사용되는 근관전색제들의 치관 변색에 미치는 영향에 대해

연구한 논문들을 살펴보았다. AH Plus는 AH 26의 치관 변색 효과를 줄이고자 제조되었으나 여전히 통계적으로 유의미하게 치관을 변색시키는 것으로 보고 되고 있다. CaOH 계열 근관전색제인 Sealapex는 비교적 적은 정도의 치관 변색을 유발한다는 것으로 알려져 있다.[95]

El Sayed는 epoxy resin 계열 근관전색제인 AH Plus, CaOH 계열 근관전색제인 Apexit Plus, ZOE 계열 근관전색제인 Sultan(Sultan Chemists Inc., Englewood, N.J., USA), Amalgam, 증류수가 치관 변색에 미치는 영향을 3일, 10일, 17일 동안 관찰하였다. 실험 결과 모든 근관전색제들이 치관 변색을 유발하였고 이러한 경향은 시간이 지남에 따라 증가하였다. 17일이 경과한 시점에서 Apexit Plus가 치관을 가장 적게 변색 시켰다.[95]

따라서 근관전색제에 의한 치관 변색을 예방하기 위해 근관 치료 후에 치수강에 남은 근관전색제를 철저히 제거해 주는 것이 중요하다.[78] 또한 최근 개발된 근관전색제를 중심으로 더욱 활발한 연구가 진행되어야 할 필요성이 있음이 사료된다.

3. 구강용액에 대한 용해도

성공적인 근관 치료를 위하여 근관전색제는 치근단을 밀폐하여 박테리아의 침입을 막아주는 역할을 해야 한다.[82-84] 따라서 근관전색제가 구강 내 조직액에 의해 용해되지 않는 성질은 이상적인 근관전색제의 요구조건에 해당된다고 볼 수 있다.[85, 86] 구강용액에 대한 용해도는 GuttaFlow와 AH Plus가 작은 반면[96], Sealapex와 Apexit은 큰 용해도를 보이는 것으로 보고 되었다.[97]

물에 대한 용해도 면에서 MTA 계열 근관전색제인 Fillapex는 AH Plus 보다 비교적 높은 용해도를 나타내는 것으로 보고 되었다.[98] Zhou의 연구에서도 Fillapex는 GuttaFlow 또는 AH Plus 보다 높은 용해도를 나타냈다. 하지만 ISO 6876/2001의 규정(3% mass fraction)에는 적합하였다.[96]

silicone계 근관전색제도 수분에 많이 용해되지 않아 나쁘지 않은 밀폐력을 지니고 있다. RoekoSeal은 물을 용매로 사용한 실험에서 24시간 이내 중량 3%감소 미만이라는 기준에 만족하며 용해도 면에서 적합한 성질을 보였다.[99] RoekoSeal은 실험에 포함된 다른 근관전색제들에 비해 낮은 용해도를 보였으나 AH Plus보다 높은 용해도를 보였다.[97] GuttaFlow의 경우 AH Plus보다 용해도가 낮은 것으로 보고 되었다.[96, 100]

methacrylated resin 계열 근관전색제의 수분에 대한 용해도는 비교적 높은 편이었다. Ersahan의 연구에 의하면 EndoREZ는 AH Plus 또는 Sealapex보다 수분에 대한 용해도가 높았다. 따라서 EndoREZ는 AH Plus보다 더 높은 미세 누출을 나타내었다.[101] Epiphany SE는 AH Plus와 비슷한 정도의 용해도를 보였고 Epiphany는 AH Plus보다 높은 용해도를 보였다.[102]

기존에 많이 사용되고 있는 근관전색제들의 수분에 대한 용해도를 연구한 논문들을 살펴보면, 대체로 resin 계열 근관전색제가 ZOE 계열 또는 CaOH 계열의 근관전색제보다 수분에 대한 용해도가 낮아 미세누출의 위험성이 적은 것을 알 수 있다.

Poggio는 6가지 서로 다른 근관전색제를 사용하여 각각의 근관전색제들을 물에 완전히 침수시키고 24시간 후와 2개월 뒤에 무게 손실을 조사하였다. 2개의 ZOE 계열 근관전색제인 Endomethasone C와 Argoseal(Dental Ognà, Milan, Italy), 2개의 CaOH 계열 근관전색제 Bioseal Normal(Dental Ognà, Milan, Italy)과 Acroseal(Dental Ognà, Milan, Italy), 2개의 resin 계열 근관전색제 AH Plus와 MM Seal(MicroMega, Besançon, France) 등이 실험에 포함되었다. 실험 결과, resin 계열 근관전색제가 ZOE 계열 또는 CaOH 계열 근관전색제에 비해서 물에 대한 용해성이 낮았다. 따라서 resin 계열 근관전색제의 밀폐력이 다른 종류의 근관전색제에 비해서 우수하다는 결과를 도출할 수 있다.[85]

Azadi의 연구에서도 epoxy resin 계열 근관전색제가 CaOH 계열 또는

silicone 계열 근관전색제보다 낮은 용해도를 보이며 가장 만족한 결과를 나타내었다.[99]

전통적인 CaOH 계열 근관전색제의 gutta-percha와의 결합력은 완벽하지 않다. CaOH 계열 근관전색제는 이온화 되어 효과를 발휘하기 때문에 용해도가 상대적으로 높다. 이 계열의 근관전색제인 Sealapex는 비교적 높은 용해도를 나타내었다.[97] Grga는 CaOH 계열 근관전색제인 Apexit 등과 epoxy resin계 근관전색제인 AH plus을 사용하여 Hank's solution에 대한 용해도를 측정하였다. 1시간, 24시간, 96시간, 14일, 28일 후의 중량을 각각 측정한 결과 가장 많은 중량 감소를 보였던 것은 Apexit이었다.

하지만 최근에 출시된 CaOH 계열 근관전색제인 Acroseal은 AH plus와 비교했을 때 96시간 후의 상태를 제외하고는 통계학적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다.[103] 이는 새롭게 출시되고 있는 CaOH 제품들은 구강 용액에 대한 용해성이 많이 보완되었음을 의미한다.

4. 관주액에 대한 용해도

근관전색제는 재치료 시에 관주액에 의해 용해되어 제거가 용이해야 한다. 전반적으로 근관전색제의 다른 물리 화학적 특성을 비교하는 실험들에 비해 관주액에 대한 용해도에 대한 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 단, NaOCl과 EDTA를 이용한 연구에서 ZOE 계열 근관전색제가 epoxy resin 계열과 silicone 계열 근관전색제보다 큰 용해도를 보이는 것으로 나타났다.[104]

Martos의 연구에서 methacrylated resin 계열 근관전색제인 Epiphany와 silicone 계열 근관전색제인 RoekoSeal은 orange and eucalyptus oil에 대하여 용해도가 통계적으로 유의하게 차이나지 않았다.[105]

MTA 계열 Fillapex와 methacrylated resin 계열인 EndoREZ, Epiphany의 NaOCl 등의 관주액에 대한 용해도를 비교한 논문은 미미하였다.

5. 항균성

근관 치료의 성공 여부는 근관 내의 세균을 박멸함에 달려 있다. 근관 전색제의 항균력은 아가(Agar)를 통한 간접법 또는 세균에 근관전색제를 직접 접촉하는 방법 등을 이용하여 이미 많은 연구들이 수행되었다. 이들 대부분의 연구에서 주로 *Enterococcus faecalis*를 이용하였다.[106-113] *Enterococcus faecalis*는 근관 치료 실패 시 원인이 되며 괴사된 조직에서 주로 발견되는 세균이기 때문이다.[53] 근관전색제의 항균력은 MTA 계열인 Fillapex가 epoxy resin 계열인 AH Plus보다 항균력이 높은 것으로 조사되었다. silicone 계열 근관전색제인 ReokoSeal과 GuttaFlow는 항균력을 전혀 나타내지 못했다.

Faria-Junior의 실험에서 MTA 계열 근관전색제인 Fillapex는 CaOH 계열 근관전색제인 Sealapex와 더불어 *Enterococcus faecalis*에 대해 높은 항균력을 나타내었다. 이들은 세균총을 감소시킨 동시에 물에 대한 가장 높은 용해도를 나타냈는데 이것은 근관전색제의 항균력과 영향이 있는 것으로 나타났다. Fillapex는 epoxy resin 계열 AH Plus 또는 methacrylated resin 계열 Epiphany SE보다 높은 항균력을 나타냈다.[98]

Silicone 계열 근관전색제들은 항균력을 거의 나타내지 못했다. GuttaFlow는 항균 효과가 없거나 미미하였다.[53] 이는 Farmakis의 실험과[114] Nawal의 연구에서도 마찬가지로 결과를 보여주었다.[114] RoekoSeal 역시 항균효과를 전혀 나타내지 않는다고 보고되고 있다.[115]

Methacrylated resin 계열의 근관전색제들은 연구에 따라 결과가 다르게 보고 되었다. Epiphany는 일부 연구에서 *Enterococcus faecalis*에 대한 항균력이 epoxy resin 계열의 AH Plus 이상으로 보고 되었으며,[98, 115] 다른 연구에서는 *Enterococcus faecalis*에 대한 항균력을 나타내지 않는다고 보고 되었다.[117] EndoREZ는 *Enterococcus faecalis*에 대한 항균력이 없는 것으로 보고 되었다.[37, 116] Farmakis의 연구에서도

EndoREZ는 *Enterococcus faecalis*와 *Proteus vulgaris*에 대한 항균력을 전혀 보이지 않았다.[114] 하지만 Zhang 은 EndoREZ가 Epoxy resin 계열의 AH Plus와 비슷한 정도의 항균력을 보인다고 보고 하였다.[112]

기존 근관전색제들을 이용한 논문들을 살펴보면 ZOE 계열, epoxy resin 계열의 근관전색제는 비교적 항균력을 지닌 편이었다.[63] 특히, epoxy resin 계열인 AH Plus는 *Enterococcus faecalis*와 *Fusobacterium nucleatum*에 직접적으로 접촉되었을 때 효과적으로 항균력이 있었다.[116] Sundqvist의 연구에서 ZOE 계열 근관전색제인 Endomethasone C는 AH Plus보다 더 우수한 항균력을 보였다.[87] CaOH 계열 근관전색제인 Sealapex은 대체로 *Enterococcus faecalis*에 대한 항균성이 없다는 연구 결과가 우세하였다.[37-40] Faria-Junior는 Sealapex는 같은 계열인 Apexit은 더불어 항균력을 전혀 보이지 않는다고 보고 하였다.[98] 하지만 Heyder의 연구에서 Sealapex는 Fillapex와 유사한 항균력을 지닌다고 보고되었다.[116]

이상의 연구에서 사용된 모든 근관전색제들은 사용된 양에 비례하여 항균력을 보였다.[87]

V. 결론

최근 개발된 MTA 계열, silicone 계열, methacrylated resin 계열의 근관전색제의 생물학적 물리/화학적 특성을 기존의 근관전색제인 ZOE 계열, epoxy resin 계열, CaOH 계열 등과 비교연구 하였다. 비교연구 결과 최신 근관전색제들의 임상적 특성 대체로 우수한 것으로 나타났다. 특히, methacrylated resin 계열의 Epiphany와 MTA 계열의 Fillapex의 임상적 특성이 우수한 것으로 나타났다.

우선 기존의 근관전색제를 살펴보면, ZOE 계열 근관전색제인 Endomethasone의 경우 구강용액에 대한 용해도가 낮고 관주액에 대한 용해도는 높았으며 항균성을 보였지만 생체적합성이 낮은 편이었고 치관 변색에 대한 영향도 면에서 우수하지 못했다. Epoxy resin 계열의 AH Plus의 경우 비교 연구에 포함된 요구조건을 대부분을 만족시켰으나 다른 계열의 제품들에 비해 비교적 우수하지는 못했다. CaOH 계열의 근관전색제인 Sealpex와 Apexit의 경우 생체적합성과 치관변색 면에서 우수하였으나 구강용액에 대한 용해도가 크고 항균성에 대한 효과가 우수하지 못한 것으로 나타났다.

최신 근관전색제의 경우, MTA 계열의 Fillapex는 치관 변색과 항균성 면에서 우수한 특성을 보이고 구강용액에 대한 용해도 면에서도 적합한 특성을 보였다. 하지만 생체적합성이 비교적 낮은 것으로 보고 되었다. Silicone 계열인 GuttaFlow와 RoekoSeal은 생체적합성, 치관변색, 구강용액에 대한 용해도 면에서 우수한 특성을 보였으나 항균성을 나타내지 못하는 단점이 있었다. 마지막으로 Methacrylated resin 계열의 Epiphany와 EndoREZ의 경우 생체적합성, 치관변색, 구강용액에 대한 용해도 면에서 우수한 특성을 나타냈다. 하지만 항균성에 대한 일관성 있는 연구 결과가 도출될 때까지 지속적인 연구 개발이 필요할 것으로 판단된다.

근관전색제	생체적합성	치관 변색	구강용액에 대한 용해도	관주액에 대한 용해도	항균성
AH Plus	★	★	★★		★
Endometha- -sone			★	★	★
Sealapex/ Apexit	★★	★★			☆
Fillapex		★★			★★
GuttaFlow	★★	★★	★★		
RoekoSeal	★★	★★			
EndoREZ/ Epiphany	★	★★	★		☆

본 논문에서 비교연구된 근관전색제들의 생체적합성은 대체로 우수하였다. 비교적 낮은 생체적합성을 보였던 MTA 계열의 Fillapex도 치과 재료로서 사용되기에 충분한 정도한 정도의 생체적합성을 보인다. Fillapex가 비교적 낮은 생체적합성을 보인 이유는 알칼리성 pH 때문인 것으로 판단된다.

치관변색면에서도 대체로 우수한 특성을 나타냈으나 대부분의 연구에서 확실한 심미성을 위해 치수강내 여분의 근관전색제 제거를 강조하였다.

또한 구강용액에 대한 용해도면에서는 CaOH 계열에서 높기 때문에 근관 치료에 장기간 사용시 주의가 요구된다. 항균성과 생체적합성은 반비례 관계를 나타내며 향후 개발될 Silicone 계열 근관전색제에 항균성을 보완할 필요성 있다고 판단된다. 마지막으로 관주액에 대한 용해도에 관한 연구가 미미하므로 앞으로 활발한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 조사 연구의 결과는 적절한 근관전색제의 선택에 이용 가능할 것으로 기대된다.

V. 참고문헌

1. Friedman S, Mor C: The success of endodontic therapy--healing and functionality. *Journal of the California Dental Association* 2004, 32(6):493-503.
2. Salehrabi R, Rotstein I: Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *Journal of endodontics* 2004, 30(12):846-850.
3. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP: Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *Journal of endodontics* 2003, 29(12):787-793.
4. Dawson AS, Cardaci SC: Endodontics versus implantology: to extirpate or integrate? *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 2006, 32(2):57-63.
5. Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM: Clinical performance of three endodontic sealers. *Endodontics & dental traumatology* 1987, 3(4):178-186.
6. McMichen FR, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K: A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. *International endodontic journal* 2003, 36(9):629-635.
7. Ahlberg KM, Tay WM: A methacrylate-based cement used as a root canal sealer. *International endodontic journal* 1998, 31(1):15-21.
8. Grossman LI: Physical properties of root canal cements. *Journal of endodontics* 1976, 2(6):166-175.
9. Goldberg F, Gurfinkel J: Analysis of the use of Dycal with gutta-percha points as an endodontic filling technique. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 1979, 47(1):78-82.
10. Weiger R, Heuchert T, Hahn R, Lost C: Adhesion of a glass ionomer cement to human radicular dentine. *Endodontics & dental*

traumatology 1995, 11(5):214-219.

11. McComb D, Smith DC: Comparison of physical properties of polycarboxylate-based and conventional root canal sealers. *Journal of endodontics* 1976, 2(8):228-235.

12. Parirokh M, Torabinejad M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of endodontics* 2010, 36(1):16-27.

13. Torabinejad M, Parirokh M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *Journal of endodontics* 2010, 36(2):190-202.

14. Parirokh M, Torabinejad M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of endodontics* 2010, 36(3):400-413.

15. Silva EJ, Rosa TP, Herrera DR, Jacinto RC, Gomes BP, Zaia AA: Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. *Journal of endodontics* 2013, 39(2):274-277.

16. Wu D, Tang Z, Zhang G, Liu W: The sealing ability of a new silicone-based root canal filling material (GuttaFlow): an in vitro study using the percentage of gutta-percha-filled area. *Dental materials journal* 2011, 30(5):569-575.

17. Kim YK, Grandini S, Ames JM, Gu LS, Kim SK, Pashley DH, Gutmann JL, Tay FR: Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. *Journal of endodontics* 2010, 36(3):383-399.

18. Patil SA, Dodwad PK, Patil AA: An in vitro comparison of bond strengths of Gutta-percha/AH Plus, Resilon/Epiphany self-etch and EndoREZ obturation system to intraradicular dentin using a

push-out test design. *Journal of conservative dentistry : JCD* 2013, 16(3):238-242.

19. Vujaskovic M, Teodorovic N: Analysis of sealing ability of root canal sealers using scanning electronic microscopy technique. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo* 2010, 138(11-12):694-698.

20. Liang JM, Chen WX: [Comparison of apical sealing ability of two filling systems]. *Shanghai kou qiang yi xue = Shanghai journal of stomatology* 2013, 22(2):169-174.

21. Khedmat S, Momen-Heravi F, Pishvaei M: A comparison of viscoelastic properties of three root canal sealers. *Journal of dentistry (Tehran, Iran)* 2013, 10(2):147-154.

22. Karapinar-Kazandag M, Bayrak OF, Yalvac ME, Ersev H, Tanalp J, Sahin F, Bayirli G: Cytotoxicity of 5 endodontic sealers on L929 cell line and human dental pulp cells. *International endodontic journal* 2011, 44(7):626-634.

23. Chadha R, Taneja S, Kumar M, Gupta S: An in vitro comparative evaluation of depth of tubular penetration of three resin-based root canal sealers. *Journal of conservative dentistry : JCD* 2012, 15(1):18-21.

24. Guven EP, Tasli PN, Yalvac ME, Sofiev N, Kayahan MB, Sahin F: In vitro comparison of induction capacity and biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and a bioceramic root canal sealer. *International endodontic journal* 2013.

25. Vosoughhosseini S, Lotfi M, Shahmoradi K, Saghiri MA, Zand V, Mehdipour M, Ranjkesh B, Mokhtari H, Salemmilani A, Doosti S: Microleakage comparison of glass-ionomer and white mineral trioxide aggregate used as a coronal barrier in nonvital bleaching. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal* 2011, 16(7):e1017-1021.

26. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine

- RJ, Weller RN, Pashley DH, Tay FR: Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *Journal of endodontics* 2011, 37(5):673-677.
27. Lee KW, Williams MC, Camps JJ, Pashley DH: Adhesion of endodontic sealers to dentin and gutta-percha. *Journal of endodontics* 2002, 28(10):684-688.
28. Alanezi AZ, Jiang J, Safavi KE, Spangberg LS, Zhu Q: Cytotoxicity evaluation of endosequence root repair material. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 2010, 109(3):e122-125.
29. Pameijer CH, Zmener O: Resin materials for root canal obturation. *Dental clinics of North America* 2010, 54(2):325-344.
30. Miletic I, Ribaric SP, Karlovic Z, Jukic S, Bosnjak A, Anic I: Apical leakage of five root canal sealers after one year of storage. *Journal of endodontics* 2002, 28(6):431-432.
31. Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waldmann P, Geurtsen W: Genotoxicity and cytotoxicity of the epoxy resin-based root canal sealer AH plus. *Journal of endodontics* 1999, 25(2):109-113.
32. Vano M, Cury AH, Goracci C, Chieffi N, Gabriele M, Tay FR, Ferrari M: The effect of immediate versus delayed cementation on the retention of different types of fiber post in canals obturated using a eugenol sealer. *Journal of endodontics* 2006, 32(9):882-885.
33. Allan NA, Walton RC, Schaeffer MA: Setting times for endodontic sealers under clinical usage and in vitro conditions. *Journal of endodontics* 2001, 27(6):421-423.
34. 임성삼: 임상근관치료학 = 3판, vol. 3판. 서울: 의치학사; 2007.
35. 대한치과근관치료학회: (최신) 근관치료학 =. 서울: 낭아이앤씨; 2011.
36. Azar NG, Heidari M, Bahrami ZS, Shokri F: In vitro

cytotoxicity of a new epoxy resin root canal sealer. *Journal of endodontics* 2000, 26(8):462-465.

37. Queiroz AM, Nelson-Filho P, Silva LA, Assed S, Silva RA, Ito IY: Antibacterial activity of root canal filling materials for primary teeth: zinc oxide and eugenol cement, Calen paste thickened with zinc oxide, Sealapex and EndoREZ. *Brazilian dental journal* 2009, 20(4):290-296.

38. Saha S, Samadi F, Jaiswal JN, Ghoshal U: Antimicrobial activity of different endodontic sealers: an in vitro evaluation. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry* 2010, 28(4):251-257.

39. Shantiaee Y, Dianat O, Janani A, Kolahi Ahari G: In vitro evaluation of the antibacterial activity of three root canal sealers. *Iranian endodontic journal* 2010, 5(1):1-5.

40. Smadi L, Khraisat A, Al-Tarawneh SK, Mahafzah A, Salem A: In vitro evaluation of the antimicrobial activity of nine root canal sealers: direct contact test. *Odonto-stomatologie tropicale = Tropical dental journal* 2008, 31(124):11-18.

41. Sonat B: In vitro evaluation of apical leakage of root canal sealer cements containing calcium hydroxide. *The Journal of Nihon University School of Dentistry* 1991, 33(1):41-48.

42. Joseph R, Singh S: Evaluation of apical sealing ability of four different sealers using centrifuging dye penetration method: an in vitro study. *The journal of contemporary dental practice* 2012, 13(6):830-833.

43. Desai S, Chandler N: Calcium hydroxide-based root canal sealers: a review. *Journal of endodontics* 2009, 35(4):475-480.

44. Bin CV, Valera MC, Camargo SE, Rabelo SB, Silva GO, Balducci I, Camargo CH: Cytotoxicity and genotoxicity of root canal

sealers based on mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics* 2012, 38(4):495-500.

45. Zmener O, Martinez Lalis R, Pameijer CH, Chaves C, Kokubu G, Grana D: Reaction of rat subcutaneous connective tissue to a mineral trioxide aggregate-based and a zinc oxide and eugenol sealer. *Journal of endodontics* 2012, 38(9):1233-1238.

46. Salles LP, Gomes-Cornelio AL, Guimaraes FC, Herrera BS, Bao SN, Rossa-Junior C, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M: Mineral trioxide aggregate-based endodontic sealer stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *Journal of endodontics* 2012, 38(7):971-976.

47. Vitti RP, Prati C, Silva EJ, Sinhoreti MA, Zanchi CH, de Souza e Silva MG, Ogliari FA, Piva E, Gandolfi MG: Physical properties of MTA Fillapex sealer. *Journal of endodontics* 2013, 39(7):915-918.

48. Silva EJ, Santos CC, Zaia AA: Long-term cytotoxic effects of contemporary root canal sealers. *Journal of applied oral science : revista FOB* 2013, 21(1):43-47.

49. Brackett MG, Martin R, Sword J, Oxford C, Rueggeberg FA, Tay FR, Pashley DH: Comparison of seal after obturation techniques using a polydimethylsiloxane-based root canal sealer. *Journal of endodontics* 2006, 32(12):1188-1190.

50. De-Deus G, Brandao MC, Fidel RA, Fidel SR: The sealing ability of GuttaFlow in oval-shaped canals: an ex vivo study using a polymicrobial leakage model. *International endodontic journal* 2007, 40(10):794-799.

51. Elayouti A, Achleithner C, Lost C, Weiger R: Homogeneity and adaptation of a new gutta-percha paste to root canal walls. *Journal of endodontics* 2005, 31(9):687-690.

52. Martins VJ, Lins RX, Berlinck TC, Fidel RA: Cytotoxicity of root canal sealers on endothelial cell cultures. *Brazilian dental journal* 2013, 24(1):15-20.
53. Willershausen I, Callaway A, Briseno B, Willershausen B: In vitro analysis of the cytotoxicity and the antimicrobial effect of four endodontic sealers. *Head & face medicine* 2011, 7:15.
54. Zielinski TM, Baumgartner JC, Marshall JG: An evaluation of Guttaflow and gutta-percha in the filling of lateral grooves and depressions. *Journal of endodontics* 2008, 34(3):295-298.
55. Zmener O, Pameijer CH: Clinical and radiographic evaluation of a resin-based root canal sealer: 10-year recall data. *International journal of dentistry* 2012, 2012:763248.
56. Zmener O, Pameijer CH: Clinical and radiographical evaluation of a resin-based root canal sealer: a 5-year follow-up. *Journal of endodontics* 2007, 33(6):676-679.
57. Bratel J, Jontell M, Dahlgren U, Bergenholtz G: Effects of root canal sealers on immunocompetent cells in vitro and in vivo. *International endodontic journal* 1998, 31(3):178-188.
58. Conner DA, Caplan DJ, Teixeira FB, Trope M: Clinical outcome of teeth treated endodontically with a nonstandardized protocol and root filled with resilon. *Journal of endodontics* 2007, 33(11):1290-1292.
59. Cotton TP, Schindler WG, Schwartz SA, Watson WR, Hargreaves KM: A retrospective study comparing clinical outcomes after obturation with Resilon/Epiphany or Gutta-Percha/Kerr sealer. *Journal of endodontics* 2008, 34(7):789-797.
60. Schwartz RS: Adhesive dentistry and endodontics. Part 2: bonding in the root canal system—the promise and the problems: a review. *Journal of endodontics* 2006, 32(12):1125-1134.

61. Teixeira FB, Teixeira EC, Thompson J, Leinfelder KF, Trope M: Dentinal bonding reaches the root canal system. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]* 2004, 16(6):348-354; discussion 354.
62. Grossman LI: *Endodontic practice* 9th ed, vol. 9th ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1978.
63. Van Landuyt KL, Geebelen B, Shehata M, Furche SL, Durner J, Van Meerbeek B, Hickel R, Reichl FX: No evidence for DNA double-strand breaks caused by endodontic sealers. *Journal of endodontics* 2012, 38(5):636-641.
64. Drouet M, Le Sellin J, Bonneau JC, Sabbah A: [Allergy to root canal sealant]. *Allergie et immunologie* 1986, 18(3):41-43.
65. Torabinejad M, Kettering JD, Bakland LK: Evaluation of systemic immunological reactions to AH-26 root canal sealer. *Journal of endodontics* 1979, 5(7):196-200.
66. Zafalon EJ, Versiani MA, de Souza CJ, Moura CC, Dechichi P: In vivo comparison of the biocompatibility of two root canal sealers implanted into the subcutaneous connective tissue of rats. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 2007, 103(5):e88-94.
67. Saunders WP, Saunders EM: Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review. *Endodontics & dental traumatology* 1994, 10(3):105-108.
68. Yamaguchi K, Matsunaga T, Hayashi Y: Gross extrusion of endodontic obturation materials into the maxillary sinus: a case report. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 2007, 104(1):131-134.
69. Nair PN: Pathogenesis of apical periodontitis and the causes

of endodontic failures. *Critical reviews in oral biology and medicine* : an official publication of the American Association of Oral Biologists 2004, 15(6):348-381.

70. Bernath M, Szabo J: Tissue reaction initiated by different sealers. *International endodontic journal* 2003, 36(4):256-261.

71. Dugas NN, Lawrence HP, Teplitsky P, Friedman S: Quality of life and satisfaction outcomes of endodontic treatment. *Journal of endodontics* 2002, 28(12):819-827.

72. van der Burgt TP, Plasschaert AJ: Tooth discoloration induced by dental materials. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 1985, 60(6):666-669.

73. van der Burgt TP, Mullaney TP, Plasschaert AJ: Tooth discoloration induced by endodontic sealers. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* 1986, 61(1):84-89.

74. Parsons JR, Walton RE, Ricks-Williamson L: In vitro longitudinal assessment of coronal discoloration from endodontic sealers. *Journal of endodontics* 2001, 27(11):699-702.

75. Davis MC, Walton RE, Rivera EM: Sealer distribution in coronal dentin. *Journal of endodontics* 2002, 28(6):464-466.

76. Partovi M, Al-Havvaz AH, Soleimani B: In vitro computer analysis of crown discolouration from commonly used endodontic sealers. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 2006, 32(3):116-119.

77. Dahl JE, Pallesen U: Tooth bleaching--a critical review of the biological aspects. *Critical reviews in oral biology and medicine* : an official publication of the American Association of Oral Biologists 2003, 14(4):292-304.

78. Ioannidis K, Beltes P, Lambrianidis T, Kapagiannidis D, Karagiannis V: Crown discoloration induced by endodontic sealers:

spectrophotometric measurement of Commission International de l'Eclairage's L*, a*, b* chromatic parameters. Operative dentistry 2013, 38(3):E1-12.

79. Ioannidis K, Mistakidis I, Beltes P, Karagiannis V: Spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by MTA- and ZnOE-based sealers. Journal of applied oral science : revista FOB 2013, 21(2):138-144.

80. Westland S: Review of the CIE system of colorimetry and its use in dentistry. Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al] 2003, 15 Suppl 1:S5-12.

81. van der Burgt TP, Plasschaert AJ: Bleaching of tooth discoloration caused by endodontic sealers. Journal of endodontics 1986, 12(6):231-234.

82. Montanaro L, Campoccia D, Rizzi S, Donati ME, Breschi L, Prati C, Arciola CR: Evaluation of bacterial adhesion of Streptococcus mutans on dental restorative materials. Biomaterials 2004, 25(18):4457-4463.

83. Poggio C, Arciola CR, Rosti F, Scribante A, Saino E, Visai L: Adhesion of Streptococcus mutans to different restorative materials. The International journal of artificial organs 2009, 32(9):671-677.

84. Aqrabawi J: Sealing ability of amalgam, super EBA cement, and MTA when used as retrograde filling materials. British dental journal 2000, 188(5):266-268.

85. Poggio C, Arciola CR, Dagna A, Colombo M, Bianchi S, Visai L: Solubility of root canal sealers: a comparative study. The International journal of artificial organs 2010, 33(9):676-681.

86. Orstavik D: Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. Scandinavian journal of dental research 1983,

91(4):316–319.

87. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjogren U: Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 1998, 85(1):86–93.

88. Scelza MZ, Coil J, Alves GG: Effect of time of extraction on the biocompatibility of endodontic sealers with primary human fibroblasts. *Brazilian oral research* 2012, 26(5):424–430.

89. Lodiene G, Morisbak E, Bruzell E, Orstavik D: Toxicity evaluation of root canal sealers in vitro. *International endodontic journal* 2008, 41(1):72–77.

90. Silva-Herzog D, Ramirez T, Mora J, Pozos AJ, Silva LA, Silva RA, Nelson-Filho P: Preliminary study of the inflammatory response to subcutaneous implantation of three root canal sealers. *International endodontic journal* 2011, 44(5):440–446.

91. Ashraf H, Moradimajd N, Mozayeni MA, Dianat O, Mahjour F, Yadegari Z: Cytotoxicity evaluation of three resin-based sealers on an L929 cell line. *Dental research journal* 2012, 9(5):549–553.

92. Sousa CJ, Montes CR, Pascon EA, Loyola AM, Versiani MA: Comparison of the intraosseous biocompatibility of AH Plus, EndoREZ, and Epiphany root canal sealers. *Journal of endodontics* 2006, 32(7):656–662.

93. Mutoh N, Satoh T, Watabe H, Tani-Ishii N: Evaluation of the biocompatibility of resin-based root canal sealers in rat periapical tissue. *Dental materials journal* 2013, 32(3):413–419.

94. Huang FM, Tai KW, Chou MY, Chang YC: Cytotoxicity of resin-, zinc oxide-eugenol-, and calcium hydroxide-based root canal sealers on human periodontal ligament cells and permanent V79 cells. *International endodontic journal* 2002, 35(2):153–158.

95. El Sayed MA, Etemadi H: Coronal discoloration effect of three endodontic sealers: An in vitro spectrophotometric analysis. *Journal of conservative dentistry* : JCD 2013, 16(4):347-351.
96. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M: Physical properties of 5 root canal sealers. *Journal of endodontics* 2013, 39(10):1281-1286.
97. Schafer E, Zandbiglari T: Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *International endodontic journal* 2003, 36(10):660-669.
98. Faria-Junior NB, Tanomaru-Filho M, Berbert FL, Guerreiro-Tanomaru JM: Antibiofilm activity, pH and solubility of endodontic sealers. *International endodontic journal* 2013, 46(8):755-762.
99. Azadi N, Fallahdoost A, Mehrvarzfar P, Rakhshan H, Rakhshan V: A four-week solubility assessment of AH-26 and four new root canal sealers. *Dental research journal* 2012, 9(1):31-35.
100. Donnelly A, Sword J, Nishitani Y, Yoshiyama M, Agee K, Tay FR, Pashley DH: Water sorption and solubility of methacrylate resin-based root canal sealers. *Journal of endodontics* 2007, 33(8):990-994.
101. Ersahan S, Aydin C: Solubility and apical sealing characteristics of a new calcium silicate-based root canal sealer in comparison to calcium hydroxide-, methacrylate resin- and epoxy resin-based sealers. *Acta odontologica Scandinavica* 2013, 71(3-4):857-862.
102. Resende LM, Rached-Junior FJ, Versiani MA, Souza-Gabriel AE, Miranda CE, Silva-Sousa YT, Sousa Neto MD: A comparative study of physicochemical properties of AH Plus, Epiphany, and Epiphany SE root canal sealers. *International endodontic journal* 2009,

42(9):785-793.

103. Grga D, Dzeletovic B, Miletic V, Damjanov M: Water uptake and solubility of Acroseal sealer in comparison with Apexit and AH Plus sealers in Hank's solution. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo* 2011, 139(9-10):579-582.

104. Keles A, Koseoglu M: Dissolution of root canal sealers in EDTA and NaOCl solutions. *Journal of the American Dental Association (1939)* 2009, 140(1):74-79; quiz 113.

105. Martos J, Bassotto AP, Gonzalez-Rodriguez MP, Ferrer-Luque CM: Dissolving efficacy of eucalyptus and orange oil, xylol and chloroform solvents on different root canal sealers. *International endodontic journal* 2011, 44(11):1024-1028.

106. Weiss EI, Shalhav M, Fuss Z: Assessment of antibacterial activity of endodontic sealers by a direct contact test. *Endodontics & dental traumatology* 1996, 12(4):179-184.

107. Cobankara FK, Altinoz HC, Ergani O, Kav K, Belli S: In vitro antibacterial activities of root-canal sealers by using two different methods. *Journal of endodontics* 2004, 30(1):57-60.

108. Bodrumlu E, Semiz M: Antibacterial activity of a new endodontic sealer against *Enterococcus faecalis*. *Journal (Canadian Dental Association)* 2006, 72(7):637.

109. Eldeniz AU, Erdemir A, Hadimli HH, Belli S, Erganis O: Assessment of antibacterial activity of EndoREZ. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 2006, 102(1):119-126.

110. Miyagak DC, de Carvalho EM, Robazza CR, Chavasco JK, Levorato GL: In vitro evaluation of the antimicrobial activity of endodontic sealers. *Brazilian oral research* 2006, 20(4):303-306.

111. Slutzky-Goldberg I, Slutzky H, Solomonov M, Moshonov J,

- Weiss EI, Matalon S: Antibacterial properties of four endodontic sealers. *Journal of endodontics* 2008, 34(6):735-738.
112. Zhang H, Shen Y, Ruse ND, Haapasalo M: Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. *Journal of endodontics* 2009, 35(7):1051-1055.
113. Pinheiro CR, Guinesi AS, Pizzolitto AC, Bonetti-Filho I: In vitro antimicrobial activity of Acroseal, Polifil and Epiphany against *Enterococcus faecalis*. *Brazilian dental journal* 2009, 20(2):107-111.
114. Farmakis ET, Kontakiotis EG, Tseleni-Kotsovili A, Tsatsas VG: Comparative in vitro antibacterial activity of six root canal sealers against *Enterococcus faecalis* and *Proteus vulgaris*. *Journal of investigative and clinical dentistry* 2012, 3(4):271-275.
115. Nawal RR, Parande M, Sehgal R, Naik A, Rao NR: A comparative evaluation of antimicrobial efficacy and flow properties for Epiphany, Guttaflow and AH-Plus sealer. *International endodontic journal* 2011, 44(4):307-313.
116. Heyder M, Kranz S, Volpel A, Pfister W, Watts DC, Jandt KD, Sigusch BW: Antibacterial effect of different root canal sealers on three bacterial species. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2013, 29(5):542-549.
117. Maekawa LE, Nassri MR, Ishikawa CK, Martins C, Chung A, Koga-Ito CY: In vitro antimicrobial activity of AH Plus, EndoREZ and Epiphany against microorganisms. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research* 2012, 23(4):469-472.

Abstract

A Systematic review on the biological, chemico-physical characteristics of the latest root canal sealer.

Ha, Hee Jin

Department of dentistry

The Graduate School

Seoul National University

Recently a vast improvement in biomaterials, devices and methods of endodontic therapy has been accomplished, leading patients and dental professionals to favour tooth preservation rather than extraction of disputable teeth. Selection of sealer is known to affect the results of endodontic treatment. Root canal sealer play a role in prevention of leakage by filling the gaps between endodontic core materials and dentinal wall, and in the stabilization of gutta-percha cone. The purpose of this study is to compare latest root canal sealers with biological and physico-chemical properties.

This comparative analysis used nine different sealers including AH Plus(epoxy resin based) Fillapex(MTA based), Gutta-Flow & RoekoSeal(silicone based), EndoREZ & Epiphany(methacrylate resin based), Endomethasone(ZOE based), and Sealapex & Apexit(CaOH based).

The ideal properties for this study are 1)biocompatibility, 2)tooth discoloration, 3)insolubility of tissue fluid, 4)solubility of solvent agent, and 5)antibacterial The properties of an ideal root canal sealer were outlined by Grossman's requirement for sealers.

Silicone based and CaOH based sealers show relatively good biocompatibility whereas Fillapex have low biocompatibility. EndoREZ, Epiphany and AH Plus show similar result with moderate biocompatibility. AH Plus affects tooth discoloration than other sealers. GuttaFlow and AH Plus have relatively lower solubility in tissue fluid whereas, Sealapex and Apexit have higher. There are little studies of dissolution in solvent agent. But AH Plus is of high solubility in NaOCl and EDTA. Fillapex show more antibacterial effect than AH Plus. No antibacterial effect of RoekoSeal and GuttaFlow is found.

This study can be used for selection of suitable root canal sealers.

keywords : root canal sealer, biocompatibility, discoloration, solubility, dissolution, antibacterial

Student Number : 2010-22509