

자가치아골이식재

김영균, 엄인웅¹

분당서울대학교병원 치과 구강악안면외과, ¹한국치아은행

Autogenous tooth bone graft material

Young-Kyun Kim, In-Woong Um¹

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Section of Dentistry, Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam,
¹R&D Institute Korea Tooth Bank, Seoul, Korea

Autogenous tooth bone graft material has been used since 2008. This material was fabricated using patients' own extracted teeth. This is being used in a variety of surgical procedures such as guided bone regeneration, sinus bone graft, ridge augmentation, and extraction socket graft. The stable and favorable clinical outcomes were reported from many articles. The authors reviewed many domestic and international articles associated autogenous tooth material and this was confirmed to be very excellent biocompatible material. In the future, it is expected that the development of homogenous and xenogenous tooth bone graft material, scaffold for growth factor or stem cells, endodontic treatment material will be enhanced. (JOURNAL OF DENTAL IMPLANT RESEARCH 2014;33(1):12-17)

Key Words: Tooth, Bone graft

서 론

골이식재의 분류는 매우 다양하다. 공여 조직에 따라 자가골, 동종골, 이종골 및 합성골로 분류할 수 있고 골치유 기전에 따라 골형성, 골유도 및 골전도성 재료로 분류하기도 한다. 또한 구성 성분에 따라 분류할 경우 매우 복잡해진다. Kim¹⁾은 유기질 성분, 동종골의 조성 및 성분에 따른 분류, 요소 기반 골이식재(factor-based bone graft material), 세포 기반 골이식재(cell-based bone graft material), 세라믹 기반 골이식재(ceramic-based bone graft material), 중합체 기반 골이식재(polymer-based bone graft material)를 정리하여 보고하였다. 무기질 성분에 따라 저결정성과 고결정성 재료로 분류될 수 있다. 저결정성 재료는 자가골, 자가치아골이식재, 동종골과 일부 이종골이 해당된다. 고결정성은 일부 이종골과 대부분의 합성골이 해당된다. 합성골과 사람의 치아들을 이용한 기타 골이식재에 관한 체계적 분류 논문이 발표되었으며 자가치아골이식재는 결유도 및 골전도 기능에 의해 치유되는 이식재로 분류될 수 있으며 자가골 이식재의 일부로 생각할 수 있다고 언급되었다²⁾. 자가치아골이식재는 2008년 말 실용화되어 임상에 적용되기 시작하

였으며 최근 그 안전성과 임상적 효율성이 확인되었다. 따라서 저자들은 자가치아골이식재와 관련된 국내외 논문들을 아래와 같이 정리하여 보고함으로써 임상 의들에게 유용한 정보를 제공하고자 한다.

자가치아골이식재 관련 논문

1. 기초 실험 논문

Nampo 등³⁾은 쥐의 하악골 결손부에 발치한 쥐의 자가치아들을 골이식재로 만들어서 이식하는 실험적 연구를 시행하였으며 자가치아골이식재는 장골(long bone)이식과 비교하여 더욱 우수한 골형성을 보인다고 언급하였다. Miyata 등⁴⁾은 쥐의 치아들을 발치하여 갈아서 골이식재로 사용한 실험에서 양호한 골치유 효과를 보고하였다. 이 연구는 치아들을 발치한 후 탈회시키지 않고 즉시 냉동시킨 후 분쇄하여 가루로 만들었기 때문에 상아질, 법랑질과 치수가 모두 포함된 상태였다. Kim 등⁵⁾은 비글견의 두개골 결손부에 다양한 이종골을 이식하고 2, 3, 8, 12주 후 치유과정을 평가하였다. 실험 결과 치아를 이용하여 제조한 골이식재는 좋은 치유 능력을 보이면서 골결손부 수복을 위한 이식재로 유용하게 사용될 수 있다고 언급하였

Received February 15, 2014, Revised February 28, 2014, Accepted March 10, 2014.

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

교신저자: 김영균, 463-707, 경기도 성남시 분당구 구미동 300, 분당서울대학교병원 치과 구강악안면외과

Correspondence to: Young-Kyun Kim, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Section of Dentistry, Seoul National University Bundang Hospital, 300, Gumi-dong, Bundang-gu, Seongnam 463-707, Korea. Tel: +82-31-787-2780, Fax: +82-31-787-4068, Email: kyk0505@snuh.org

다. 자가치아골이식재의 골유도성 치유 능력은 실험적 연구를 통해 입증되었다. Kim 등⁶⁾은 쥐의 피하 근육에 자가치아골이식재를 이식한 후 조직학적 평가를 시행한 결과 2주 시점부터 신생골 형성을 관찰하였다. 또한 유기성분을 분석한 결과 비collagenous protein(Non-collagenous protein)의 존재를 확인하였고 블록에서 단백질 양이 많이 검출되는 것을 확인하였다⁶⁾. 한편 치아의 상아질은 recombinant human bone morphogenic protein-2 (rhBMP-2)의 운반체 역할을 수행할 수 있다는 실험적 연구 결과들이 보고되었다. 따라서 치아를 이용하여 제조한 골이식재는 자체가 골유도 및 골전도성 치유를 보이는 생체적합성이 우수한 재료일 뿐만 아니라 다양한 성장인자 및 줄기세포 전달을 위한 스캐폴드 기능을 수행할 가능성이 있다고 생각된다⁷⁻⁹⁾. Kim 등¹⁰⁾은 자가치아골이식재의 표면구조와 물리화학적 특성을 다른 골대체재료들(동종골, 이종골, 합성골)과 비교하였다. 연구 결과 자가치아 골이식재는 자가골과 가장 유사한 물리화학적 특성을 가지는 것으로 밝혀졌다. 또한 자가치아 골이식재의 무기성분과 표면구조를 분석한 연구결과가 발표되었다. 연구 결과 자가치아골이식재는 저결정성 수산화인회석(low-crystalline hydroxyapatite)이며 다른 인산칼슘(calcium phosphate)들을 포함하고 있었고 인체 골조직과 매우 유사한 양상을 보였다. 특히 치관(crown) 부위는 고결정성, 치근(root) 부위는 저결정성 수산화인회석으로 구성되어 있음이 확인되었다^{11,12)}. Jeong 등¹³⁾은 미니피그의 하악골에 결손부를 형성한 후 발치한 자가치아를 이용하여 제조한 골이식재를 이식하고 치유과정을 평가하였다. 4주 후 채취한 조직시편에 대해 조직형태측정학적 분석을 시행한 결과 $43.74 \pm 11.96\%$ 의 신생골 형성이 관찰되었고 수산화인회석을 이식한 비교군에서는 $30.79 \pm 2.93\%$ 의 신생골 형성이 관찰되었다. 저자들은 자가치아골이식재가 골결손부 재건을 위해 자가골 대체용으로 사용할 수 있는 유용한 재료라고 주장하였다.

2. 임상 논문

Kim 등¹⁴⁾은 오랜 기간 사람의 치아를 이용한 골이식재에 관한 연구를 기반으로 자가치아골이식재를 개발하여 임상에 사용할 수 있는 근거를 확보하였다. 또한 골유도재생술 및 상악동골이식술에 대한 전향적 임상연구를 통해 골전도에 의한 우수한 골치유가 이루어지는 것을 확인하였다. Kim 등¹⁵⁾은 자가치아골이식재의 임상 적용 및 치유기전에 대해 정리한 논문을 발표하였으며 골유도재생술, 상악동골이식술, 치조능증대술, 발치창재건술 등 다양한 골이식술에 유용하게 사용할 수 있다고 언급하였다. 자가치아골이식재를 이용한 골이식술의 조직형태측정학적 연구가 시행되었다. 2009년 6월부터 2009년 9월까지 골유도재생술과 상악동골이식술이 시행된 환자들 중 조직시편 채취가 가능했던 환자들을 연구대상으로 하였다. 골이식 2개월과 4개월 후에 조직시편이 채취되었으며 조직형태측정학적 분석 결과 매우 우수한 신생골 형성이 관찰되었다¹⁶⁾. Kim 등^{17,18)}은 치아를 이용한 골이식재 및 치아기원골이식재에 관한 문헌고찰을 통

해 발치된 치아들을 이용하여 제조한 골이식재는 안전하고 생체적합성이 있으며 신생골 형성 능력이 우수하다고 언급하였다. 또한 다양한 성장인자들의 운반을 위한 스캐폴드로 사용할 수 있으며 장차 동종 및 이종치아를 이용한 골이식재와 치아를 이용한 치과용 수복재 개발 가능성이 있다고 언급하였다. 자가치아골이식재 분말과 블록은 점착성이 우수하고 결손부에 잘 적합되는 특성을 가지고 있으며 조각이 매우 편리하다. 이식 후 창상이 일부 벌어지면서 노출되더라도 감염에 대한 저항성이 우수하고 이차치유가 잘 이루어지는 장점이 있다고 언급된바 있다^{19,20)}. Park 등²¹⁾은 자가치아골이식재의 임상 적용에 관한 후향적 연구결과를 발표하였다. 자가치아골이식술이 시행된 250명의 환자들에서 133개의 임플란트가 식립되었다. 임플란트 보철 기능 6개월 후 임플란트 주변의 평균 치조정골 흡수량은 0.29 mm였고 일부 환자들에서 시행된 조직검사 결과 우수한 신생골 형성을 관찰하였다.

1) 상악동골이식술(Sinus bone graft)

다양한 연구들을 통해 자가치아골이식재는 우수한 골유도 및 골전도 기능을 통한 골치유를 보이고 서서히 흡수되면서 유리 자가골이식과 거의 유사한 조직학적 치유과정을 보인다고 언급되었다^{6-10,13-15)}. Lee 등²²⁾은 여러 가지 골이식재료들을 이용하여 상악동 골이식을 시행하고 4개월 후 조직시편을 채취하여 조직형태측정학적 평가를 시행하였다. 자가치아골이식재는 우수한 골치유과정을 보였으며 상악동골이식에 충분히 사용될 수 있는 재료라고 언급되었다. 따라서 상악동골이식을 시행할 때 반드시 자가골이 필요한 경우 대체 수단일 수 있고 다른 골대체재료와 혼합할 경우 골이식재의 체적을 증가시키고 재합기회를 최소화하는 유용한 효과를 보일 수 있다고 생각된다. Jeong 등²³⁾은 자가치아골이식재를 이용한 상악동골이식술에 대한 일차보고를 통해 우수한 치유 능력을 확인하였고 양이 모자랄 경우엔 다른 골이식재료들과 혼합하여 사용할 수 있다고 언급하였다. 자가치아골이식재를 이용한 상악동골이식술에 대한 후향적 임상연구 결과가 발표되었. 2009년 7월부터 2010년 11월까지 51명의 환자들에서 자가치아골이식재를 이용하여 상악동골이식을 시행한 후 100개 임플란트가 식립되었다. 임플란트 생존율은 96.15%였으며 일부 환자들에서 조직시편을 채취하여 조직형태측정학적 분석을 시행한 결과 자가치아골이식재는 골유도 및 골전도에 의해 신생골을 형성하고 서서히 흡수되는 생체적합성이 우수한 재료임이 확인되었다²⁴⁾.

2) 골유도재생술(Guided bone regeneration)

Kim 등²⁵⁾은 6명의 환자들에서 임플란트 주변 결손부에 자가치아골이식재 분말을 이용한 골유도재생술을 시행하고 3~6개월 후 치유과정을 평가하였다. 모두 우수한 골재생이 이루어졌고 조직형태측정학적 분석에서 활발한 신생골 형성과 골개조 소견이 확인되었다. 결론적으로 자가치아골이식재는 면역거부반응이 전혀 없으면서 골전도 및 골유도에 의한 치유가 이루어지는 생체적합성 있는 재료임이 입증되었다.

Kim 등²⁶⁾에 의해 자가치아골이식재를 이용한 증례보고가 발표되었다. 3명의 환자들에서 시행된 골유도재생술의 골치유는 매우 우수하였고 특히 합병증은 발생하지 않았다. 6개월 후 채취된 조직시편을 검사한 결과 이식재가 서서히 흡수되면서 신생골로 대체되고, 신생골은 잔존 자가치아골이식재들과 직접적인 유합을 이루는 것이 확인되었다. 자가치아골이식재를 이용한 골유도재생술 시행 시 차단막 유무에 따른 골치유 양상을 비교한 연구가 시행되었다. 임플란트 주변 결손부에 자가치아골 이식재를 이식하고 흡수성 콜라겐 차단막(Bio-Arm, ACE Surgical Supply Company, Inc., USA)을 피개한 군과 자가치아골이식재 단독으로 사용한 군의 이차수술 시 치유상태를 임상적으로 평가하였다. 두 군 모두 양호한 골치유가 이루어졌으며 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다²⁷⁾.

3) 치조능증대술(Ridge augmentation)

Kim 등²⁸⁾은 44세 남자 환자에서 자가치아골이식재 블록과 분말을 이용하여 상악 전치부 및 구치부에서 치조능 수직 및 수평증대술을 시행하고 2~4개월의 치유기간을 거친 후 임플란트를 성공적으로 식립하였으며 매우 우수한 골치유를 확인하였다. 따라서 치조능 증대술을 시행할 때 자가치아골이식재는 자가골 이식의 대체 수단이 될 수 있으며 양이 모자랄 경우엔 타 골이식재와 혼합하여 사용하면 임상에서 매우 유용하게 사용할 수 있다고 언급하였다. 또한 치조능의 협설측 폭경이 현저하게 부족한 환자에서 치조능확장술과 자가치아골이식재를 이용한 치조능 수평증대술을 시행하면서 임플란트를 성공적으로 식립한 증례가 보고되었다²⁹⁾. Hwang 등³⁰⁾은 발치 즉시 제작된 자가탈회상아기질을 이용한 골증대술 증례를 보고하였다. 약 4개월 후 조직시편을 채취하여 검사한 결과 탈회상아기질 주위로 신생골 형성이 관찰되었으며 이식재 자체의 골유도능을 확인하였다고 보고하였다. Lee 등³¹⁾은 2009년 3월부터 2010년 4월까지 자가치아골이식재를 이용하여 치조능 수직 및 수평 증대술을 시행한 환자들 9명을 조사하였다. 재료는 분말 혹은 블록형이 단독 혹은 혼합하여 사용되었고 술후 감염은 없었다. 술후 창상열개가 1증례, 혈종이 1증례에서 발생하였으나 특이 문제점 없이 잘 치유되었다. 술후 35±5.3개월간 경과를 관찰한 결과 식립된 임플란트들중 1개가 실패하여 96% 생존율을 보였고 임플란트 주변의 평균 변연골 소실은 0.12±0.19 mm로서 매우 안정적인 결과를 보였다.

4) 발치창 골이식술(Extraction socket graft)

Chung and Lee³²⁾는 자가치아 뼈이식재를 발치창 내에 이식한 6명의 환자들을 대상으로 골치유 과정을 평가하였다. 파노라마 방사선 사진 및 CT를 이용하여 골밀도를 비교한 결과 대조군(골이식을 시행하지 않은 경우)에 비해 높은 골밀도를 보였고 조직형태계측학적 분석에서 신생골 형성이 매우 우수하였고 신생골 내 중탄골 밀도도 매우 높게 나타남을 관찰하였다. Kim 등³³⁾은 2명의 환자들에서 자가치아골이식재 분말과 블록으로 발치창 골이식을 시행하고 3-3.5

개월의 치유기간을 거친 후 임플란트를 성공적으로 식립한 증례를 보고하였다. 저자들은 생체적합성이 우수한 자가치아골이식재를 이용한 발치창 보존 및 재건술은 임상적으로 우수한 효과를 얻을 수 있으며 치유기간이 현저히 단축될 가능성이 있다고 언급하였다.

5) 치조열 재건술(Alveolar cleft reconstruction)

치조열은 혈행 상태가 불량하고 구강-비공이 완전히 개통되어 있기 때문에 재건술이 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 자가골 이식이 추천되며 다른 골이식재를 사용할 경우엔 실패 가능성이 매우 높다. Jeong 등³⁴⁾은 자가치아골이식재를 이용한 치조열 재건술의 최초 증례를 보고하였다. 19세 남자 환자에서 하악 제3대구치를 발치하여 제조한 자가치아골이식재를 이용하여 상악 우측 측절치 부위 치조열재건술을 시행한 후 임플란트 치료를 성공적으로 시행하였다. 그 외에도 자가치아골이식재로 치조열 골이식술을 시행하여 성공적인 재건 효과를 얻은 증례들이 보고되었으며 자가골이식 대체용으로 사용될 수 있는 가능성을 확인하였다³⁵⁾.

6) 치아이식술(Tooth transplantation)

Kim and Choi³⁶⁾는 하악 좌측 대구치를 발치한 후 매복치를 이식한 증례를 보고하였다. 매복치를 이식한 후 초기고정을 좋게 하기 위해 자가치아골이식재 분말을 주변에 이식하였다. 장기간 경과를 관찰할 때 방사선 사진에서 치조백선이 명확해지면서 치주 재부착이 이루어지는 것을 확인하였으며 보철치료가 성공적으로 수행되었다.

7) 자가치아골이식재 블록(Autogenous tooth bone block)

Park³⁷⁾은 단일치아의 심한 치조골 소실 환자에서 블록형 자가치아골이식재를 이용한 치조능증대술과 동시에 임플란트를 식립하여 양호한 결과를 보였다고 보고하였다. Lee 등³⁸⁾은 자가치아골이식재 블록을 이용하여 발치창골이식과 치조능증대술을 성공적으로 시행한 증례를 보고하였다. 탈회 처리한 블록은 이식 후 시간이 경과하면서 점차 골밀도가 증가하면서 양호한 골개조가 이루어지는 것이 관찰되었다. Kim 등³⁹⁾은 자가치아골이식재 블록을 이용하여 치조능증대술, 골유도재생술, 발치창골이식술을 시행한 12명의 환자들을 조사하였다. 1 증례에서 술후 창상이 벌어졌으나 양호한 이차치유가 이루어졌고 모두 성공적인 골이식 결과를 보였음을 보고하였다. 2.5개월 후 채취한 조직시편을 검사한 결과 상방의 연조직과 잘 적합되었고 하방의 골조직과는 aponeurosis를 통한 유착 소견이 관찰되었다. 결론적으로 자가치아골이식재 블록은 자가 피질골이식과 유사한 치유과정을 보인다고 주장하였다.

8) 가족치아골이식술(Family tooth bone graft)

직계가족의 치아들을 탈회냉동건조처리법을 통해 이식재로 만들어서 사용할 경우 면역거부반응 없이 임상에 적용할 수 있다. 아직 국내에서 보편적으로 활용되고 있지는 않지만 일부 증례보고에서 우

Table 1. Summary of a variety of bone graft materials.

	Autogenous bone graft	Allograft	Xenograft	Synthetic bone	Autogenous tooth bone
Osteogenesis	A little	No	No	No	No
Osteoinduction	Excellent	Variable	No	No	Excellent
Osteoconduction	Excellent	Variable	Excellent	Excellent	Excellent
Bone resorption	Powder fast Block slow	Usually fast	Very slow or No	Very slow or No	Crown slow Root fast
Bone remodeling	Excellent	Excellent	Rare	Rare	Excellent
Types of material	Block, powder	Block, powder, gel, putty, strip	Usually powder, Some block	Usually powder, Some block	Block, powder, putty, strip
Processing	Unnecessary	Deminerlization or mineralization	High or low temperature heat	High or low temperature heat	Deminerlization
Organic component	Present	Present	Absent	Absent	Present
Risk of infectious contamination	Safe	Concern	Concern	Safe	Safe
Disadvantages	Donor site problem Limitation of amount	High cost	Poor remodeling	Poor remodeling	Limitation of amount

AutoBT: Autogenous tooth bone graft material.

수한 결과가 보고된 바 있다^{40,41)}. Lee 등⁴¹⁾은 직계가족의 발치한 치아들을 골이식재로 가공하여 골이식술을 시행받은 5명의 환자를 평가하였다. 치조능증대술, 치조열재건술, 골유도재생술에 적용되었으며 모든 증례들에서 창상열개, 감염과 같은 술후 합병증은 발생하지 않았다. 식립된 임플란트들은 우수한 골유착이 이루어졌고 관찰 기간 동안 성공적으로 기능하였음을 보고하였다. 따라서 직계가족 치아를 이용한 골이식재의 임상적 적용은 자가치아 골이식재의 적용과 더불어 그 가능성이 확인되었으며 체계적인 임상연구를 통한 장기안정성에 대한 연구가 필요하다고 언급하였다.

자가치아골이식재와 타 골이식재의 비교

골조직과 치아 상아질은 광물화 조직(mineralized tissues)이며 화학적 성분이 거의 유사하다. 즉 교원질(collagen) 18%, 비교원성 단백질(non-collagenous protein) 2%, 수산화인회석(HA) 70%, 체액(body fluid) 10% 비율로 구성되어 있다. 탈회상아질기질(demineralized dentin matrix: DDM)과 탈회골기질(demineralized bone matrix: DBM)은 산에 불용성(acid-insoluble)이며 성장인자들을 포함한 교원질 기질(collagenous matrix)이다. 특히 상아질 교원질은 인체에서 가장 강력한 교원질이며 치조골 수직증대술에서 매우 유용한 효과를 발휘할 수 있다^{42,43)}. 자가골이 가장 이상적인 재료임은 분명하다. 그러나 공여부 합병증과 채취량의 제한이 가장 큰 단점이다. 동종골은 골유도 및 골전도 기능이 있지만 제조사의 처리 방법에 따라 매우 다양한 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다. 일부 제품들은 BMP를 거의 함유하고 있지 않아 골유도 기능을 전혀 발휘하지 못하는 것도 있다. 또한 탈회골기질만으로 구성된 동종골은 신성골이 자라 들어오는 기반을 제공할 수 없기 때문에 비탈회 골칩을 함께 사용하는 경우가 많다. 조직은행의 엄격

한 처리방법에 따라 만들어진 동종골은 바이러스성 감염 등의 위험성이 거의 없다. 그러나 부적절한 처리 공정을 거친 제품들이 시중에 많이 유통될 수 있으며 감염 전파의 위험성을 배제할 수 없다. BMP를 비롯한 유기성분들을 많이 함유한 동종골은 가격이 매우 비싼 것이 단점이다. 이종골과 합성골은 오직 골전도 기능만을 가지고 있다. 그러나 고온 혹은 저온 열처리 방식에 따라 골전도 기능 및 재료의 흡수도 제품에 따라 매우 다양한 양상을 보이고 있다. 대부분의 이종골과 합성골은 흡수가 매우 늦거나 거의 되지 않으며 골개조도 잘 이루어지지 않기 때문에 소량의 골결손부 수복 목적으로만 사용해야 한다. 자가치아골이식재는 골형성 기능은 없지만 우수한 골유도 및 골전도 기능을 가지고 있고 일정 시간이 경과하면서 흡수되며 양호한 골개조를 보이는 것으로 알려져 있다. 그러나 발치할 치아들이 있어야만 제조가 가능하기 때문에 골이식재의 양이 부족한 것이 최대의 단점이다. 따라서 큰 결손부 재건 목적으로 사용될 경우엔 자가치아골이식재를 다른 골이식재들과 혼합하여 사용해야 한다 (Table 1).

REFERENCES

1. Kim YK. Clinical application and classification of bone graft material according to component. J Korean Dent Assoc 2010; 48:178-89.
2. Kim YK. Systematic classification and application of alloplastic bony substitutes and autogenous teeth bone graft material. J Dent Implant Res 2009;28:77-88.
3. Nampo T, Watahiki J, Enomoto A, Taguchi T, Ono M, Nakano H, et al. A new method for alveolar bone repair using extracted teeth for the graft material. J Periodontol 2010;81:1264-72.
4. Miyata Y, Ozawa S, Kojima N, Kondo Y, Matuskawa R, Tanaka Y. An experimental study of bone grafting using rat milled tooth.

- J Oral Maxillofac Implants 2011;26:1210-6.
5. Kim YK, Kim JH, Hwang JY, Um IW, Jeong D, Yun PY. Restoration of calvarial defect using a variety of xenogenous tooth bone graft material: Animal study. *K Korean Assoc Maxillofacial Plastic Reconstr Surg* 2012;34:299-310.
 6. Kim YK, Lee J, Kim KW, Um IW, Murata M, Ito K. Analysis of organic components and osteoinductivity in autogenous tooth bone graft material. *J Korean Assoc Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2013;35:353-9.
 7. Murata M. Bone engineering using human demineralized dentin matrix and recombinant human BMP-2. *J Hard Tissue Biol* 2005;14:80-1.
 8. Ike M, Urist MR. Recycled dentin root matrix for a carrier of recombinant human bone morphogenetic protein. *J Oral Implantol* 1998;24:124-32.
 9. Murata M, Sato D, Hino J, Akazawa T, Tazaki J, Ito K, Arisue M. Acid-insoluble human dentin as carrier material for recombinant human BMP-2. *J Biomed Mater Res A* 2012;100:571-7
 10. Kim YK, Kim SG, Yun PY, Yeo IS, Jin SC, Oh JS, et al. Autogenous teeth used for bone grafting: a comparison with traditional grafting materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2014;117:e39-e45.
 11. Kim YK, Yeo IS, Kim SG, Um IW, Kim YK. Analysis of crystalline structure of autogenous tooth bone graft material: X-Ray diffraction analysis. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2011;37:225-28.
 12. Kim YK, Kim SG, Oh JS, Jin SC, Son JS, Kim Sy, Lim SY. Analysis of the Inorganic Component of Autogenous Tooth Bone Graft Material. *J Nanosci Nanotech* 2011;11:7442-5.
 13. Jeong HR, Hwang JH, Lee JK. Effectiveness of autogenous tooth bone used as a graft material for regeneration of bone in miniature pig. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2011;37:375-9.
 14. Kim YK. Development of autogenous teeth bone graft material and clinical evaluation. *J Korean Dent Assoc* 2011;49:159-69.
 15. Kim YK, Lee JK, Kim KW, Um IW, Murata M. Healing Mechanism and Clinical Application of Autogenous Tooth Bone Graft Material. *InTech*;405-35. <http://dx.doi.org/10.5772/53200>.
 16. Kim SG, Kim YK, Lim SC, Kim KW, Um IW. Histomorphometric analysis of bone graft using autogenous tooth bone graft. *Implantology* 2011;15:134-41.
 17. Kim YK. Bone graft material using teeth. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2012;38:134-8.
 18. Kim YK, Lee J, Um IW, Murata M, Akazawa T, Mitsugi M. Tooth-derived bone graft material. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2013;39:103-11.
 19. Kim YK, Lee JU. The evaluation of postoperative safety of autogenous teeth bone graft. *J Dent Implant Res* 2009;28:29-35.
 20. Lee JY, Kim YK. Retrospective cohort study of autogenous tooth bone graft. *Oral Biol Res* 2012;36:39-43
 21. Park SM, Um IW, Kim YK, Kim KW. Clinical application of auto-tooth bone graft material. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2012;39:2-8.
 22. Lee JY, Kim YK, Kim SG, Lim SC. Histomorphometric study of sinus bone graft using various graft material. *J Dent Rehabil Appl Sci* 2011;27:141-7.
 23. Jeong KI, Kim SG, Oh JS, Lim SC. Maxillary sinus augmentation using autogenous teeth: Preliminary report. *J Korean Assoc Plast Reconstr Surg* 2011;33:256-63.
 24. Jeong KI, Kim SG, Kim YK, Oh JS, Jeong MA, Park JJ. Clinical study of graft materials using autogenous teeth in maxillary sinus augmentation. *Implant Dent* 2011;20:471-5.
 25. Kim YK, Kim SG, Byeon JH, Lee HJ, Um IU, Lim SC, Kim SY. Development of a novel bone grafting material using autogenous teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109:496-503.
 26. Kim YK, Lee HJ, Kim KW, Kim SG, Um IW. Guide bone regeneration using autogenous teeth: case reports. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2011;37:142-7.
 27. Lee JY, Lee J, Kim YK. Comparative analysis of guided bone regeneration using autogenous tooth bone graft material with and without resorbable membrane. *J Dent Sci* 2013;8:281-6.
 28. Kim YK, Kim SG, Um IW. Vertical and horizontal ridge augmentation using autogenous tooth bone graft materials: Case report. *J Korean Assoc Plast Reconstr Surg* 2011;33:166-70.
 29. Kim YK, Yi YJ. Horizontal ridge augmentation using ridge expansion and autogenous tooth bone graft: a case report. *J Dent Rehabil Appl Sci* 2011;27:109-15.
 30. Hwang HJ, Kim YW, Mo DY, Lee JY, Kim HC, Lee SC, Jingo K. Case report and histologic study of maxillary anterior bone augmentation using autogenous demineralized dentin matrix which was made immediately after extraction. *J Korean Dent Sci* 2012;31:9-14.
 31. Lee JY, Kim YK, Yi YJ, Choi JH. Clinical evaluation of ridge augmentation using autogenous tooth bone graft material: case series study. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2013;39:156-60.
 32. Chung JH, Lee JH. Study of bone healing pattern in extraction socket after application of demineralized dentin matrix material. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2011;37:365-74.
 33. Kim YK, Kim SG, Kim KW, Um IW. Extraction socket preservation and reconstruction using autogenous tooth bone graft: Case report. *J Korean Assoc Plast Reconstr Surg* 2011;33:264-9.
 34. Jeong KI, Lee J, Um IW, Kim YK. Alveolar cleft restoration using autogenous tooth bone graft material for implant placement: A case report. *J Oral Implantol* 2013 Dec 2. [Epub ahead of print].
 35. Jeong KI, Lee J, Kim KW, Um IW, Hara S, Mitsugi M, Kim YK. Alveolar cleft reconstruction using chin bone and autogenous tooth bone graft material: Reports of 5 cases. *J Korean Dent Sci* 2013;6:13-21.
 36. Kim YK, Choi YH. Tooth Autotransplantation with Autogenous Tooth-Bone Graft: A Case Report. *J Korean Dent Sci* 2011;4:79-84
 37. Park IS. Ridge augmentation using block type of autogenous tooth bone graft material in severe alveolar bone resorption of single tooth: Case report. *J Korean Assoc Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2012;34:462-5.
 38. Lee EG, Lee JY, Kim YK, Um IW, Choi JH. Delayed implant placement after extraction socket reconstruction and ridge aug-

- mentation using autogenous tooth bone graft material: Case reports. *Dentistry* 2013;3:174. doi:10.4172/2161-1122.1000174.
39. Kim YK, Kim SG, Um IW, Kim KW. Bone grafts using autogenous tooth blocks: A case series. *Implant Dent* 2013;22:584-589.
40. Mah DH, Kim SG, Oh JS, Lee SK, Jeong MA, Kim JS, Kim SH. Guided bone regeneration at bony defect using familial tooth graft material: Case report. *Oral Biology Research* 2012;36:69-73
41. Lee JY, Kim YK, Um IW, Choi JH. Familial tooth bone graft: Case reports. *J Korean Dent Assoc* 2013;51:459-67.
42. Murata M. Collagen biology for bone regenerative surgery. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2012;38:321-5.
43. Murata M, Akazawa T, Mitsugi M, Kabir MA, Minamida Y, Um IW, et al. Autograft of Dentin Materials for Bone Regeneration. *InTech*; 390-403. <http://dx.doi.org/10.5772/53665>.