

치수가 괴사된 미성숙 치아에서의 재생근관치료

박민지, 김선현, 김민석*

전남대학교 치의학전문대학원 구강해부학교실

접수: 2017년 10월 31일/ 수정접수: 2017년 12월 11일/ 게재 승인: 2017년 12월 20일/ 출간: 2017년 12월 31일

재생이란 유기체에서 상실 또는 손상된 부위가 새로 생겨나 본래의 기능을 회복하는 것이며, 재생의학은 의학계에서 최근 가장 주목받는 연구 분야이다. 이는 단순히 손상된 조직이나 기관을 대체하는 것에 그치지 않고 생물학적 재생을 촉진 또는 유도하는 성장과 분화 인자를 치료에 도입하는 것이며, 치의학 분야에서도 치아 및 그 주변조직의 손상부위를 생물학적으로 회복시키는 목표를 실현하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

지금까지 외상이나 우식 등의 원인에 의해 치수조직이 손상되었을 경우 전통적으로 근관 내 오염된 치수를 제거하고 세정, 성형, 불활성재료로의 근관충전 후 수복을 실시하는 치료법이 선택되었으나, 미성숙 영구치의 치료에는 여러 한계가 있는 것이 사실이다. 따라서 성장이 멈춘 치근의 두께와 길이를 모두 증대시킬 수 있는 재생근관치료는 기존의 전통적 근관치료를 대체할 수 있는 좋은 방법으로 고려될 수 있다. 괴사된 치수를 가진 미성숙 영구치에 대한 재생근관치료의 적용을 위해 많은 연구들이 진행되어 왔으나 임상적 유용성을 높이기 위해 재생근관치료의 근거가 되는 치근 성장, 치수-상아질 복합체 발생의 이해를 포함하는 보다 많은 연구를 필요로 한다. 이에 본 연구는 재생근관치료에 대한 여러 문헌 및 임상 증례를 고찰하여 그 과정을 이해하고 예후에 대한 철저한 분석을 통해 실제 임상에서 재생 근관치료의 폭 넓은 활용 방안을 모색하고자 한다.

주제어: 재생, 근관치료, 미성숙치아

서론

우식이나 외상 등의 원인으로 치아의 치수가 괴사할 때 가장 일반적으로 선택할 수 있는 임상적 치료법은 근관치료이다. 근관치료는 치아우식증이

나 외상 등으로 인해 손상된 치아의 기능을 회복시키고 원래의 형태를 유지시킬 수 있다. 따라서 치료 과정 동안 치수 및 치근단 조직을 손상시키고 통증을 유발하는 세균 감염이나 화학적, 물리적 자극의 제거가 필수적이며, 이런 과정을 통해 통증이 사라지고 치료 전에 존재하던 치근단 병소가 치유되는 것이 주기적인 관찰 동안 확인되어야 비로소 그 치료는 성공적이라고 할 수 있다.¹⁾ 하지만 치근 성장이 불완전한 미성숙 영구 치아에서 치수괴사

* 교신저자: 김민석

광주시 용봉동 300, 전남대학교 치의학전문대학원 구강해부학교실

Tel : 062-530-4823, Fax : 062-530-4829,

e-mail : greatone@jnu.ac.kr

가 발생할 경우 실시하는 근관치료는 완전히 성숙한 치아의 근관치료에 비해 비교적 까다로우며 실패할 가능성이 높다. 미성숙 영구치아의 근관치료 과정에서 상아질 벽의 파절이나 충전재가 치근단 구멍을 넘어 치근단 주위 조직으로 빠져나올 가능성을 높은 비율로 갖게 되어 결과적으로 파절에 취약하게 된다.^{2,3,4)}

미성숙치아의 치료법으로서 전통적으로 근관 내에 수산화 칼슘이나 mineral trioxide aggregates (MTA)를 충전하고 근단부의 형성을 유도하는 치근단 형성술(apexification)이 이용되어 왔으나, 이 방법 역시 장기간 예후 관찰에서 치근 약화 및 파절 등의 많은 한계가 있음이 보고되었다.⁵⁾ 치근단 형성술을 대체할 치료 방법으로 최근 재생근관치료가 치의학계의 관심을 받고 있다. 재생근관치료는 지속적인 치근의 발달을 촉진시키며 면역력을 향상시키는 기능을 가진 치수 조직의 재형성을 통해 예후가 불확실한 미성숙 영구치의 치료 성공률을 높일 수 있는 훌륭한 치료 방법으로서 과사 치수를 가진 미성숙 영구치에 대한 기존의 통상적 치료방법을 대체할 수 있는 대안으로 주목받고 있다.⁶⁾

이에 본 연구는 재생근관치료에 대한 여러 문헌 및 임상 증례를 고찰하여 그 과정을 이해하고 예후에 대한 철저한 분석을 통해 실제 임상에서 재생 근관치료의 폭 넓은 활용 방안을 모색하고자 하였다.

본론

1. 전통적인 미성숙치아의 처치 방법

전통적으로 미성숙치아의 치료를 위해 치근단 형성술 (apexification)과 근첨자연형성술 (apexogenesis)을 사용해왔다. 치근단 형성술은 열린 근첨 치아의 치근에 석회화 장벽(calcified barrier)을 유도하거나 치수과사 치아에 불완전

형성치근(incompletely formed root)이 형성되도록 하는 임상 술식이다. 치근단 형성술 후 충전재에 대한 근단 격벽 (apical barrier)이 형성된다. 이에 반해 근첨자연형성술은 근단부 생활치수를 통해 생리적으로 치근이 계속 발달해 치근완성이 되도록 하는 방법으로 이는 근관 내에 기존의 혈관이 손상되지 않아 재혈관화의 필요성이 없는 경우로 적응증이 국한된다는 단점이 있다. 또한 근첨자연형성술식을 선택하였을 경우 오염된 치수 조직이 근관으로부터 어느 정도로 제거되어야 하는지에 대한 명확한 기준이 없으며 치근의 성숙만을 촉진하고 근관의 치관부에 존재하는 치수조직의 재생이 불가능하다는 한계점을 지닌다.⁷⁾

근관 내 혈관까지 손상된 치수가 과사된 미성숙 영구치 치료의 경우 이 두 가지 병법 중 치근단 형성술이 치료 방법으로 선택될 수 있다. 치근단 형성술의 경우 근관치료 동안 충전물이 치근단공을 통과하여 치근단 주위까지 넘어가지 않도록 환자의 치아에 치근단 방어벽을 형성하기 위해 근관에 장기간 수산화 칼슘이나 MTA를 적용하게 된다.⁵⁾ 하지만 이 방법은 수산화칼슘의 장기간 사용으로 인한 치근 약화 및 파절의 가능성을 가지고 있다.⁸⁾ 또한 치근단 형성술 결과 치아의 치근 길이 및 두께의 증가는 거의 희박하여, 결과적으로 불리한 치관-치근 비율로 인해 치료 후 충격을 받게 되면 치료받은 치아가 쉽게 파절되는 단점이 있다.⁹⁾ 실제로 과사된 치수를 가진 미성숙 영구치를 수산화칼슘과 MTA를 이용한 치근단 형성술을 통해 치료한 경우와 재생근관치료를 적용하여 치료한 경우를 비교한 임상 실험 결과, 수산화칼슘(1.52%) 및 MTA(0.00%)의 경우 치료 후 치근의 넓이가 거의 증가하지 않은 반면, 재생근관치료를 통해 치료한 경우 치근 넓이 증가 폭(28.2%)이 유의하게 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 각 치료 방법에 따른 치근의 길이 성장을 비교한 결과 마찬가지로 수산

화칼슘(0.4%)과 MTA(6.1%)를 사용한 결과 치근 길이의 성장이 미약하였으나 재생근관치료 실시 결과(14.9%) 치근의 길이가 현저히 증가하였음을 확인할 수 있었다.⁵⁾ 이처럼 보존적인 시각에서 기존에 사용되던 치근단 형성술에 비해 재생근관치료는 장기간으로 봤을 때 훨씬 많은 이점을 가지며 재생 치의학이라는 관점에서 상당히 가능성이 많은 치료법으로 고려될 수 있다.

2. 재생근관치료

정의 및 역사

근관치료의 목표 중 하나는 구강 및 전신적 건강의 유지를 위하여 치열을 생리적으로 기능적인 상태로 유지하는 것이다. 성장기 치열에 가해진 외상에 의해 치수가 괴사되거나 치근 형성이 불완전하면 성장기 아동의 치열에 좋지 않은 영향을 미친다.⁶⁾ 이런 치아의 치수를 치료할 때 뭉툭하고 넓은 치근단을 가진 근관의 세정과 근관 형성은 매우 까다로우며, 치근침이 개방된 상태에서 근관을 충전하는 것은 매우 어렵고, 얇고 약화된 치근벽으로 인해 잠재적으로 치근이 파절될 가능성이 있다.^{4,8,10)} 지난 수십 년 동안 이 같은 괴사된 치수를 가진 치아의 치료 방법으로서 근관 내 조직을 재생시키려는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 1960년대 초반 재생근관치료의 선구자였던 Nygaard-Östby는 괴사된 치수 및 치근단부 병소를 갖는 미성숙 치아를 근관치료 한 후 치근단 1/3의 근관 내에서 새롭게 형성된 혈관을 포함한 조직을 관찰하였다.¹¹⁾ 또한 재 식립 및 자가 이식 후 첫 6개월 동안 세포가 풍부하며 새롭게 형성된 혈관을 포함하는 결합조직이 전체적인 근관에 걸쳐 분포함이 보고되었으며,¹²⁾ 의도적 혹은 외상에 의한 치아 탈구 후 재식된 미성숙 치아에서 시간에 따라 지속적인 치근이 발달하고 근관 내 수산화칼슘 처치에 의해 치근단 경조직 침착 및 재 혈관화가 일어남을 보고

하였다.^{4,13)}

이후 재 식립되거나 자가 이식된 미성숙 치아에서 일어나는 다양한 변화에 대해 활발히 연구가 진행되었다. 최근 만성적인 치근침 농양과 함께 괴사된 치수를 가진 미성숙 하악 제 2소구치에서 재혈관화가 관찰되었고,¹⁴⁾ 미성숙 치아의 괴사된 치수를 제거하고 클로르헥시딘 및 차아염소산나트륨을 이용해 소독 후 세 가지 항생제(ciprofloxacin, metronidazole, minocycline)를 조합한 약제를 첨약한 결과 치근 성장이 계속적으로 일어남이 보고되었다.¹⁵⁾ 비록 치료 후 근관 내에 새롭게 형성된 조직의 현미경적 소견은 분명하지 않다는 한계에도 불구하고 위 두 연구는 적용된 치료를 통해 치근의 성장이 지속될 수 있다는 임상적인 증거는 명확하며, 성공적으로 적용될 경우 이전의 치료법들에 비해 많은 장점이 있는 치료방법임에는 의심의 여지가 없다.²⁾

이처럼 수십 년간의 연구를 통해 확립된 재생근관치료(Regenerative Endodontic Treatment)는 감염이나 괴사, 또는 외상을 입은 치수를 대체할 새로운 조직을 만들어 내어 치근의 두께와 길이 성장을 동시에 얻는 치료로 정의할 수 있다. 이 과정에서 감염된 치아의 근관계 소독 및 괴사조직 제거와 함께 재혈관화를 허용하기 위한 치근침 확장 및 성체줄기세포, 세포지지체, 성장 인자 등의 활용 등을 통해 보다 성공적인 예후를 기대할 수 있다.¹⁶⁾

재생근관치료의 증례 선택

역학적 연구를 통해 학령기 아동의 25% 정도가 치아 외상을 경험하고,¹⁷⁾ 25~65%에 이르는 아동들이 치아 우식을 치료 하지 않은 채로 방치해 두는 것으로 보고되었다.¹⁸⁾ 정출되거나 외상으로 치수가 노출된 상태인 치아의 치료 방법은 매우 다양하다. 재생근관치료를 실시하기에 앞서 치료하려

는 치아가 재생근관치료를 적합하고 치료 후 좋은 예후를 기대할 수 있는지를 고려하는 과정이 반드시 필요하다. 재생근관치료를 적합한 치아의 요구 조건은 다음과 같다.

- ① 미성숙한 치근단을 가지고 치수가 과사된 영구 치여야 하며 치료 후 포스트나 코어, 또는 최종 수복을 위한 치수 공간이 요구되지 않아야 한다.¹⁴⁾
- ② 치근단공의 지름이 1.1mm 이상이어야 한다.¹³⁾ 재생근관치료 과정에서 넓게 형성되어 있는 치근단공을 통하여 간엽세포가 과사된 치아의 치근단부위 근관 공간으로 이동하게 되며 결과적으로 이는 재생근관치료를 성공에 큰 영향을 미치게 된다.¹⁹⁾
- ③ 재생근관치료를 받을 환자의 연령은 8-16세가 적합하고,²⁰⁾ 전신상태가 건강해야 하며 재생근관치료 과정 중 여러 번의 내원이 필요하므로 환자와 보호자 모두치료에 대한 협조도가 좋아야 한다. 치유 능력에 문제가 있는 아동의 경우 재생근관치료를 적응증으로 부적합하며 재생근관치료를 성공은 환자의 치아 치수 조직 재생능력이 달려 있다.²¹⁾
- ④ 환자는 재생근관치료 과정에서 사용되는 약제 및 항생제 등에 알레르기 반응을 보이지 않아야 한다.^{22,23)}

3. 재생근관치료를 원리

재생근관치료 후 근관 내 치수와 같은 소성결합 조직의 형성을 설명할 두 가지 가능한 시나리오가 있다.⁷⁾ 첫 번째로 근관 내 치근 침부에 남아있는 치수 조직이 재생근관치료 후 증식하여 근관 내부를 채우게 된다는 이론이다. 하지만 근관 내 치근 침부의 치수 잔사가 치관부 근관 공간까지 치수 조직을 재생시킬 수 있는지는 명확하지 않으며, 재생

근관치료 과정에서 차아염소산나트륨을 통한 세척 및 근관 내 수산화칼슘 침약이 치근침 부위의 치수 조직 잔사의 일부를 파괴시킬 수 있다는 점에서 그 가능성이 높지 않다.^{24,25)} 두 번째로 재생근관치료 결과 형성된 근관 내 치수와 비슷한 조직은 치근단부의 줄기세포가 근관계 내부로 증식 및 분화된 것일 가능성이 있다. 미성숙치아의 치근단 지유두(apical papilla)에는 SCAP(stem cells from apical papilla)이라는 줄기세포가 존재하고, 치근단부에 존재하는 줄기 세포는 치수에 존재하는 줄기 세포에 비해 적절한 유도 신호를 받았을 때 상아모세포로 분화된 잠재력이 더 높은 것이 밝혀졌다.^{26,27,28)} 치아의 근관계에 존재하는 혈액과 체내에 존재하는 혈액에 대한 분자생물학적 비교 분석 결과 줄기세포 표지자인 CD73과 CD105의 전사체 축적량이 유의하게 차이가 있는 것이 확인되었으며, 이는 재생근관치료 동안 치근단 부위 조직에 출혈을 유발한 결과 간엽 줄기 세포 표지 유전자를 암호화하는 mRNA 전사체를 포함한 세포가 근관계 내로 상당량 유입되었음을 의미하는 것이다. 결론적으로 이런 원리를 통해 근관계 내로 이동된 줄기 세포가 치수 조직의 재생에 기여하는 것으로 생각된다.¹⁹⁾

4. 재생근관치료를 보편적 술식

첫 번째 내원

재생근관치료 실시 전 치아의 발달 상태, 치수 감염 정도, 치과 병력과 치관의 수복 가능성 등을 평가해야 한다. 이런 요소들의 평가는 재생근관치료 후 예후를 예측하는데 중요한 과정이다. 치료 전 환자와 보호자로부터 재생근관치료 술식이 비교적 새롭게 개발된 치료방법이며 아직 표준화된 지침이 없다는 점을 인지시키고 사전동의를 얻어야 한다.²⁾

재생근관치료를 실시할 치아를 국소마취하고 러버댐 방습한 후 외동을 형성하여 치수를 노출시

킨다. 환자가 통증을 느끼는 위치까지 파일을 진행 시켜 길이를 측정한 후 그 길이보다 2 mm 짧은 위치까지 최소 20 mL의 2.5% 차아염소산나트륨 용액으로 side-vent needle을 사용하여 근관세척한다.¹⁵⁾ 이 때 사용되는 차아염소산 나트륨 용액은 강력한 항균 물질이며 효과적으로 괴사 조직 및 유기 조직을 용해시킬 수 있다.²⁹⁾ 미성숙 영구치의 경우 치근침이 개방되어 있는 상태이므로 세척에 사용되는 물질이 치근단 부위로 넘어가 치근단 조직의 줄기 세포에 영향을 주지 않도록 주의할 기울여야 한다.^{30,31)} 이처럼 재생근관치료동안 괴사된 치수 조직을 제거하고 근관을 소독하는 것은 필수적 과정이나 이를 기계적 방법으로 실시하는 것은 얇은 상아질 근관 벽을 약하게 만들 수 있기 때문에 피해야 한다.⁴⁾ 차아염소산 나트륨 용액을 통한 근관 세척 후 20 mL의 멸균 식염수를 이용하여 근관을 세척한다.²⁹⁾ 근관 세척 후 멸균 상태의 paper point를 사용하여 근관을 조심히 건조시키고 근관에 세 가지 항생제를 조합한 triple antibiotic paste나 수산화칼슘을 첨약한다. 각각 250mg의 ciprofloxacin, metronidazole, minocycline을 멸균 증류수에 섞은 triple antibiotic paste를 lentulo spiral을 이용하여 첨약하는 방법은 감염된 치근의 상아질로부터 세균을 박멸시킬 수 있을 만큼 충분히 강력한 작용을 하며 치근단 조직의 치유를 촉진시킨다고 알려져 있다.³²⁾ 하지만 이 때 사용되는 항생제 중 minocycline의 경우 치아를 변색시킬 수 있음이 보고되었다.³³⁾ 이를 해결하기 위한 대안으로 세 가지 항생제의 조합 중 minocycline을 cefaclor로 대체하여 상아질의 변색을 막거나,³⁴⁾ Triple antibiotic paste 첨약 전 치수강을 상아질 접착제를 이용하여 코팅한 후 첨약을 실시하는 방법이 제안되었다.³²⁾ 이 때 첨약되는 약제는 치근침으로부터 2 mm 상방에 위치되어야 하는데 이는 새로운 혈관형성을 유도하고 근관벽에 새로운 경

조직을 위한공간을 남겨놓기 위해서 사용한다.³⁵⁾ triple antibiotic paste 외에 근관 첨약 시 사용될 수 있는 약제로 수산화칼슘이 있다. 수산화칼슘은 항균력이 있으며 근관 내 괴사된 조직을 용해시킬 수 있고 경조직 형성을 통한 치근단 폐쇄를 유도할 수 있다.³⁶⁾ 수산화칼슘 첨약 시 lentulo spiral을 사용해서는 안 되며 대신 근관의 치관측에 주사형 기구를 이용하여 첨약 후 젖은 면구를 이용하여 치근의 치관부 1/3 부위와 중간 1/3 부위의 경계까지 부드럽게 눌러서 첨약해야 한다.²⁾ 첨약 후 치관부를 통한 세균의 감염을 막기 위해 멸균의 면구를 약제 상부에 위치시키고 Cavit cement® (3M ESPE, St Paul, MN, USA) 등으로 임시 충전한다.³⁷⁾

두 번째 내원

첫 번째 내원으로부터 1-4주 후 환자를 두 번째 내원하도록 한다. 다음 단계 치료 전 환자에게 더 이상 모든 임상 증상이 나타나지 않음을 확인해야 한다. 만약 증상이 지속되어 나타난다면 첫 번째 내원 때의 치료를 반복해서 실시해야 한다. 수 차례 내원 후에도 증상이 호전되지 않을 시에는 치근단형성술 (apexification)을 고려해야 한다.³⁸⁾

증상이 없다는 것이 확인되면 다음 단계의 치료로 진행할 수 있다. 먼저 혈관수축제를 포함하지 않은 마취제로 국소 마취를 실시하는데,³⁹⁾ 이는 혈관수축제가 재생근관치료 과정 중 조직지지체를 얻고 줄기세포의 이동을 위해 중요한 과정인 근관 내 출혈을 막을 수 있기 때문이다.^{15,19)} 적절한 마취 후 러버댐으로 방습하고 임시수복재를 제거하고 근관 내 항생제를 제거하기 위해 멸균 식염수나 17% EDTA를 사용하여 조심스럽게 근관을 세척한다.⁴⁰⁾ 항생제를 제거하고 근관세척한 후 근관 탐침기나 파일을 이용하여 치근단 부위 조직에 상처를 내어 백악법랑경계 직하방의 근관 공간 내에 혈병이 형성되도록 한다.¹⁵⁾ 근관 공간 내에 형

성된 혈병은 새로운 조직의 성장을 위한 매트릭스의 역할을 하며 성장의 근원 및 분화 요소로 작용한다.^{15,41)} 적절한 혈병이 형성된 다음 치수 공간 상부에 장벽을 위치시킬 필요가 있다. 이를 위해 여러 가지 다양한 물질들이 제안되었으나, 이 중 대부분의 재생근관치료 임상증례에서 사용된 재료는 MTA이다. 형성된 혈병 상부에 3-4 mm의 두께로 MTA를 충전하는 것이 추천되며 생체 적합성과 뼈유도 및 전도능을 통해 외부로부터 세균의 침입을 차단할 수 있도록 장벽을 형성한다.⁴²⁾ 마지막으로 치수 공간 장벽 형성을 확인한 후 최종 수복물을 위치시킨다.

경과 관찰

재생근관치료 후 경과관찰 시 임상적, 방사선학적 고려가 필요하다. 임상적으로 동통이 없어야 하며 연조직의 종창이나 누공이 존재해서는 안 된다. 방사선학적으로는 치료 전 치근단 부위 방사선 투과상이 관찰된 경우 치료 후 방사선 투과상이 사라진 것이 확인되어야 한다. 또한 재생근관치료가 성공적으로 이루어졌을 경우 치근 벽의 두께 및 치근 길이의 증가를 관찰할 수 있다.⁶⁾ 치근단 방사선 사진 외에 CBCT(Cone-Beam Computed Tomography)를 이용하여 재생근관치료 후 치아 형태에 대한 추가적인 방사선학적 정보를 얻을 수 있다.⁴³⁾ 재생근관치료 과정은 아직 활발한 연구 중에 있으며 계속해서 발전하는 분야인 만큼 임상가들은 변화하는 과정에 많은 관심을 갖고 빠르게 습득해나갈 필요가 있다.

5. 재생근관치료의 예후

환자들의 나이가 대부분 어리기 때문에 많은 경우 약 3개월(늦어도 6개월) 내에 치근단 부위의 치유와 치근의 성장을 확인할 수 있다.⁹⁾ 재생근관치료 후 예후를 평가하기 위한 정기적인 점검 시에

기본적으로 임상적, 방사선학적 평가가 실시되어야 한다.

임상적 예후 평가

임상적인 예후를 평가할 때 환자는 더 이상 치료 전의 증상을 보이지 않아야 하며 타진 및 촉진 시 동통을 호소하지 않고 연조직의 종창 및 누공의 소견이 없어야 한다.^{14,15,41)}

방사선학적 예후 평가

재생근관치료 후 치근단 방사선학적으로 예후를 평가할 때 치료 전 치근단 부위 방사선 투과상이 존재하였을 경우 치료 후 방사선 투과상이 해소되어 있어야 하며, 근관 벽 두께의 증가와 함께 근관 길이의 증가를 관찰할 수 있어야 한다.⁶⁾ 재생근관치료를 실시한 치아에 대해 방사선학적으로 평가한 연구에서 여러 근관 내 사용한 여러 침약 재료들 중 triple antibiotic paste나 수산화칼슘을 근관 내 침약제로 사용한 경우 치근단 형성술이나 비외과적 근관치료를 한 경우에 비해 방사선학적으로 근관 벽 두께와 근관 길이의 증가양이 컸으며, 특히 triple antibiotic paste를 근관 내 침약제로 사용한 경우 수산화칼슘이나 기타 침약제를 사용한 경우 근관벽의 두께가 큰 폭으로 증가함을 보고하였다.³⁵⁾

조직학적 예후 평가

임상적, 방사선학적 예후 평가 외에 몇몇 연구에서 실제로 재생근관치료 후 근관 내부에 어떤 조직이 형성되었는가를 평가하였다. 발치 후 근관 내 조직에 대한 조직학적 분석이 실시되어야 한다는 점에서 그 연구대상에 한계가 있으나 치주염을 동반하지 않은 비가역적 치수염을 가진 치아에 재생근관치료 실시 3.5 주 후 발생한 치아 파절로 인해 더 이상 치아의 유지가 어렵다고 판정된 치아를 발거하여 조직학적 분석을 실시한 연구에서 통상적인

재생근관치료를 실시한 지 3.5주가 지난 치아의 근관 내 치관부 MTA plug 하방까지의 공간에 소성결합조직이 관찰되었으며, 성숙 영구치의 치수와 비교하여 이 소성결합조직은 다수의 방추형의 어린 섬유모세포 또는 간엽세포, 많은 혈관, 소수의 교원 섬유로 이루어진 미성숙한 치수 조직과 비슷한 소견을 보였으나 신경과 비슷한 조직은 관찰되지 않았다.⁷⁾ 또한 platelet rich plasma를 이용하여 재생근관치료를 실시한 치아에서 치료 후 형성된 근관 내 조직을 조직학적으로 분석한 다른 연구에서 생활력을 가진 치수와 비슷한 결합 조직이 관찰되었으며 뼈는 관찰되지 않았음을 보고하였다.⁴⁴⁾

결론

본 연구에서 여러 가지 원인에 의해 치수가 괴사된 미성숙 영구치아의 재생근관치료를 위한 다양한 문헌들을 고찰하였다. 위에 언급된 바와 같이 미성숙 영구치의 치수가 괴사되었을 경우 전통적으로 치근단 형성술을 통해 치근단 방어벽을 형성하고 통상적인 근관치료를 실시한 후 치아를 수복하거나 치아를 발치하는 치료법이 선택되어 왔다. 하지만 치근단 형성술을 통한 치료 후에도 불리한 치관-치근 비율 때문에 치아가 과절되어 결국 치아를 유지하지 못하고 발치하게 되는 경우가 많았다. 이를 해결할 수 있는 방법으로 최근 재생근관치료법이 소개되었으며, 많은 임상증례 및 문헌에서 성공적 연구결과가 보고되었다. 그러나 재생근관치료는 비교적 최근에 개발된 치료 방법이므로 장기적 임상연구 및 경과 관찰에 관한 보고는 드물었으며, 술식 과정에서 사용되는 약제 및 재료 등을 확실히 정립하여 모든 치료에서 예후가 예측 가능하도록 할 필요성이 있다. 또한 현재까지 이런 재생근관치료는 아직 근점이 완전히 형성되지 않아 넓은 치근단공을 가진 미성숙 영구치에 한정적

으로 적용할 수밖에 없으므로 재생근관치료를 포함한 재생치료 대상 치아 범위 확대 방안 역시 제시되어야 할 것이다. 이를 위해 치아 발생에 대한 폭넓은 분자생물학적 탐구, 특히 치근의 발생에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 환자와 보호자로부터 여러 번의 내원을 포함한 복잡한 치료과정에 대한 동의를 구하는 과정에서 술자는 재생근관치료의 많은 장점과 장기적 관점에서 보존 치료의 이점에 대해 충분한 설명하여 치료 성공을 위해 필수적인 긴 치료 과정 동안 지속적인 환자의 높은 협조도를 이끌어 낼 수 있도록 해야 한다. 이처럼 성공적으로 실시되었을 때 많은 이점을 가진 재생근관치료에 대한 많은 해외의 연구사례들에 비해 국내 증례 및 연구는 상대적으로 부족한 것으로 나타났다. 빠르게 발전하는 이 분야의 활발한 연구를 통해 국내 임상에서도 폭넓게 사용할 수 있도록 하는 표준화된 지침의 제정이 시급한 과제이다. 빠르게 발전하는 분야인 만큼 재생근관 치료의 임상적 활용방안을 명료화하고 일반화하기 위해서 지속적인 후속연구와 명확하고 체계적인 연구가 필요할 것이다. 또한 실제 치료와 관련된 분야인 만큼 실제로 재생근관치료 실시 및 이후 정기적인 경과 관찰을 통한 임상증례 역시 지속적으로 추가되어야 할 것이다. 영구치아의 조기 발치는 생리적인 치열 유지에 좋지 않은 영향을 미치며 이는 인접 치아의 기울어짐 및 대합치의 정출 등을 야기하고 전반적인 교합의 변화 등 구강 내에 불리한 영향을 미친다. 이를 고려할 때 본 연구 주제인 치수가 손상된 미성숙 영구치아를 보존시키고 생리학적 치열에 유지시킬 수 있게 도와주는 재생근관치료는 구강건강의 증진에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 획기적인 치료 방법이라고 할 수 있으며 향후 활발한 연구를 통해 꾸준히 발전되어 임상에서 통상적으로 널리 사용될 수 있도록 해야 할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

1. 이우철: Mineral Trioxide Aggregate를 이용한 근관치료재생술. 대한치과 의사협회지 48(11): 803-812. 2010.
2. Wigler R, Kaufman AY, Lin S, Steinbock N, Hzan-Molina H and Torneck CD: Revascularization: A treatment for permanent teeth with necrotic pulp and incomplete root development. *J Endod* 39(3): 319-326, 2013. doi: 10.1016/j.joen.2012.11.014.
3. Wilkinson KL, Beeson TJ and Kirkpatrick TC: Fracture resistance of simulated immature teeth filled with resilon, gutta-percha, or composite. *J Endod* 33: 480-483, 2007. doi: 10.1016/j.joen.2006.11.014.
4. Cvek M, Cleaton-Jones P, Austin J, Lownie J, Kling M and Fatti P: Pulp revascularization in therapeutically reimplanted permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 6: 157-169, 1990.
5. Jeeruphan T, Jantarat J, Yanpiset K, Suwannapan L, Khewsawai P and Hargreaves KM: Mahidol Study 1: Comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods: A retrospective study. *J Endod* 38: 1330-1336, 2012. doi: 10.1016/j.joen.2012.06.028.
6. Law AS: Considerations for regeneration procedures. *J Endod* 39: S44-S56, 2013. doi: 10.1016/j.joen.2012.11.019.
7. Shimizu E, Jong G, Partridge N, Rosenberg PA and Lin LM: Histologic observation of a human immature permanent tooth with irreversible pulpitis after revascularization/regeneration procedure. *J Endod* 38(9): 1293-1297, 2012. doi: 10.1016/j.joen.2012.06.017.
8. Andreasen JO, Farik B and Munksgaard EC: Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol* 18: 134-137, 2002. doi: 10.1034/j.1600-9657.2002.00097.x
9. 정일영: 재생근관치료. 대한근관치료학회지 14(2): 39-48, 2013.
10. Trope M: Treatment of the immature tooth with a non-vital pulp and apical periodontitis. *Dent Clin North Am* 54: 313-24, 2010. doi: 10.1016/j.cden.2009.12.006.
11. Nygaard-Östby B: The role of the blood clot in endodontic therapy: an experimental histologic study. *Acta Odontol Scand* 19: 324-353, 1961.
12. Skoglund A and Tronstad L: Pulpal changes in replanted and autotransplanted immature teeth of dogs. *J Endod* 7: 309-316, 1981.
13. Kling M, Cvek M and Mejare I: Rate and predictability of pulp revascularization in therapeutically reimplanted permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 2: 83-89, 1986.
14. Iwaya SI, Ikawa M and Kubota M: Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dent Traumatol* 17: 185-187, 2001. doi: 10.1034/j.1600-9657.2001.017004185.x
15. Banchs F and Trope M: Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *J Endod* 30: 196-200, 2004. doi: 10.1097/00004770-200404000-00003
16. Murray PE, Garcia-Godoy F and Kenneth M: Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *J Endod* 33: 377-390, 2007. doi: 10.1016/j.joen.2006.09.013
17. Krasner P and Rankow H: New philosophy for the treatment of avulsed teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 79: 616-623, 1995.
18. Brickhouse TH, Unkel JH, Porter AS and Lazar EL: Insurance status and untreated dental caries in Virginia school children. *Pediatr Dent* 29: 493-499, 2007.
19. Lovelace TW, Henry MA, Hargreaves KM and Diogenes A: Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative

- endodontic procedure. *J Endod* 37: 133-138, 2011. doi: 10.1016/j.joen.2010.10.009.
20. Nygaard-Östby B and Hjortdal O: Tissue formation in the root canal following pulp removal. *Scandinavian J Dent Res* 79: 333-349, 1971.
 21. Murray PE and Garcia-Godoy F: Hierarchy of aging effects in human premolars. *Today's FDA* 16: 16-19, 2004.
 22. Isik SR, Karakaya G, Erkin G and Kalyoncu AF: Multidrug-induced erythema multiforme. *J Investig Allergol Clin Immunol* 17: 196-198, 2007.
 23. Madsen JT, Thormann J, Kerre S, Andersen KE and Goossens A: Allergic contact dermatitis to topical metronidazole – 3 cases. *Contact Dermatitis* 56: 364-366, 2007. doi: 10.1111/j.1600-0536.2006.01064.x
 24. Rosenfeld EF, James GA and Burch BS: Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite. *J Endod* 4: 140-146, 1978.
 25. Gordon TM, Damato D and Christner P: Solvent effect of various dilutions of sodium hypochlorite on vital and necrotic tissue. *J Endod* 7: 466-469, 1981.
 26. Sonoyama W, Liu Y, Yamaza T, Tuan RS, Wang S, Shi S and Huang GT: Characterization of the apical papilla and its residing stem cells from human immature permanent teeth: a pilot study. *J Endod* 34:166-171, 2008. doi: 10.1016/j.joen.2007.11.021
 27. Huang GT, Gronthos S and Shi S: Mesenchymal stem cells derived from dental tissue vs. those from other sources: their biology and role in regenerative medicine. *J Dent Res* 88: 792-806, 2009. doi: 10.1177/0022034509340867.
 28. Tziafas D and Kodonas K: Differentiation potential of dental papilla, dental pulp, and apical papilla progenitor cells. *J Endod* 36: 781-789, 2010. doi: 10.1016/j.joen.2010.02.006.
 29. Haapasalo M, Shen Y, Qian W and Gao Y: Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am* 54: 291-312, 2010. doi: 10.1038/sj.bdj.2014.204
 30. Hulsmann M and Hahn W: Complications during root canal irrigation: literature review and case reports. *Int Endod J* 33: 186-193, 2000. doi: 10.1046/j.1365-2591.2000.00303.x.
 31. Parirokh M and Torabinejad M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review – part I : chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod* 36: 16-27, 2010. doi: 10.1016/j.joen.2009.09.006.
 32. Reynolds K, Johnson JD and Cohenca N: Pulp revascularization of necrotic bilateral bicuspid using a modified novel technique to eliminate potential coronal discoloration: a case report. *Int Endod J* 42: 84-92, 2009. doi: 10.1111/j.1365-2591.2008.01467.x.
 33. Hoshino E, Kurihara-Ando N, Sato I, Uematsu H, Sato M, Kota K, Iwaku M: In-vitro antibacterial susceptibility of bacteria taken from infected root dentin to a mixture of ciprofloxacin, metronidazole and minocycline. *Int Endod J* 29: 125-130, 1996.
 34. Thibodeau B and Trope M: Pulp revascularization of a necrotic infected immature permanent tooth: case report and review of the literature. *Pediatr Dent* 29: 47-50, 2007. doi: 10.1155/2014/737503.
 35. Bose R, Nummikosko P and Hargreaves K: A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures. *J Endod* 35: 1343-1349, 2009. doi: 10.1016/j.joen.2009.06.021.
 36. Mohammadi Z and Dummer PM: Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J* 44: 697-730, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01886.x.
 37. Abbott PV: Medicaments: Aids to success in endodontics. Part 2. Clinical recommendations. *Aust Dent J* 35(6): 491-496, 1990.
 38. Huang GT: A paradigm shift in endodontic management of immature teeth: conservation of stem cells for regeneration. *J Dent* 36: 379-386, 2008. doi: 10.1016/j.jdent.2008.03.002.

39. Petrino JA, Boda KK, Shambarger S, Bowles WR and McClanahan SB: Challenges in regenerative endodontics: a case series. *J Endod* 36: 536-541, 2010. doi: 10.1016/j.joen.2009.10.006.
40. Galler KM, D'Souza RN, Federlin M, Cavender AC, Hartgerink JD, Hecker S and Schmalz G: Dentin conditioning codetermines cell fate in regenerative endodontics. *J Endod* 37: 1536-1541, 2011. doi: 10.1016/j.joen.2011.08.027.
41. Thibodeau B, Teixeira F, Yamauchi M, Caplan DJ and Trope M: Pulp revascularization of immature dog teeth with apical periodontitis. *J Endod* 33: 680-689, 2007. doi: 10.1016/j.joen.2015.05.002.
42. Torabinejad M and Parirokh M: Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review: part - leakage and biocompatibility II investigations. *J Endod* 36: 190-202, 2010. doi: 10.1016/j.joen.2009.09.010.
43. Lenzi R and Trope M: Revitalization procedures in two traumatized incisors with different biological outcomes. *J Endod* 38: 411-414, 2012. doi: 10.1016/j.joen.2011.12.003.
44. Torabinejad M and Faras H: A clinical and histological report of a tooth with an open apex treated with regenerative endodontics using platelet-rich plasma. *J Endod* 38(6): 864-868, 2012. doi: 10.1016/j.joen.2012.03.006.

ABSTRACT**Regenerative endodontic treatment of an immature tooth with necrotic pulp**

Min-Ji Park, Sun-Hun Kim, Min-Seok Kim

Department of Oral Anatomy, School of Dentistry, Chonnam National University

Regeneration is a process that involves replacing a missing or damaged part of an organism to recover its structure and function; this has recently become one of the most promising concepts in medicine. According to this concept, practitioners not only replace the damaged parts or organs but also incorporate into clinical procedure the growth and differentiating factors that biologically stimulate and induce the regeneration process. Similarly, many studies have been conducted in dentistry to develop treatment protocols that help biological recovery of a damaged tooth and the surrounding periodontal tissues.

When pulp of a tooth is infected due to trauma or caries, the traditionally administered treatment is root canal therapy which removes the intracanal pulp, cleans and shapes the canal space, and fills it with inactivated material; however, some limitations of using this method in immature permanent teeth have been reported. To overcome such limitations in immature teeth, regenerative endodontic treatment procedure can be an alternative that promotes the growth of both canal wall width and canal length. Many studies regarding regenerative endodontic procedure of immature permanent teeth with necrotic pulp have been done so far; however, further studies that consider the root growth process and the development of pulp–dentin complex are necessary to increase the clinical usefulness of these methods.

Accordingly, this study aimed to thoroughly understand the regenerative endodontic treatment procedure and analyze its prognosis by reviewing previous related studies. It also was focused on seeking ways to apply this procedure in actual everyday clinical situations.

Keywords: Regeneration, Endodontic treatment, Immature tooth