

Ceramic (Bioceramics)의 골 보진 (충진) 효과

연세대학교 의과대학 정형외과학교실

양규현 · 한대용 · 박희완 · 김학선 · 박성진 · 이동훈

- Abstract -

Effect of Glass Ceramic as Bone Filler

Kyu Hyun Yang, Dae Yong Han, Hee Wan Park, Hak Sun Kim,
Seong Jin Park, Dong Hoon Lee

Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University, College of Medicine, Seoul, Korea

We performed this study to evaluate the bioceramics as a bone graft substitute (bone filler). Thirty-seven patients, who needed autologous bone graft for the treatment of nonunion, traumatic arthritis, and spinal disorder, were divided into two groups. In group 1 (17 patients) donor site (harvest site) of the bone graft was filled with bone cement and in group 2 (20 patients), by ceramics. Clinical symptoms, such as inflammation, foreign body sensation, pain, and change of body image, were evaluated at 2, 4, and 6 months after operation. Radiologic union between bone filler and surrounding iliac bone was evaluated as percentage of united border per total contact surface at 2, 4, and 6 months after operation (score 0: 0~20%, 1: 20~40%, 2: 40~60%, 4: 60~80%, 5: 80~100%).

There was no difference in clinical symptoms between two groups at any time. Radiologic scores in group 1 (bone cement) were 2.53, 2.88, and 3.06 at postoperative 2, 4, and 6 months respectively. In group 2 (ceramics), radiologic scores were 3.3, 3.4, and 3.85 respectively. Scores of the group 2 were higher than those of group 1 at any time and conclusive it was statistically significant ($p=0.0461$). Ceramic showed better incorporation at the iliac crest when compared to bone cement.

Ceramic used in this study was glass ceramic. It is confirmed that this material is safe and effective as bone filler. To extend its indication to other orthopaedic fields, further clinical study will be necessary.

Key Words: Glass ceramics, Bone filler

서 론

골 이식술은 정형외과 영역에서 가장 많이 사용되는 술식이며 이중 자가골 이식술이 가장 효

과가 좋은 것으로 되어 있다. 하지만 자가골 이식술은 환자 자신의 뼈를 채취하기 때문에 이에 따른 합병증 또한 적지 않게 발생한다. 장골능에서 자가골을 채취할 때의 합병증으로는 외형의 변화, 심한 통증, 혈종과 감염, 주위 장골능의 골

*통신저자: Yang Kyu Hyun, Department of Orthopaedic Surgery, Youngdong Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, 146-92 Dogok-dong, Kangnam-ku, Seoul, Korea TEL: 02-3497-3410, FAX: 02-573-5393, E-mail: os3410@yumc.yonsei.ac.kr

절 및 신경 손상 등이 있으며, 이를 줄이기 위하여 골 대체물 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 까지 골 채취 후 공여부의 보진제로 골시멘트가 가장 널리 사용되어 왔으나 이는 뼈와 잘 유합되지 않는다는 단점을 갖고 있다.

생체 활성 세라믹인 하이드록시아파타이트는 무기물 중에서 골 조직과 가장 유사하고 뼈와 잘 유합하기 때문에 인공 관절 대치술이나 척추 유합술 등 여러 영역에서 자가골의 대체물로 사용 중이며 그 효과와 안전성 면에서 인정받음으로써 그 사용 영역도 점차 넓어지고 있다.

본 연구는 인체에서 세라믹의 골 보전 효과를 확인하기 위하여 장골능에서 삼면파질 자가골 채취 (tricortical auto-iliac bone harvest) 후 결손부를 세라믹의 블록으로 충진한 후, 이를 고식적인 치료 방법인 골시멘트 충진법과 비교하여 세라믹의 안전성 및 골과의 결합력을 조사하였다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

1997년 1월부터 1999년 1월까지 자가골 이식술이 필요한 환자 중 본 시험에 참여한 60례 중 추후 관찰이 선정 기준에 적합한 37례를 대상으로 하였다. 제 1군 (17명)은 자가골을 채취한 장골능에 고식적인 골시멘트 충진법을, 제 2군 (20명)은 세라믹을 이용하여 장골능 결손을 충진하였다.

환자의 선정 기준은 수술전 골다공증이 관찰되지 않는 (Singh index 4 이상) 만 20세에서 60세까지의 환자로 과거력 상 골관절 질환으로 스테로이드를 투약했거나, 다른 전신 질환 (심한 당뇨, 간 질환, 신장 질환 등), 대사성 내분비 질환 병력이 있는 환자와 병력을 얻기 어려운 환자를 제외하였다. 제 1군과 제 2군으로의 분류는 질환별 (척추 질환, 불유합 등), 나이별 (20세에서 35세, 36세에서 60세)로 무작위로 설정하였다. 추후 관찰시 (2, 4, 6개월) 2회 이상 임상 병리 검사나 방사선 검사를 받지 않았거나, 증상 검사를 시행하지 않은 환자는 제외하였다. 골 이식술을 요하는 피험자가 선정되면 제 1, 2군 공히 수술시 3~5 cm 길이의 자가골을 전상 장골극 후방 5 cm 되는 장골능에서 채취한 후 결손부를 각각 골시멘트 (제 1군)와 세라믹 (제 2군)으로 충진하고 봉합한 후 혈종 방지를 위하여 흡인 배농관을 사용하며 복근과 외전근의 건막을 단단히 봉합하여 달장 등의

합병증을 막았다. 모든 환자들에서 수술 후 매 2개월마다 6개월간 본원에 내원하거나 전화 상으로 임상적 증상 (외형의 변화, 염증의 유무, 장관 골 부위의 자각 증상, 수술 부위의 통증)을 조사하였고, 최소 2회 이상 본원에 내원하여 혈액 검사, 골 공여부에 대한 방사선 검사를 시행하여 골과 골 보진제간의 유합 관계를 추적하였다.

2. 평가 방법

1) 임상 증상

정상측 장골능에 비하여 외형의 변화, 국소 염증반응, 자각 증상, 가려움, 이물감 등이 있는지 각 시기별 (2, 4, 6개월)로 검사하며 평가하였다.

통증의 정도는 10 g의 추를 장골능 골편 채취부에 10 cm 높이에서 떨어뜨린 후 그 정도를 각 시기별 (2, 4, 6개월)로 기록하였다. 전혀 통증 없음 5점, 약간 아프다 4점, 많이 아프다 2점, 활동하기 어렵다 1점, 건드리기만 해도 아프다 0점으로 평가하였다.

2) 유합

골편을 채취한 장골능은 iliac wing view에서 관찰하여 골과 충진물 사이의 유합을 전체 경계부와 유합부와의 비율을 평가한 후 0~20% 유합 0점, 20~40% 유합 1점, 40~60% 유합 2점, 60~80% 유합 4점, 80%~100% 유합 5점으로 기록하였다.

3) 임상 병리 검사

일반 혈액 검사 (백혈구 수, 적혈구 침강 속도 (ESR), C-reactive protein (CRP)), 혈액 화학 검사 [칼슘 (Ca), 인 (P), aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALP), 혈중요소질산 (BUN), 혈중밀리루빈, 혈중당, 혈중알부민], 요 검사를 각 시기별 (2, 4, 6개월)로 검사하였다.

3. 통계학적 고찰 방법

임상 증상은 시기별로 Fisher's exact test를 시행하고, 통증과 유합의 정도는 repeated ANOVA test로 유의수준 0.05에서 두 군간에 통계학적 차이가 있는지를 평가하였다.

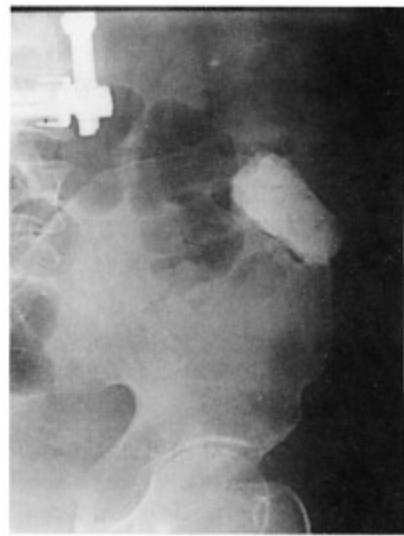
결과

1. 피시험자 분석

본 연구에 참석한 환자는 세라믹군이 36례, 시멘트군이 24례로 이중 선발 기준에 적합한 세라믹군 20례, 시멘트군 17례를 대상으로 하였다. 연



A



B

Figure 1. (A) Iliac wing view after bone grafting in ceramic groups and (B) in cement groups.

Table 1. Results of bony union in ceramic and cement groups

Months	Ceramic	Cement
2	3.30*	2.53
4	3.40	2.88
6	3.85	3.06

*Rate of bony union between bone and substitute.
5 point: 80~100%, 4 point: 60~80%, 2 point:
40~60%, 1 point: 20~40%, 0 point: < 20%
p value between ceramic and cement groups:
0.0461

령은 세라믹군이 평균 40.6세 (범위 26~57세), 시멘트군이 평균 37.1세 (범위 22~59세)였다. 성별은 세라믹군이 여자 4명, 남자 16명이었으며 시멘트군은 여자 6명, 남자 11명이었다.

질환별로는 세라믹군은 골절의 불유합으로 골이식술을 한 경우가 12명, 관절염으로 관절 고정술을 시행한 경우가 2명, 골절 치료를 위해 내고정 및 골 이식술을 시행한 경우가 3명, 비 감염성 척추 질환으로 전방 유합술을 시행한 경우 2명, 결핵성 척추염으로 전방 유합술을 시행한 경우 1명이었고 시멘트군에서는 척추 골절이 13례, 비 감염성 척추 질환이 3례, 결핵성 척추염이 1례로 모두 척추 전방 유합술을 시행하였다. 골 공여부의 크기는 세라믹군에서는 3x2 cm이 7례, 4x2 cm이 10례,

5x2 cm이 3례였으며 시멘트군에서는 평균 3.5x2 cm이었다.

2. 임상 시험 결과

외형의 변화는 세라믹군은 없었고 시멘트군은 3례에서 관찰되었으나 두 군 사이에 통계적 차이를 나타내지는 않았다 (2, 4, 6개월 p=0.088). 염증반응은 2개월째 세라믹군 1례, 시멘트군 2례에서 발생하였으며, 4, 6개월에서는 발생하지 않았다. 두 군 모두 척추 질환으로 수술한 환자에서 발생하였으며, 절개 배농술 및 정맥 내 항생제로 치료하였다. 3례 모두 표피 감염이었으며 골 보진제를 제거한 경우는 없었다. 두 군 사이에 통계적 차이는 없었다 (p=0.315). 가려움증은 세라믹군에서는 발생하지 않았으며, 시멘트군은 2개월에 1례에서 발생하였으며 4, 6개월에서는 전례에서 발생하지 않았다. 두 군 사이에서의 통계적 의미는 없었다 (p=0.204). 이물질감은 세라믹군에서는 1례에서 2, 4, 6개월에 모두 나타났으며, 시멘트군에서는 1례에서 2개월에 나타났다. 두 군 사이에 통계적 차이는 없었다 (p=0.584). 통통의 정도는 세라믹군에서는 2개월에 평균 4.55점, 4개월에 평균 4.75점, 6개월에 평균 4.9점이었고 시멘트군에서는 2개월에 평균 4.35점, 4개월에 평균 4.59점, 6개월에 평균 4.65점이었으며 두 군 사이에 통계적 차이는 없었다 (p=0.4801, Figure 1).

3. 골과의 유합 과정

골 유합의 정도는 세라믹군에서 2개월에 평균 3.30점, 4개월에 평균 3.40점, 6개월에 평균 3.85점이었고, 시멘트군에서는 2개월에 평균 2.53점, 4개월에 평균 2.88점, 6개월에 평균 3.06점이었으며 세라믹군에서 시멘트군보다 골과의 결합력이 좋은 것으로 나타났다 ($p=0.0461$, Table 1).

4. 임상 병리 검사

백혈구 수, 적혈구 침강 속도는 2, 4, 6개월에서 모두 정상 수치를 나타내었다. CRP는 1례에서 약간 증가하는 소견을 보였으나 임상적으로 세라믹이 보전된 부위에 이상소견은 발견되지 않았다. 모든 혈액 화학적 검사와 뇨 검사상 정상소견을 나타내었다.

고 찰

골 이식술은 정형외과 영역에서 가장 많이 이용되는 술식이며 자가골 골이식술이 가장 효과적이며 가장 많이 이용되어 진다. 자가골 이식술의 공여부로는 장골등과 비골이 가장 많이 사용되어 지는데, 이때 환자 자신의 뼈를 채취하므로 공여부에 합병증이 적지 않게 발생하여 이를 줄이기 위한 골 대체물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 주 합병증 (major complication)으로 골반 혈관의 위 동맥류 (pseudoaneurysm), 동정맥류 (arteriovenous problem), 골반의 불안정성, 전상장골극의 골절, 요관 손상, 탈장, 신경 손상 등과 부합병증 (minor complication)은 표피 신경 손상, 지속적 통증, 상처의 감염 및 혈종, 외형의 변화 등이 있으며, 전상장골극의 골절과 같은 주 합병증 (major complication)은 0.76%에서 25%, 지속적 통증과 같은 부 합병증 (minor complication)은 9.4%에서 24%로 많은 경우에서 나타난다고 하였다^{1,2,3}. Banwart 등은 장기간 추시 관찰중 환자들에게서 기능상에 문제가 되는 것은 부 합병증 중에서 특히 통증이라고 하였다². 이를 감소시키기 위해 골 공여부의 위치 선정을 정확히 해야 하며, 제한적 피부 절개 및 박리를 시행하여 피부 봉합시 긴장을 감소시키고, 결손부를 시멘트 등으로 채우는 방법 등이 이제까지 사용되어져 왔다.

현재까지 골 공여부의 충진제로 사용된 시멘트는 polymethylmethacrylate (PMMA)로 구성되어 있

으며, 가루 상태로 제조되어 사용시 액체 상태의 methylmethacrylate (MMA)를 혼합하여 반고체 상태로 생체 내 삽입되어 체내에서 굳어지게 된다. 이 과정 중 액체 상태의 MMA가 체내에 흡수되게 되며 굳어지는 동안 열이 발생한다. MMA의 체내 흡수로 지방 색전증, 공기 색전증, 골수 색전증, 말초 혈관의 팽창, MMA의 직접적 심혈관계 압박 등을 유발되어^{4,5} 경도에서 중등도의 심혈관계 저하가 올 수 있다. 또한 굳는 동안 열이 발생하여 골과의 접합부에서 괴사를 유발시켜 치유에 약 3주에서 2년이 걸리는 것으로 되어 있다⁶. Pople 등은 시멘트를 사용시 32%에서 일시적으로 간 효소 수치가 증가하였다고 보고하였으나⁷ 본 연구에서는 간 효소 수치의 증가는 관찰되지 않았다. 시멘트는 골과 기계적 결합을 하며 화학 결합은 하지 않는 것으로 되어 있다. 삽입 도중 분리된 미세 시멘트 조각은 골과의 접촉면에서 만성 염증과 육아종 (granuloma)을 유발하여 주변 골을 용해시키고 골과 시멘트의 해리를 유발한다^{8,9}. 또한 Lazarus 등은 동물 실험에서 시멘트에 섞여 있는 barium sulfate는 염증반응을 더욱 증가시킨다고 하였다¹⁰. 본 연구에서 시멘트군 중 세 환자에서 처음 2개월에 골과 시멘트 사이에 결합이 없었으며, 한 환자에서는 6개월까지 전혀 골과의 결합을 보이지 않았다. 시멘트는 손으로 성형하므로 모양이 일정치 않으며 반고체 상태로 삽입하므로 굳는 동안 모양의 변형이 올 수 있다. 본 연구에서 시멘트를 사용한 세명의 환자에서 공여부의 외형의 변화를 호소하였는데 이는 시멘트의 모양의 변화에 의한 것으로 사료된다. 시멘트 사용의 또 하나의 단점은 수술 시간의 연장이다. PMMA 가루와 액체 MMA를 준비하고 혼합하는 시간과 반고체 상태의 시멘트가 완전히 굳을 때 까지 최소 10~15분을 요하며 이 시간 동안에는 저혈압 등의 합병증이 빈번히 보고되고 있기 때문에 환자의 상태를 면밀히 관찰해야 한다.

골 대체제로써의 세라믹은 생체 조직과 화학 결합을 이루는 여부에 의하여 알루미나 (Al_2O_3)나 질리코아 (ZrO_2)와 같은 생체 불활성 세라믹스와 Bioglass, Ceravital, AW-GC, 하이드록시아파타이트와 같은 생체 활성 세라믹스로 나눌 수 있다. 세라믹의 골과의 결합력과 인체 내 유해성에 대해서는 이제까지 많은 연구가 되어졌다. 생체 활성 세라믹스는 생체 내에서 부분적으로 녹아 그 표면의 칼슘 이온과 인산 이온이 풍부한 아파타이

트층을 이루므로 골과 화학 결합을 이루어 안전적이고 기계적 강도가 높은 결합면을 만들 수 있고^{11,12)} 150~500 micrometer의 다공성 공간으로 이루어져 골 조직의 침투가 좋으며¹³⁾, 생체 내에서 거부 반응이 없어 염증반응이 일어나지 않고, 화학적으로도 안정화되어 있어 인체 내 독성이 없다고 보고되고 있다^{13,14)}. Heise 등은 골 대체물로 씨의 하이드록시아파타이트 세라믹은 생체 부적 합성 및 거부 반응이 없었으며 임상적으로나 방사선학적으로 자가골과 유사한 결과를 보인다고 하였고¹⁴⁾ Ransford 등은 척추 측만증 수술에서 다공성 세라믹과 자가골을 이용시 두 군 사이의 교정각의 정도나 통증의 정도에서 큰 차이가 없다고 하였으며 세라믹에 의한 부작용이나 특이 반응, 혈액 검사상의 이상 등이 없었다고 하였다¹⁵⁾. 또한 Gouin 등은 biphasic macroporous calcium phosphate ceramic을 이용한 골 결손부의 치료에서 임상적, 방사선적, 조직학적 이상이 없었으며 기계적 성상이 떨어지기는 하지만 좋은 임상 및 방사선적 결과를 보여준다고 하였다¹⁶⁾.

금번 연구에 사용된 세라믹의 화학명은 apatite-wollastonite glass ceramics (AW-GC, 상품명 Glamic Bone)으로서 SiO_2 36.81 wt%, CaO 49.41 wt%, P_2O_5 8.78 wt%, MgO 5.00%, CaF_2 0.56 wt%로 조성되어 있다. 본 AW-GC는 1980년 Kokubo 등에 의해 개발되었으며, 안정성은 인공골용 bioceramics 개발 최종 보고서 (상공자원부, 1993. 12 대외비 분류)에서 인정되었다. Nakamura 등은 AW-GC는 삽입 후 8~12주에 숙주골과 화학적 결합을 이루어 이는 초기 2개월에서 현저히 증가하다가 이후 1년 간 서서히 증가한다고 하였으며¹⁷⁾ Matsuda 등은 인장 실험 결과 3~6개월에서는 그 접촉면에서 골절이 일어났지만 12개월에서는 골쪽에서 골절이 일어나는 강한 접촉력을 보인다고 하였다¹⁸⁾. Yamamuro 등은 AW-GC를 이용하여 척추 재건술을 시행시 높은 안정성과 골 유합을 얻었고 전신적 또는 국소적 부작용이 없었으며 혈액 검사상 이상이 없다고 하였다¹⁹⁾. 본 실험에서도 세라믹군에서는 전 환자에서 정도의 차이는 있었으나 골과의 결합이 이루어졌고 시멘트군과는 골 결합력에서는 통계적 차이를 나타냈다 ($p=0.0461$). 이는 세라믹이 골의 침투가 용이하며 골과 화학적 결합을 이루어 시멘트보다 더 강한 결합을 나타낸 것으로 보인다.

본 연구에서 세라믹군과 시멘트군 사이에서 함

병증에 의한 임상 증상 발생 (외형의 변화, 통증, 염증, 이물감, 가려움증)에 차이는 없었으나 시멘트군에서 세라믹군보다 주관적 증상의 발현율이 높았다. 시멘트를 사용한 3례에서 외형의 변화를 호소하였는데 이는 처음 시멘트를 골 공여부보다 크거나 작게 성형하였거나, 시멘트가 굳는 과정에서 그 모양이 변화하여 발생한 것으로 생각된다. 세라믹군에서 1례, 시멘트군 3례에서 초기 2개월에 염증반응을 보였으나 방사선 사진 상 대체물의 해리나 전이는 없었다. 이는 대체물에 의한 부작용이기 보다 수술 후 상처 처치의 부주의에 의한 것으로 생각된다. 통증 수치는 두 군 사이에 통계적 차이는 없었으며 모두 좋은 결과를 나타내었는데 이로 보아 통증은 대체물의 종류에 의해서가 아닌 수술적 수기에 의해서 발생하는 것으로 추정된다. 세라믹군은 일반 혈액 검사, 혈청 생화학 검사, 요 검사상 모두 정상을 나타내어 안정성에는 문제가 없을 것으로 생각된다. AW-GC는 취성의 문제가 단점으로 알려져 왔으나, 체중부하가 없는 생체 내에서는 기계적 강도의 감소가 없다고 하였다¹²⁾. 본 연구에서 세라믹 사용시 보진제의 손상은 보이지 않았다. 본 연구는 골편 채취 공여부에 세라믹의 충진 효과에 대하여 연구하였으며 세라믹과 주변 골간에 좋은 결합력을 나타내었으며 향후 타조직 수술 (골 유합술, 골이식술 등)에도 그 적용성이 확대될 것으로 기대된다.

결 론

본 연구에서 세라믹을 골 이식술 후 그 공여부에 골 보진제로 사용하여 임상 시험 결과 우수한 결과를 나타냈고 방사선 검사상 시멘트 충진군과 비교하여 장골과의 친화력이 강하고 골과의 결합율이 통계학적으로 유의하게 높았으며 인체에 유해한지 여부에 대하여 조사한 일반 혈액, 간 기능 및 요 검사상 모두 이상소견이 관찰되지 않았다. 본 임상 시험 결과로 세라믹은 인체에 무해하고 골 친화력이 강한 골 보진제로서 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료되며, 골 이식의 공여부의 보진제로서 뿐만 아니라 골 결손부를 보진하고, 골 유합을 유도하는 중요한 골 대체제 물질로 발전할 것이 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) Arrington ED, Smith WJ, Chambers HG, Bucknell AL and Davino NA. *Complication of iliac crest bone graft harvesting.* Clin Orthop 329: 300-309, 1996
- 2) Banart JC, Asher MA and Hassanein RS. *Iliac crest bone graft harvest donor site morbidity. A statistical evaluation.* Spine 20(9): 1055-1060, 1995
- 3) James AG, Laura ES, Gregory LD and Mary Lou VH. *Autogenous iliac crest bone graft. Complication and functional assessment.* Clin Orthop 339: 76-81, 1997
- 4) Pinto PW. *Cardiovascular collapse associated with the use of methylmethacrylate.* AANA Journal 61(6): 613-616, 1993
- 5) Svartling N, Lehtinen AM and Tarkkanen L. *The effect of anesthesia on changes in blood pressure and plasma cortisol levels induced by cementation with methylmethacrylate.* Acta Anesthesiol Scand 30(3): 247-252, 1986
- 6) Morberg B, Pettersson H, Rosenqvist R and Rydholm A. *Bone cement, thermal injury and the radiolucent zone.* Acta Orthop Scand 55(6): 597-600, 1984
- 7) Pople IK and Philips H. *Bone cement and the liver. A dose-related effect?* J Bone Joint Surg Br 70(3): 364-366, 1998
- 8) Maguire JK, Coscia MF and Lynch MH. *Foreign body reaction to polymeric debris following total hip arthroplasty.* Clin Orthop 216: 213-223, 1987
- 9) Willert HG, Bertram H and Buchhorn GH. *Osteolysis in alloarthroplasty of the hip. The role of bone cement fragmentation.* Clin Orthop 258: 108-121, 1990
- 10) Lazarus MD, Cuckler JM, Schumacher HR Jr., Ducheyne P and Baker DG. *Comparison of the inflammatory response to particulate polymethylmethacrylate debris with and without barium sulfate.* J Orthop Res 12(4): 532-41, 1994
- 11) Barbara D, Erez D, Todd AK and Zvi S. *Bone graft substitutes. Current Opinion in Orthopaedics* 8: 86-92, 1997
- 12) Kitsugi T, Yamamuro T and Nakamura T. *Aging test and dynamic fatigue test of apatite-walastonite-containing glass-ceramics and dense hydroxyapatite.* J Biomed Mater Res 21: 467-484, 1987
- 13) Joseph ML and Mathias PGB. *Bone grafting and new composite biosynthetic graft materials.* AAOS Instructional Course Lectures 47: 525-534, 1998
- 14) Heise U, Osborn JF and Duwe F. *Hydroxyapatite ceramic as a bone substitute.* Int Orthop 14(3): 329-338, 1998
- 15) Ransford AO, Morley T, Edgar MA, et al. *Synthetic porous ceramic compared with autograft in scoliotic surgery. A prospective, randomized study of 341 patients.* J Bone Joint Surg Br 80(1): 13-18, 1998
- 16) Gouin F, Delecrin J, Passuti N, Touchais S, Poirier P and Bainvel JV. *Filling of bone defects using biphasic macroporous calcium phosphate ceramic. Apropos of 23 cases.* Rev Chir Orthop Repar 1 App Mot 81(1): 56-65, 1995
- 17) Nakamura T, Yamamuro T and Higashi S. *A new glass-ceramic for bone replacement. Evaluation of its bonding to bone tissue.* J Biomed Mater Res 19: 685-698, 1985
- 18) Matsuda Y, Yamamuro T, Okumura H, Ito K and Nakamura T. *Glass ceramic augmentation of the acetabulum. Total hip arthroplasties in 24dogs.* Acta Orthop Scand 64: 277-281, 1993
- 19) Yamamuro T and Shimizu K. *Clinical application of AW glass ceramic prosthesis in spinal surgery.* J of Japan Orthop Ass 68(7): 505-515, 1994