

투고일 : 2010. 3. 23

심사일 : 2010. 4. 13

게재확정일 : 2010. 4. 15

구성성분별 골이식재의 분류와 임상적용

분당서울대학교병원 치과 구강악안면외과

부교수 김 영 균

ABSTRACT

Clinical application and classification of bone graft material according to component

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Section of Dentistry, Seoul National University Bundang Hospital
Young Kyun Kim. D.D.S. PhD.

I classified the bone graft material according to the component. Most bone graft material is composed of inorganic and organic constituent. Organic component such DBM is associated with osteoinduction. Inorganic components such as hydroxyapatite, β -TCP, calcium sulfate, bioactive glass, polymer are associated with osteoconduction. Autogenous bone graft is ideal material. We can select any biocompatible material for the restoration of small filling defect with intact bony wall. However, we should select first osteogenetic and osteoinductive material to regenerate the viable bone tissue.

Key words : organic, inorganic component, osteoinduction, osteoconduction

I. 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. 다양한 종류의 골이식재료가 국내에서 유통되고 있지만 수요자인 대다수의 치과 의사들은 정확한 정보를 알지 못하는 상태에서 제조사

의 광고, 영업사원의 설명, 유명 연자들의 강의를 기반으로 재료를 선택하고 있다¹⁾. 일부 단행본에서 체계적 분류를 시도한 바 있지만 미흡한 상태이며 국내 최초로 2009년 대한치과이식학회 추계학술대회에서 국내 유통되고 있는 골이식재료의 분류작업을 시도하였으며 심포지움을 개최하였다²⁾. 현재 수입 및 국산 골이식재가 많이 유통되고 있으나 학문적 및 임상적 체계 정립이 안되어 있고 치과의사들이 선택하는 골이식재들에 대한 객관적인 자료가 부족하고 이식재의 치유

기전 및 성분을 판단할 수 있는 자료나 지침서가 없다. 골이식재의 분류 필요성은 골이식재를 사용하는 의료인 상호간의 객관적 정보 확보 및 교류의 활성화, 임상 의와 학자들간에 골이식재의 분석 및 평가에 대한 일관성 유지, 체계적이고 근거에 입각한 골이식술을 통해 대국민 안전성과 인지도를 향상시키는데 있다. 본 논문에서는 구성성분에 따른 골이식재의 분류와 임상 활용에 대해 기술하고자 한다.

II. 구성성분별 뼈이식재의 분류

1. 무기질 성분에 따른 분류 (Table 1)

골의 무기질 성분 함량은 약 65%(wt%)이며 결정학적으로 수산화인회석을 기본으로 하는 구조이다. 인체에서 골조직은 무기질의 저장고 역할을 하며, 인체내 칼슘의 99%와 인의 85%를 함유하고 있다. 이외에도 소량의 미량무기질들이 함유되어 있으며, 인체내로 섭취된 중금속도 인산칼슘염과 함께 축적될 수 있다³⁾.

화학양론적인 아파타이트는 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 로 표기되며 구조식 중에 수산화기가 포함되어 수산화인회석이라고 불린다. 그러나 사람의 골조직에서 발견되는 아파타이트는 다른 형태를 띠고 있으며 큰 차이는 인산기(PO_4)의 자리에 탄산기(CO_3)가 일부 치환된 형태를 취하고 있다는 점이다. 따라서 실제 Ca/P ratio는 1.67 이상이 되며 탄산기의 치환량에 따라 달라지게 된다⁴⁾. 또 다른 점은 칼슘의 자리에 다른 양이온들이, 인산기의 자리에 HPO_4 이온이, 수산화기 자리에 F 혹은 Cl 이온이 치환될 수 있고, 사람의 골

조직에 존재하는 아파타이트는 결정도가 낮은 저결정성이면서 입자 크기가 수십 나노미터 수준이다. 반면 높은 온도에서 소결과정을 거치면서 제작된 수산화아파타이트는 고결정성이 되며 소결과정 중 입성장 (grain growth)이 발생하여 골조직에 존재하는 아파타이트보다 수십 배 더 큰 크기를 갖게 된다⁵⁾. 결정도가 높고 입자 크기가 클 경우에는 체내에서 생분해가 거의 불가능하고 골전도 능력이 매우 낮으며 파골세포에 의해 분해될 수 없다. 저결정성 탄산 아파타이트일 경우 가장 우수한 골전도 효과를 보인다⁴⁾. 최근 개발된 자가치아골이식재는 인체 골조직과 유사한 저결정성 탄산 아파타이트로 구성되어 있으며 아파타이트의 물리/화학적 성질의 변화는 발생하지 않고 그대로 유지된다. 즉 저결정성 탄산 아파타이트 성질을 그대로 사용하게 되므로 콜라겐 및 각종 성장인자들과 더불어 우수한 골유도 및 골전도 기능을 발휘할 수 있다⁶⁾. 탈회동결건조골을 제외한 동종골은 일반적으로 동결건조 과정만을 거쳐 사용하고 있으므로 아파타이트의 물리/화학적 성질의 변화는 발생하지 않고 그대로 유지된다. 따라서 저결정성 탄산 아파타이트 성질을 그대로 유지할 수 있다⁴⁾.

2. 유기질 성분에 따른 분류

치조골은 65%의 무기질과 35%의 유기질로 구성되어 있다. 유기질은 주로 type I collagen(88~89%)이며 나머지 (11~12%)는 비교원성단백질(noncollagenous protein)로 구성되어 있다. 비교원성단백질은 osteopontin, osteonectin, osteocalcin, alkaline phosphatase, bone sialoprotein, BMP, glycoprotein, proteoglycan 등이 있다. 골조직과 가장 유사한 유기질 성분을 가진 조직은 치아이다. 자가치아골이식재는 type I collagen과 비교원성단백질을 함유하고 있으며 우수한 골유도 및 골전도 기능에 의한 치유를 보인다. 탈회냉동건조동종골은 type I collagen과 골형성유도단

Table 1. 무기질 성분에 따른 분류

탄산 아파타이트	골전도 능력	골이식재
저결정성	높다	자가골, 자가치아골이식재, 동종골, 일부 이종골
고결정성	낮다	일부 이종골, 대부분의 합성골

백질(BMP)을 함유한 것으로 알려져 있으나 조직은행의 처리 방법 및 공여조직에 따라 매우 다양한 양상을 보이며 일부 동종골들은 골형성유도단백질이 거의 포함되지 않은 것들도 있으므로 유의할 필요가 있다. 일부 발표된 논문들에서 DBM(demineralized bone matrix)의 10~15%가 골유도 능력이 전혀 없다고 발표되기도 하였다^{7,8)}.

3. 자가골의 골조성에 따른 분류

피질골, 해면골, 피질해면골블록, 자가치아골이식재로 분류할 수 있으며 각각의 장단점이 있다. 초기 기계적 강도가 우수하지만 수용부에서 신생혈관이 침투해 들어가는 시간은 하루에 30~40 μ m 정도로서 재혈관화가 이루어지면서 생활력을 회복하기까지 시간이 많이 소요된다. 초기 기계적 부하가 필요한 결손부를 충전하거나 빈공간이 존재하는 결손부 및 분쇄 골절 부위에 적용하는 것이 좋다. 두개골, 하악골 정중부, 골체부, 상행지, 오웬돌기 등은 주로 피질골로 구성되어 있다. 주로 골전도 기전을 통해 치유되는 경향을 보이며 잘 흡수되지 않고 해면골에 비해 골형성세포들을 적게 함유하고 있다. 구강내의 상악결절 등과 장골과 경골은 해면골 성분이 많이 차지하고 있다. 골형성세포들이 매우 풍부하며 적절한 조작을 통해 이식을 하면 3시간 동안 골아세포들이 살아 남을 수도 있으며 살아남은 세포들은 수용부에 근접되도록 이동하고



그림 1. 장골에서 채취한 피질해면골 블록과 입자형 해면골.



그림 2. 3개의 발치한 치아들을 이용하여 자가치아골이식재를 제조하였다.

anoxia에 저항성을 가지고 있다. 따라서 이식 후 48시간 이내에 조기 재혈관화가 이루어질 가능성이 크며 신생혈관이 자라 들어오는 속도는 하루에 0.4~1.2mm로 알려져 있다. 그러나 기계적 강도가 약하고 골개조 과정에서 상당량의 골이 소실되며 이식골의 유동성으로 인해 정위치에 유지하기 어려운 단점이 있다. 실재 임상에서는 피질골과 해면골이 함께 포함된 블록을 사용하는 경우가 많다. 피질골층은 연조직 침투로 인한 골이식재의 붕괴를 방지하는 역할을 수행하며 해면골이 골형성 능력을 충분히 발휘하는 동안 골이식재의 원형태를 잘 유지하는 장점이 있다⁹⁾ (그림 1). 자가치아골이식재 분말과 탈회시킨 블록은 점착성이 우수하고 결손부에 잘 적합되는 특성을 가지고 있으며 조작이 편리하다. 골유도 및 골전도에 의해 매우 우수하고 빠른 골치유를 보이며 창상이 일부 벌어지면서 노출되더라도 감염에 대한 저항성이 우수하고 이차치유가 잘 이루어지는 장점이 있다^{6,10,11)} (그림 2).

4. 동종골의 조성 및 성분에 따른 분류^{9,12,13)}

1) 모양 및 구조에 따른 분류

powder, chip, putty, gel, sheet, block 등의 형태로 공급되며 임상에서 상황에 따라 다양하게 적용될 수 있다.

(1) Powder, chips (그림 3)

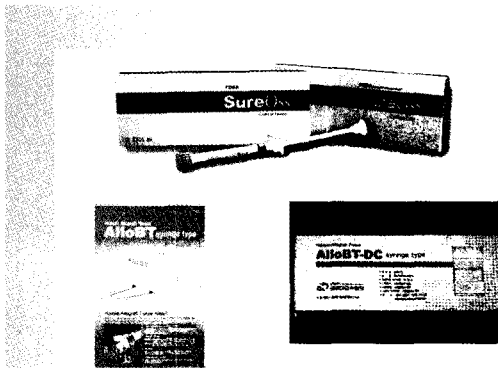


그림 3. powder 형으로 공급되고 있는 국산 동종골 이식재.

Cortical bone

SureOss(Hansbiomed Corp. Korea) AlloBT (Korea Tissue Bank, Korea), Puros (Zimmer Dental, CA) or Tutoplast(Tutogen Medical, Germany), OptiGraft(PURGO Tissue Bank), OraGraft(Life Net, USA)

Cancellous bone : CanOss(Hansbiomed Corp. Korea) AlloBT(Korea Tissue Bank, Korea), Puros, ICB (Rocky Mountain Tissue Bank, USA), OptiGraft, OraGraft(Life Net, USA)

Corticocancellous : OsteOss(Hansbiomed Corp. Korea)

Cortical & DFDBA : bone INGROSS (Hansbiomed

Corp. Korea)

(2) Putty, gel

DBM

SureFuse(Hansbiomed Corp. Korea), DBX(Synthes, MTF), Grafton(OSTEOTECH, USA), DynaGraft(GenSci OrthoBiologics, Inc. USA)

DBM+cancellous bone : ExFuse(Hansbiomed Corp. Korea)

OrthoBlast II(Isotis Orthobiologics, Irvine, Calif)

DBM + corticocancellous chips

Regenafil, Regenaform, Regenaform(RT) (Regeneration Technologies, Inc.)

(3) Block, Sheet (그림 4)

Block

가. Genesis(Hansbiomed Corp. Korea) : cancellous bone block

나. Allo-Block(Osteo.in, Korea) : D-Block, DS-Block, S-Block, T-Block

다. OptiGraft : P-Block, A-Block

라. Puros Block(Tutogen)

Bone sheet

가. BellaFuse(Hansbiomed Corp. Korea) DBM 50%, gelatin



그림 4. 블록과 sheet형의 동종골이식재를 이용하여 치조능 수평증대술과 수직증대술을 시행하는 모습.

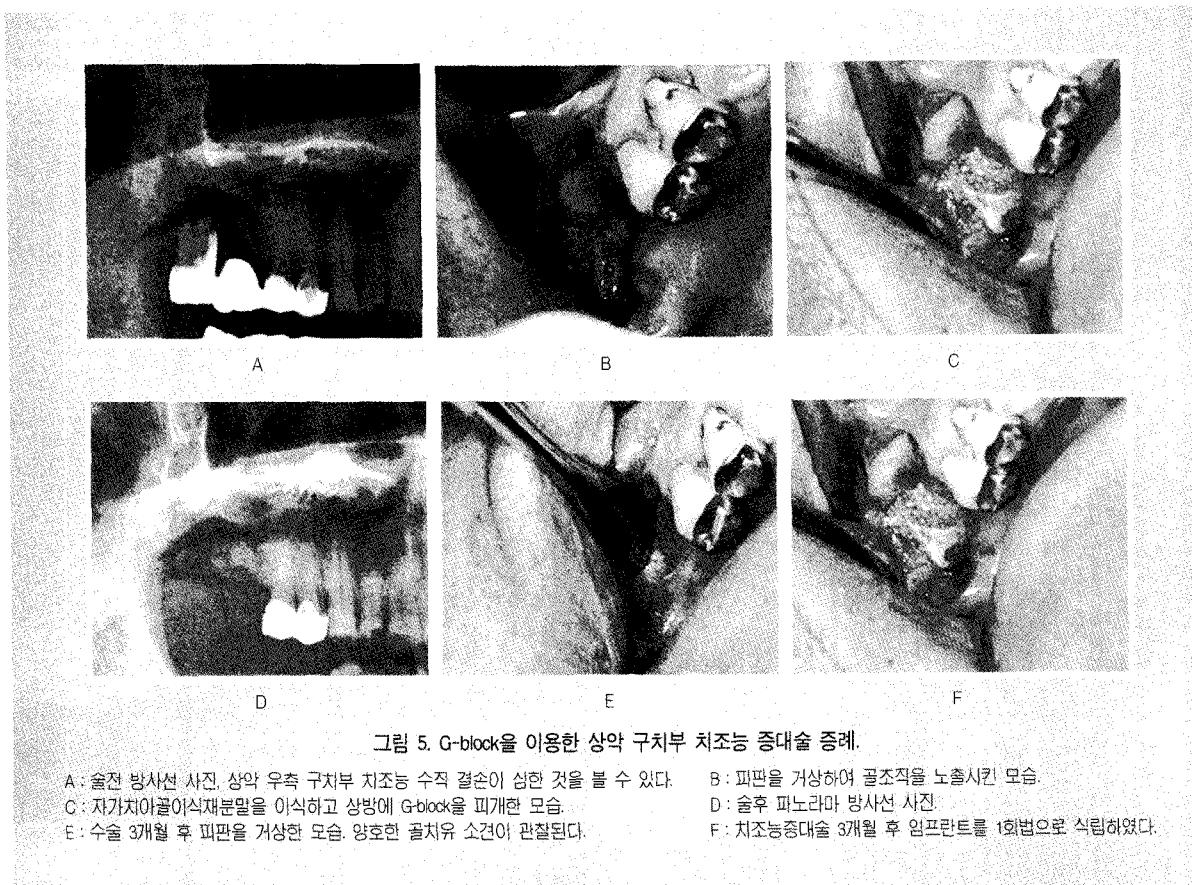


그림 5. G-block을 이용한 상악 구치부 치조능 증대술 증례.

- A : 술전 방사선 사진. 상악 우측 구치부 치조능 수직 결손이 심한 것을 볼 수 있다. B : 피판을 거상하여 골조직을 노출시킨 모습.
C : 자가치아골이식재분말을 이식하고 상방에 G-block을 피개한 모습. D : 술후 파노라마 방사선 사진.
E : 수술 3개월 후 피판을 거상한 모습. 양호한 골치유 소견이 관찰된다. F : 치조능증대술 3개월 후 임플란트를 1회법으로 식립하였다.

나. G-block(Korea Tissue Bank, Korea) (그림 5)

2) 골전도성 이식재 함유 여부에 따른 분류

(1) DBM

SureFuse(한스바이오테드), DBX(Synthes, MTF), Grafton(OSTEOTECH, USA), DynaGraft (GenSci OrthoBiologics, Inc. USA)

(2) DBM + cancellous bone

ExFuse(한스바이오테드), OrthoBlast II(Isotis Orthobiologics, Irvine, Calif)

(3) DBM + corticocancellous chips

Regenafil, Regenaform, Regenaform(RT) (Regeneration Technologies, Inc.)

3) DBM 함량에 따른 분류

- (1) Accell DBM100(ISOTIS OrthogBiologics, USA, Switzerland) Claimed content : 100%, Observed content : 27%
- (2) Accell Connexus(ISOTIS OrthogBiologics, USA, Switzerland) Claimed content : 70%, Observed content : 45%
- (3) CGDBM100(CG Bio, Korea) : 100% DBM
- (4) Orthoblast II : 무게비(weight) 19.5%, Regenaform : 무게비(weight) 24~33%, DynaGraft II : 체적비(volume) 47~64%
DBX(MTF) : 무게비(weight) 27~35%

4) 탈회 및 비탈회 동종골 (그림 6)

탈회골은 흡수가 빠르고 강도가 약하지만 골형성유

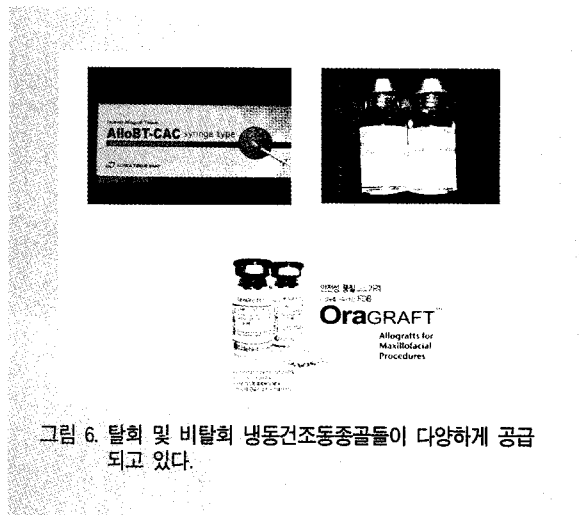


그림 6. 탈회 및 비탈회 냉동건조동종골들이 다양하게 공급되고 있다.

도단백질의 조기 방출에 의한 골유도 기능이 우수한 것으로 알려져 있다. 반면 비탈회골은 강도가 세며 흡수가 느리고 초기에 골전도에 의해 치유가 이루어지기 때문에 골개조가 탈회골에 비해 느리다고 알려져 있다.

- (1) FDBA : OraGraft, MTF FDBA, OptiGraft
- (2) DFDBA : Dembone(Pacific Coast Tissue Bank, USA), OraGraft, OptiGraft, DIZG(DIZG Deutsches Institut fur Zell, Germany)

5) DBM carrier 성분에 따른 분류 (그림 7)

- (1) CMC(carboxy methyl cellulose) SureFuse, ExFuse : DBM+cancellous bone

- (2) Hyaluronic acid : DBX
- (3) Glycerol : Grafton
- (4) Starch : Grafton Plus
- (5) RPM(reverse phase medium) : Dyna Graft(GenSci OrthoBiologics, Inc. USA), Orthoblast II (Isotis Orthobiologics, Irvine, Calif)
- (6) Calcium sulfate : AlloMatrix
- (7) Gelatin : BellaFuse, Regenafile, Regenaform, Regenaform(RT) (Regeneration Technologies, Inc.)

5. 요소 기반 폴리식재(Factor-based bone graft material)¹³⁾

Natural 혹은 recombinant growth factors 을 함유한 폴리식재에 관한 연구가 오래 전부터 진행되어 왔으며 최근에 일부 제품들이 출시되기도 하였지만 아직 임상에서 보편적으로 사용되지는 않고 있다. 골성장요소들은 TGF-beta, PDGF, FGF, BMP, IGF I, II 등으로 알려져 있다. OP-1 Implant, putty (Stryker Biotech)라는 제품이 출시되었는데 rhBMP-7 with type 1 bone collagen을 주성분으로 하는 제품으로 소개되고 있다.

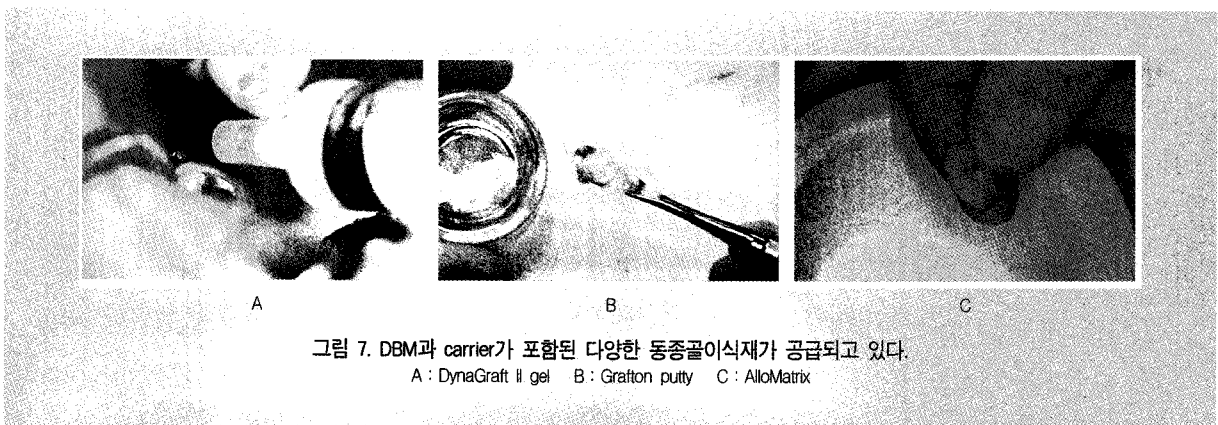


그림 7. DBM과 carrier가 포함된 다양한 동종골이식재가 공급되고 있다.

A : DynaGraft II gel B : Grafton putty C : AlloMatrix

6. 세포 기반 골이식재(Cell-based bone graft material)^{13,14,15)}

미분화 간엽줄기세포를 이용한 조직공학적 골이식재 개발이 이루어지고 있으며 최근 더욱 진보된 연구 결과들이 발표되고 있다. 그러나 아직 임상에서 보편적으로 사용될 수 있는 기반이 취약한 것이 사실이다.

7. 세라믹 기반 골이식재(Ceramic-based bone graft material)^{13,16,17)}

calcium phosphate, calcium sulfate, bioactive glass, polymer 계통의 합성골들이 주종을 이루고 있다. 이들은 모두 골전도에 의한 치유를 보이며 골형성 및 골유도 기능은 전혀 없다. 따라서 모든 골이식재들 중에서 골치유 및 골개조가 가장 느린 것은 분명하다.

1) calcium phosphate

(1) tricalcium phosphate (그림 8)

Bioresorb (Oraltronics GmbH), Cerasorb (Curasan AG), Syncera(Oscotec, Korea)

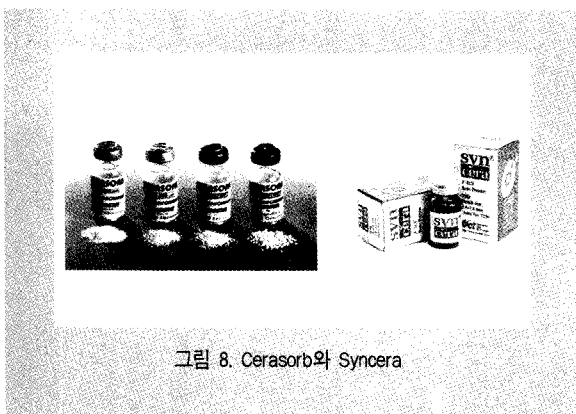


그림 8. Cerasorb와 Syncera

(2) synthetic hydroxyapatite (그림 9)

Low-density HA

Amorphous, readily resorbable material,

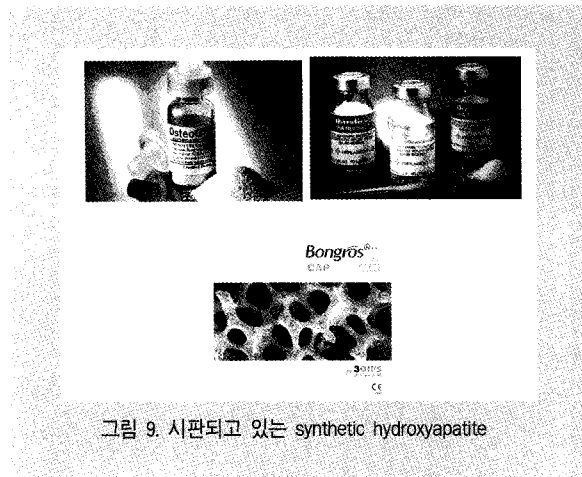


그림 9. 시판되고 있는 synthetic hydroxyapatite

Volume extenders, calcium source, void fillers, OsteoGraf LD-300, LD-700 (CeraMed Dental), OsteoGen (Impladent Ltd)

Dense HA

Synthetic, high density, high crystallinity, low resorbability, OsteoGraft D (Ceramed Dental), Interpore 200(Interpore INTL)

(3) Coralline hydroxyapatite (그림 10)

Interpore, C-Graft, Biocoral, Algapore (Frios), SIC nature graft(SIC invent AG)

(4) Anorganic bovine hydroxyapatite (그림 11, 12)

low temperature, chemical extraction

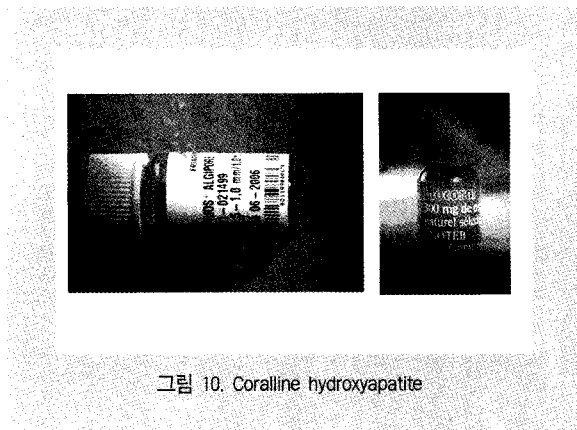


그림 10. Coralline hydroxyapatite

임상가를 위한 특집 2



A



B



C



D

그림 11. Anorganic bovine HA의 일종인 BioOss를 이용하여 치조능 수평증대술을 시행한 증례. 상악 전치부에 임플란트 식립 후 순측에 흡수가 낮은 HA 제재를 이식함으로써 골체적을 장기간 유지시키는데 목적을 두었다.
A: 술전 구강 교합면 사진. B: 스텐트를 장착한 상태에서 드릴링을 시행하고 가이드핀을 삽입한 모습.
C: 임플란트를 무피판법으로 식립하였다. 순측 정중부에 수직절개를 시행하였다.
D: 양측으로 골막하 박리를 시행하는 모습.



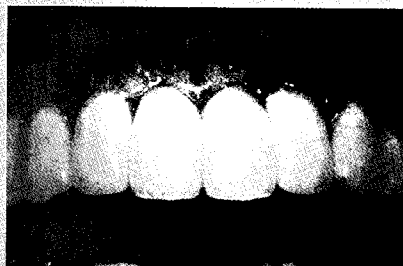
A



B



C



D



E

그림 12. 그림 11의 연속 증례.

A: BioOss를 이식하는 모습. B: 임플란트식립과 동시에 순측 골증대술 후 촬영한 cephalometric lateral view.
C: 임플란트 식립과 골증대술 후 구강 교합면 사진. D: 최종 보철물 장착 13개월 후 구강 정면 사진.
E: 최종 보철물 장착 13개월 후 구강 교합면 사진.



그림 13. HA와 β -TCP가 혼합된 다양한 합성골들이 시판되고 있다.

process : Bio-Oss(Geistlich Biomaterials, Inc, Baden Baden, Germany)
high temperature(<1500도씨) : OsteoGraft-N, PepGen P-15

(5) HA + Beta-TCP (그림 13)

MBCP(micro-macroporous biphasic calcium phosphate), MBCP+, OSTEON (Genoss, Korea), Calpore(Neobiotech, Korea), Bio-C(Cowell Medi, Korea), Bone Plus(Megagen, Korea), DM Bone(Meta Biomed, Korea)



그림 14. Calcium sulfate는 HA, DBM 등과 같은 골이식재료와 혼합하여 사용하는 binder material로 추천된다.

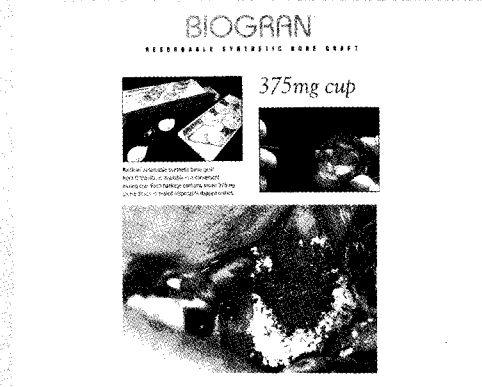


그림 15. Silicate 기반의 Bioactive glass

2) calcium sulfate (그림 14)

Capsel(Lifecore Biomedical), Calmatrix(Lifecore Biomedical), CalForma(Lifecore Biomedical)

3) bioactive glass(bioglass) (그림 15)

Biogran(Orthovita, Palm Beach Gardens, Fla), PerioGlas (NovaBone Products, LLC, Alachua, Fla)

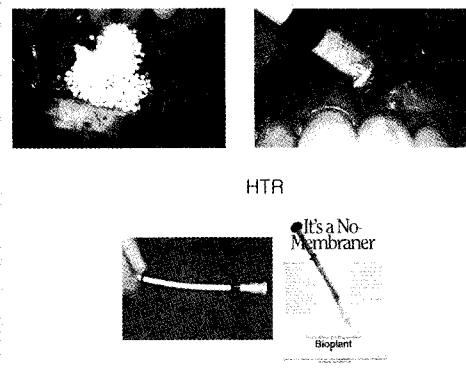


그림 16. Bioplant HTR

임상가를 위한 특집 2

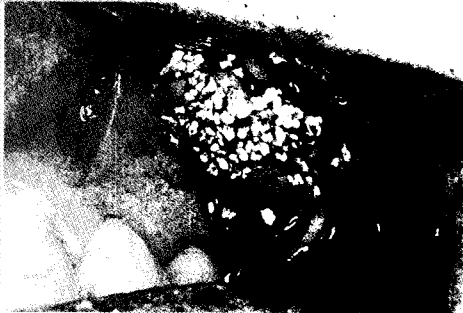


그림 17. 합성골 OSTEON(HA + β -TCP)을 사용하여 상악동 골이식을 시행한 모습.

8. 중합체 기반(Polymer-based) 골이식 재료 (그림 16)

분해성(degradable) 및 비분해성(nondegradable) 재료로 분류되며 분해성 중합체는 polylactic acid 와 poly(lactic-co-glycolic acid)를 사용하여 제

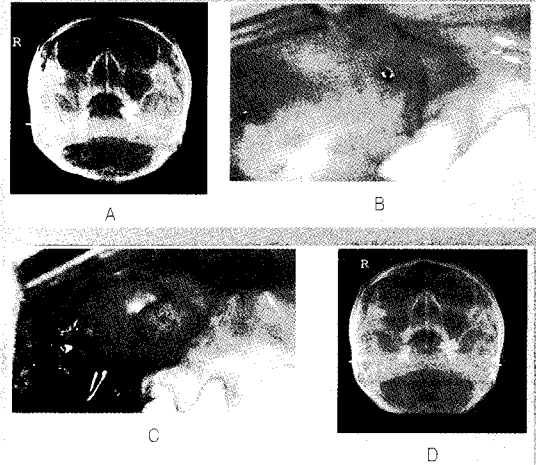
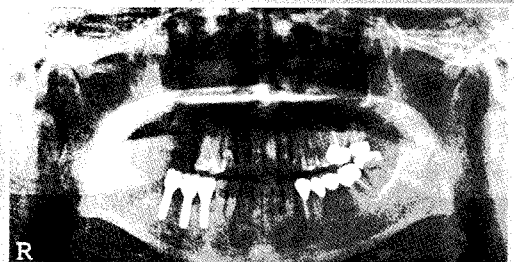


그림 18. 50대 여자 환자에서 이전에 상악동골이식 후 만성상악동염이 발생하여 감염 처치 및 이차재건술을 시행한 증례.
A: 초진 시 Water's view. 우측 상악동의 방사선 불투과상이 현저히 증가된 것을 볼 수 있다.
B: 구강-상악동 누공이 존재하고 있다.
C: 상악동염 수술을 시행한 모습.
D: 상악동염 수술 후 우측 상악동의 방사선 불투과상이 많이 감소되었다.



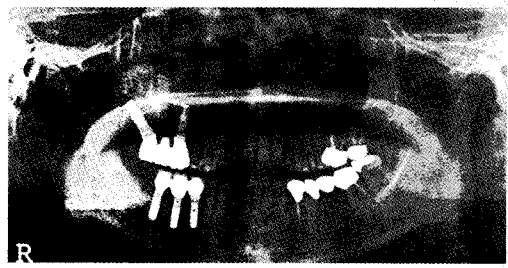
A



B



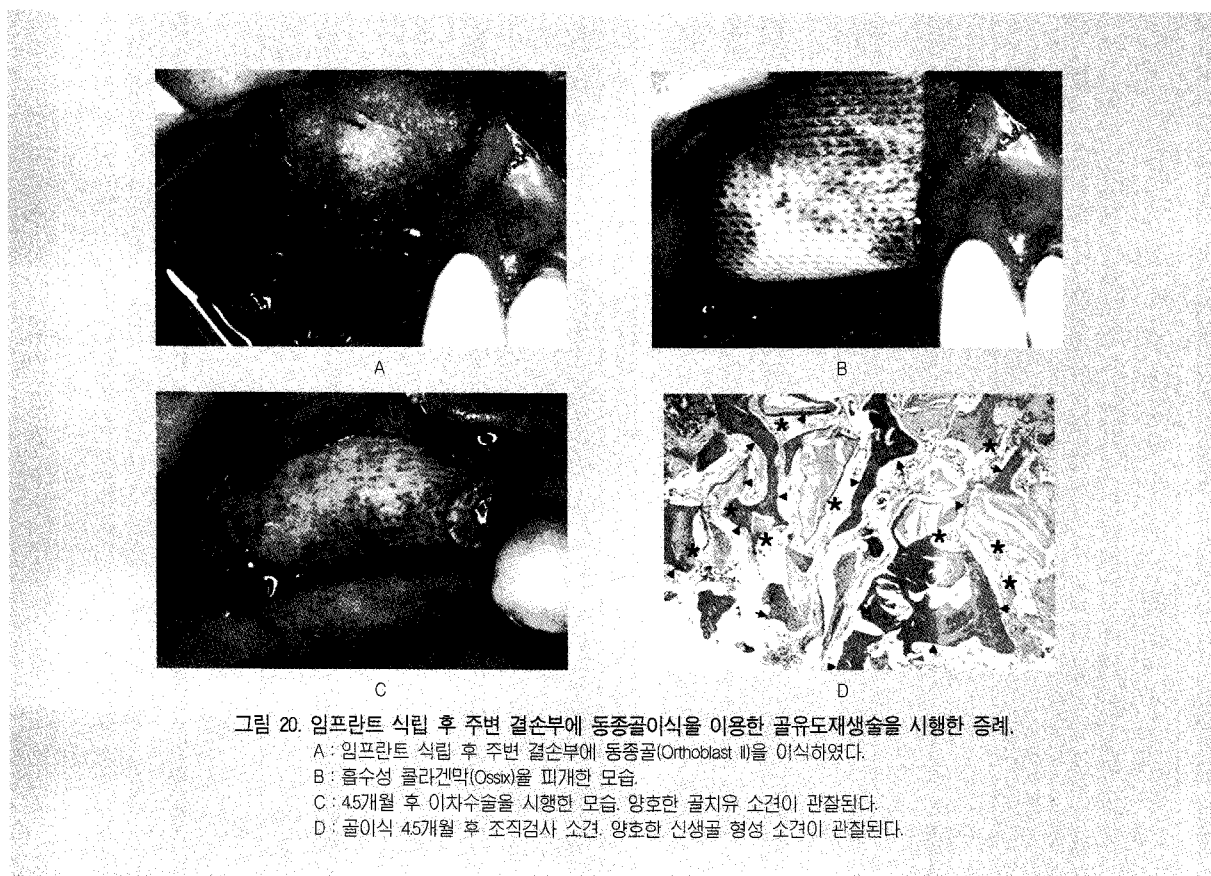
C



D

그림 19. 그림 18과 동일한 환자의 이차재건술 및 임플란트 치료 증례.

A: 하악골 상행지에서 채취한 자가골로 상악동골이식을 시행한 모습. B: 상악동골이식 후 파노라마 방사선 사진.
C: 상악동골이식 4개월 후 임플란트를 식립한 파노라마 방사선 사진. D: 최종 보철물 장착 1년 후 파노라마 방사선 사진.



조한 재료를 단독으로 사용하거나 동종골 혹은 자가골과 혼합하여 사용한다. 비분해성 재료는 Bioplant HTR(Sybron Kerr)이 해당된다.

III. 결 론

크기가 작은 낭종성 결손부, 골벽이 양호한 발치창, 상악동, 치조능 분할술 공간 등을 충전할 목적인 경우엔 어떠한 골이식재료를 사용하여도 무방하다(그림 17).

그러나 치조능증대술 등과 같이 생활력 있는 골조직

재건이 목적인 경우와 수용부의 상태가 불량한 경우엔 자가골이식이 필수적이다(그림 18, 19). 자가골 이식이 불가능한 경우엔 DBM 함량이 높은 동종골 선택이 추천되고 골전도능력만 보유한 이종골이나 합성골은 추천되지 않는다(그림 20). 실제 임상에서는 각각의 장점을 공유하기 위해 성분이 다른 2가지 골이식재료를 혼합하여 사용하는 경우가 많다. 혼합골이식을 시행할 때 자가골이 포함될수록 치유기간이 단축되고 양호한 골개조 현상을 보이는 것은 분명하다. 자가골 이외의 골대체재료를 단독으로 사용할 경우엔 골치유가 매우 늦기 때문에 충분한 치유기간을 부여해야 한다.

참 고 문 헌

1. Kim YK. Systematic classification and application of alloplastic bony substitutes and autogenous teeth bone graft material. *The J Kor Acad Implant Dent*. 2009; 28(2): 77-88.
2. 2009 Autumn Congress of The Korean Academy of Implant Dentistry. Symposium.
3. Min BM. *Oral Biochemistry*. Daehan Narae Pub Co. Seoul. 2007; 76-81.
4. Lee SH. Low Crystalline hydroxyl carbonate apatite. *J Korean Dent Assoc*. 2006; 44(9): 524-533.
5. 김형섭, 장윤혁, 이상훈 등. 아파타이트의 크기, 결정도 및 탄산기의 양이 골전도도에 미치는 영향. *한국생체재료학회지*. 2005; 9: 193-197.
6. 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 Jan 6. [Epub ahead of print]
7. Wilkins R, Kelly CM, Giusti DE. Bioassayed demineralized bone matrix and calcium sulfate: Use in bone grafting procedures. *Annales Chirurgiae et Gynaecologiae*. 1999; 88: 180-185.
8. Wilkins RM. Clinical effectiveness of demineralized bone matrix assayed in human cell culture. In *Advances in Tissue Banking*, Vol. 3 (G.O. Phillips, D.M. Strong, R. von Versen, A. Nather, eds) World Scientific Company, Singapore, 1999.
9. Kim YK, Kim SG, Lee BG. *Bone Graft and Implant*. Vol. 1. Bone biology and bone graft material. Narae Pub Co. Seoul. 2007; 28-33.
10. Kim YK, Lee JY. The evaluation of postoperative safety of autogenous teeth bone graft. *The J Kor Acad Implant Dent*. 2009; 28(2): 29-35.
11. Young-Kyun Kim, Hyo-Jung Lee, Su-Gwan Kim, In-Woong Um, Sunc-Chul Lim, Suk-Young Kim: Analysis of inorganic component and SEM analysis of autogenous teeth bone graft material and histomorphometric analysis after graft. *The J Korean Acad Implant Dent*. 2009; 28(1): 1-9.
12. Greenwald AS, Boden SD, Goldberg VM et al. Bone-graft substitutes: Facts, fictions & applications. *American Academy of Orthopaedics surgeons*. 70th Annual Meeting, Feb 5-9, 2003. New Orleans, Louisiana.
13. Laurencin CT. Bone graft substitute materials. *eMedicine Orthopedic Surg*. Dec 3, 2009; 1-22.
14. Jeong YM, Lee TH, Park JK et al. Bone Regeneration with Injectable MPEG-PCL Diblock Copolymer and Bone Marrow Mesenchymal Stem Cell. *J Korean Assoc Maxillofac Plast Reconstr Surg*. 2010; 32(1): 9-15.
15. Lee J, Sung HM, Jang JD et al. Successful reconstruction of 15cm segmental defects by bone marrow stem cells and resected autogenous bone graft in central hemangioma. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010; 68: 188-194.
16. Tadic D, Beckmann F, Donath T, Epple M. Comparison of different methods for the preparation of porous bone substitution materials and structural investigations by synchrotron u-computer tomography. *Mat.-wiss.u. Werkstofftech*. 2004; 35(4): 240-244.
17. Tadic D, Epple M. A through physicochemical characterization of 14 calcium phosphate-based bone substitution materials in comparison to natural bone. *Biomaterials*. 2004; 25: 987-994.