

## 두개골 흡수에 있어서 경막과 두개골막이 미치는 영향

배익현 · 정승문

고신대학교 복음병원 성형외과학교실

### Contribution of the Dura & the Pericranium in Absorption of Cranial Bone

Ick Hyun Bae, M.D., Seung Moon Chung, M.D.

Department of Plastic and Reconstructive Surgery, College of Medicine, Kosin University, Busan, Korea

Many craniofacial and neurosurgical procedures rely on cranial bone as a bone graft. In the majority of instances, the bone heals and gives good results. But we found that if either the dura or the pericranium were missing adjacent to the cranial bone, bone absorption would be increased. We studied a single animal model, investigating the contribution of the dura and the pericranium in the process of cranial bone absorption. The animals were divided into four groups of each five animals depending on the differential blockade of the dura and/or the pericranium by silastic sheet. Bilateral 100-mm<sup>2</sup>, parietal bone flaps were harvested from mature rabbits. Animals were humanely killed after 12 weeks, and histomorphometric analysis was performed. The volume maintenance is as follows; Group I; 89.0%, Group II; 80.0%, Group III; 63.3%, Group IV; 52.4%. The weight maintenance; Group I; 87.1%, Group II; 79.4%, Group III; 61.6%, Group IV; 51.1%. The histological contribution of living bone; Group I; 92.9%, Group II; 85.6%, Group III; 71.1%, Group IV; 56.2%. Significantly increased bone absorption occurred in Group II, III, IV compared with Group I. Conclusions are: 1. Cranial bone absorption is effected by both the dura and the pericranium. 2. The dura is more important than the pericranium in preventing cranial bone absorption. 3. The dura to be the source of central cranial bone and

the pericranium to be the source of peripheral cranial bone.

**Key Words:** Cranial bone, Dura, Pericranium, Absorption

### 1. 서 론

많은 두개안면 수술과 신경외과 수술에 있어서 두개골은 골이식(bone graft)의 형태로 사용되어진다. 두개골 조기 유합증 치료의 경우 분리된 두개골은 다듬어진 후 골이식의 형태로 재 위치하게 되고 뇌종양의 경우에는 병변으로의 접근을 위해 두개골을 떼어낸 후 종양을 제거한 뒤 다시 골이식의 형태로 고정한다. 이러한 시술 후에 대부분의 두개골은 치유되고 만족할만한 결과를 준다. 하지만 수술 후 추적관찰을 위해 촬영한 엑스선이나 컴퓨터사진 상 정도의 차이는 있지만 두개골에 흡수가 일어난 경우를 볼 수 있고, 이러한 두개골의 흡수가 두개골막이 없는 경우나 경막과 두개골과의 교통이 차단된 환자에서 일어난다는 사실을 알게 되었다. 예를 들어 두개 저에 발생한 종양의 제거 후 두개내외로의 교통을 차단하기 위해 두개골막을 사용하여 두개골에 골막이 없는 경우나 뇌수막종(meningioma)과 같은 경막을 침범한 뇌종양 수술시 경막을 제거하고 인공경막으로 대체하였거나 경막과 두개골과의 접촉이 차단된 경우 등에 두개골의 흡수가 일어났다. 이식된 골이 생존하려면 먼저 수혜부의 혈행이 적당해야 이식골 표면의 골세포를 살릴 수 있으며, 이식골과 수혜골의 접합이 이루어져야 포행성 대치(creeping substitution)가 도모되며, 이식골이 치유기간 동안 견고히 고정되어 있어야 골전도(osteoconduction)에 의한 골의 내성장(ingrowth)이 일어나며, 이식골은 감염이 없는 건강한 연조직 아래에 이식해야 한다.<sup>1</sup> Thompson 등<sup>2</sup>과 Knize 등<sup>3</sup>은 장골이식시 골막을 붙여 둔 것이 골막을 벗겨버린 것보다 생존이 더 좋다고 하였고 Hobar 등<sup>4</sup>은 두개골 흡수에 있어서 경막의 중요성에 대해 소개한 바 있다. 하지만, 미성숙한 경막이 신생골의 형성에 중요한 역할을 한다는 많은 연구 보고가 있지만 성숙한 경막이 두개골 이식시에 미치는 영향에 대해서는 많이 알려져 있지 않다.

Received June 1, 2005  
Revised October 17, 2005

**Address Correspondence:** Seung Moon Chung, M.D., Department of Plastic and Reconstructive Surgery, College of Medicine, Kosin University, 34 Amnam-dong, Seo-gu, Busan 602-702, Korea. Tel: (051) 990-6131 / Fax: (051) 990-3043 / E-mail: smchung@ns.kosinmed.or.kr

\* 본 논문은 고신대학교 의학부 연구비 일부지원으로 이루어졌음.

\* 본 논문은 제 56차 대한성형외과학회 춘계학술대회에서 구연 발표되었음.

따라서 저자들은 성숙한 뉴질랜드산 흰토끼에서 두개골 판을 떼어내 아무런 조치도 취하지 않은 경우, 실라스틱 시트를 붙여 두개골막과의 접촉을 차단한 경우, 경막과 접촉을 차단한 경우, 골막과 경막 모두 차단한 경우로 나누어 유리골의 형태로 이식한 경우에 골흡수와 골생존에 어떤 차이가 있는지 알아보고 실제 임상에 적용하여 수술 후 생길 수 있는 두개골 흡수와 이로 인한 합병증을 줄이고자 이 연구를 시행하게 되었다.

**II. 재료 및 방법**

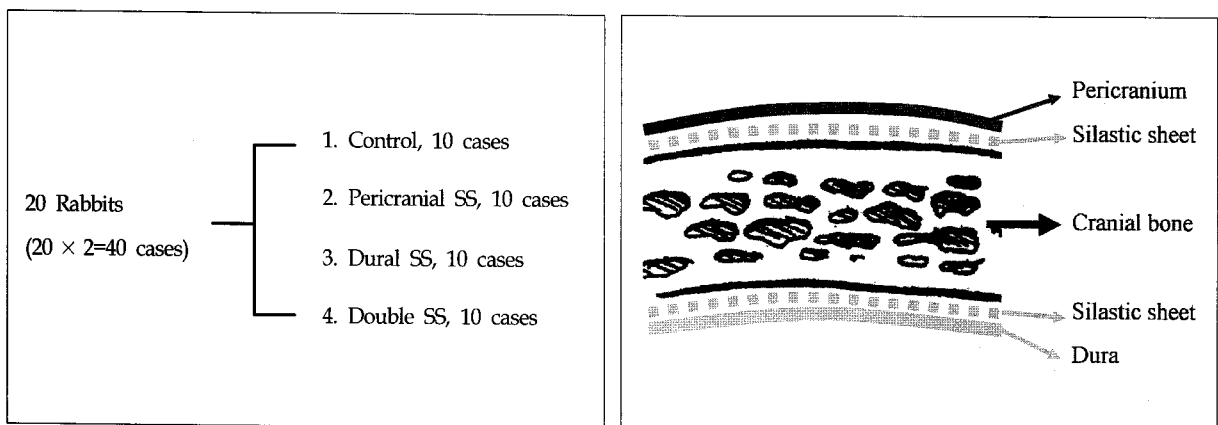
**가. 재료 및 실험고안**

두개골이 완전히 성숙한 8개월에서 12개월 사이(3-4 kg)의 뉴질랜드 산 흰토끼 20마리(총 40례)를 실라스틱 시트를 붙여 골편의 혈행을 차단하는 부위에 따라 다음과 같이 4군으로 나누었다. 제 1군은 두개골의 양측에 아무런 조치도 하지 않은 군(10례), 제 2군은 두개골의 골막측에 실라스틱 시트를 붙여 골막과의 접촉을 차단한 군(10

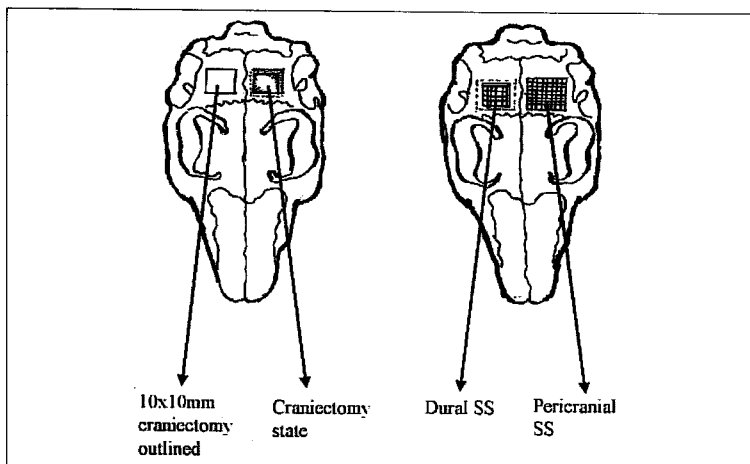
례), 제 3군은 두개골의 경막측과 접촉을 차단한 군(10례), 제 4군은 두개골의 골막측과 경막측 각각 실라스틱 시트를 붙여 양측 모두의 접촉을 차단한 군(10례)으로 하였다 (Fig. 1, 2). 모든 토끼는 같은 사육사로부터 제공받았고 암수구별 없이 사용하였으며 사료와 생활조건을 일정하게 하였다. 전신마취 중이나 술후 사육 중 사망한 동물과 수술부위가 육안적 감염소견을 보인 동물은 실험대상에서 제외하였으며, 모든 동물실험과 측정은 오차를 최대한 줄이기 위해 한사람이 시술하였다.

**나. 수술방법**

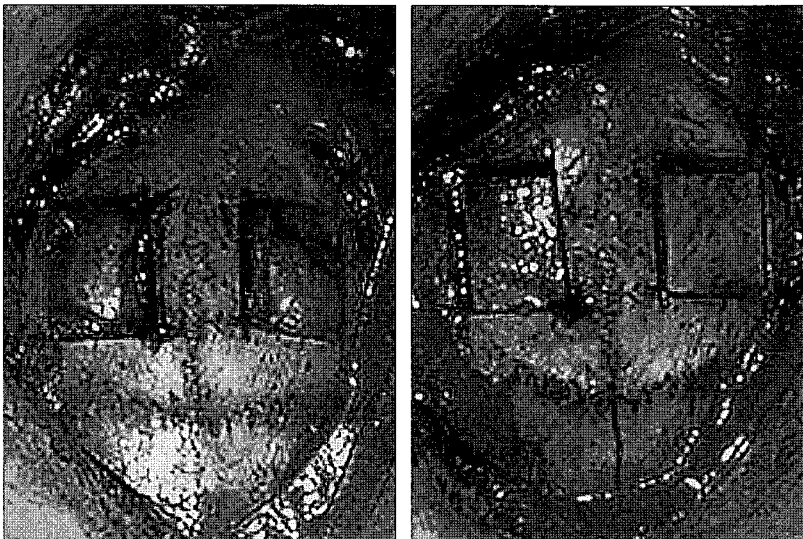
먼저 ketamine(35 mg/kg)와 xylazine(0.2 - 0.5 mg/kg)을 사용하여 근육마취(intramuscular anesthesia)를 한 다음 앙와위(supine position)로 사지를 틀어 고정하였다. 마취를 더 유지하고자 할 때는 ketamine(15 mg/kg)을 추가로 근육주사 하였다. 두개부의 모발을 깎고 샴푸로 세발한 뒤 포비돈 용액(povidone-iodine solution)으로 소독한 다음 두개부만 노출되도록 멸균처리된 포로 덮고 무균상태에서



**Fig. 1.** (Left) Experimental study design. SS; silastic sheet. (Right) Schematic representation of cross section of calvarial bone with silastic sheet placement.



**Fig. 2.** Experimentally created craniectomy site. (Left) Schematic representation of a 10 × 10 mm parietal calvaricectomy with preservation of underlying dura. (Right) Membrane placement. Bilateral parietal craniectomy with exclusion of the dura and the pericranium by expanded silastic sheet membranes.



**Fig. 3.** Experimentally created craniectomy state. (Left) Intra operative view of a 10 × 10 mm parietal craniectomy with preservation of underlying dura. (Right) Craniectomized bone was replaced.

수술하였다. 두피에(1% xylocaine with 1:100,000 epinephrine)을 피하주사하여 국소마취를 한 후 따뜻한 담요로 토끼몸을 덮어 수술시간 동안 몸의 온도를 38°C로 유지하였다. 양측 이개 사이의 정중선을 따라 두개골의 전후면에 시상절개(midsagittal incision)를 가하고 두개골막을 두피에 포함시켜 바깥쪽으로 박리하여 두정골을 노출시켰다. 진동톱(oscillating saw)을 이용하여 양측 두정골에서 경막과 뇌에 손상을 주지 않고 각각 100 mm<sup>2</sup>(10 × 10 mm)크기의 정사각형모양으로 두정부 두개절골술(parietal craniectomy)을 양쪽에 시행한 다음 절골도(osteotome)를 이용해 절골된 두개골전층을 떼어내어 골편의 길이, 폭 두께를 micrometer로 측정하여 부피를 산출하고 무게를 측정하였다(Fig. 3, Left). 부피와 무게를 측정한 뒤 분류된 군에 따라 0.1 mm의 실라스틱 시트(silastic sheet)를 붙인 후 떼어낸 두개골을 재위치 시키고(Fig. 3, Right) 골막은 vicryl 4-0으로, 두피는 nylon 4-0으로 봉합했다. 감염 방지를 위해 술후 7일 동안 penicillin G 60만 단위를 매일 근육주사하였다.

#### 다. 관찰 및 분석 방법

술후 12주 후 pentothal sodium을 과다 주입하여 죽인 후, 모든 연부조직을 두개골로부터 박리하고 진동톱과 절골도로써 표본을 채취한 후 다음과 같은 방법으로 관찰하였다.

##### 1) 육안적 관찰

우선 각 군별로 떼어낸 골편의 길이, 폭 두께를 micrometer로 측정하여 부피를 산출하고 무게를 측정하여 흡수되기전과 비교하였고 골편을 Sony DSC-S85 digital camera로 촬영한 후 컴퓨터에 옮겨서 확대시킨 다음 흡수된

부분을 중심부와 가장자리로 나누어 비교하였다.

##### 2) 조직학적 검사

표본을 10% formalin solution으로 고정시키고 formic acid로 탈회(decalfied) 시킨 후 paraffin으로 포매하고 5- $\mu$ m 두께의 절편으로 잘라 H-E염색을 하였다. 조직학적 검사로는 두개골의 흡수 및 재생정도, 골세포(osteocyte)와 골아세포(osteoblast)의 생존을 관찰하였다. 각 군간의 이식한 골의 생존 차이를 관찰하기 위해 각 표본의 4부위를 무작위로 추출하여 만든 슬라이드를 200배로 확대하여 스캔한 다음 가로 세로 5칸의 25개의 직사각형으로 나누어 각 사각형내의 생존한 골과 죽은 골을 세어 각 군을 비교하였다(Fig. 4). 골세포(lacuna)에 정상 골세포가 있거나 골소주(trabecula) 주위에 골아세포 및 파골세포(osteoclast)가 있으면 생존한 골이고 골세포가 비어 있거나 골아세포 및 파골세포가 없는 부위는 죽은 골로서 인정하였다.

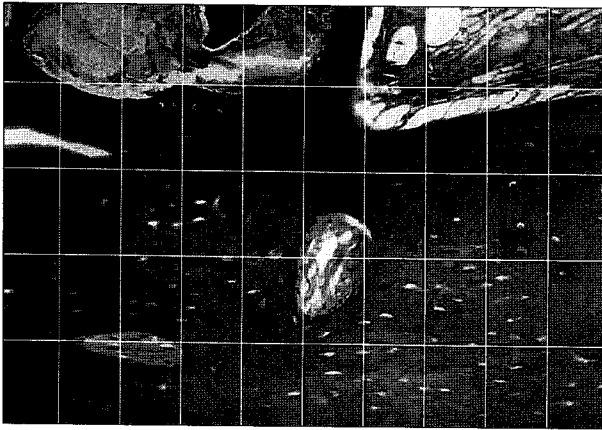
##### 라. 통계방법

통계적 방법으로는 SPSS version 10.0을 이용하였으며 통계적 유의성을 Kruskal Wallis로 test하였고 각군의 결과를 Mann whitney test를 이용하여 서로 검증하였으며, 유의수준은 1%이하로 하였다.

### III. 결 과

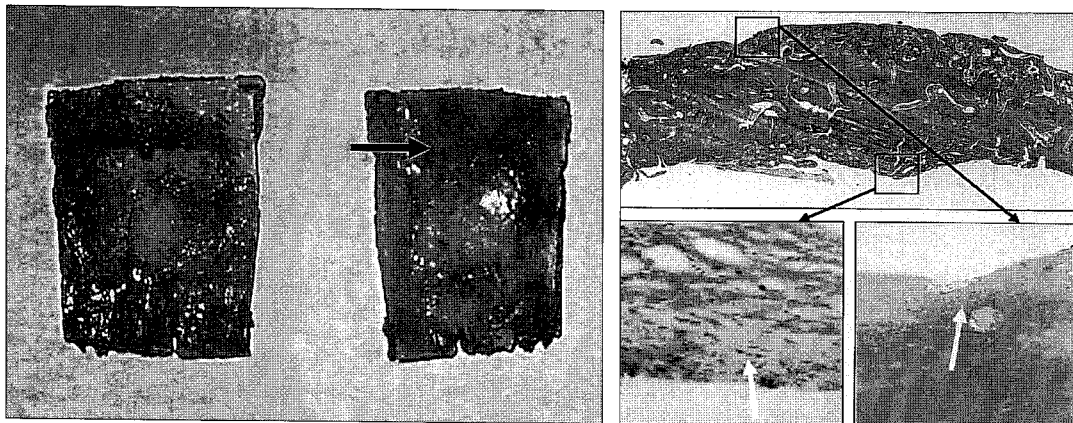
#### 가. 두개골의 부피와 무게의 변화

제 1군에서는 육안적으로 볼 때 골이 흡수된 모습을 관찰하기 어려웠으나 확대사진 상 양측 모두에서 흡수가 일어난 소견을 보였다(Fig. 5, Left). 제 2군의 경우에는 경

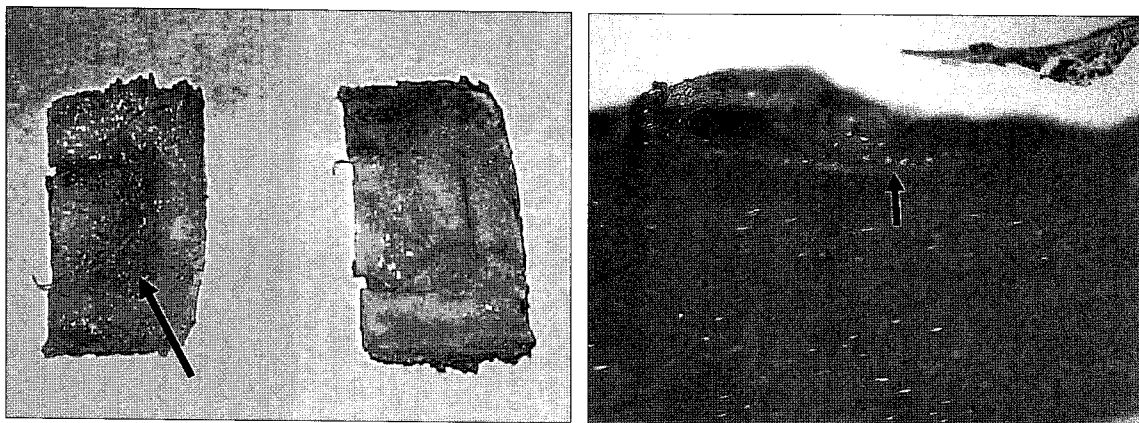


**Fig. 4.** Histomorphometric analysis of bone utilizing point-counting technique. Four random intersections of bone, and total score of living bone expressed as a percentage of each (hematoxylin and eosin stain,  $\times 200$ ).

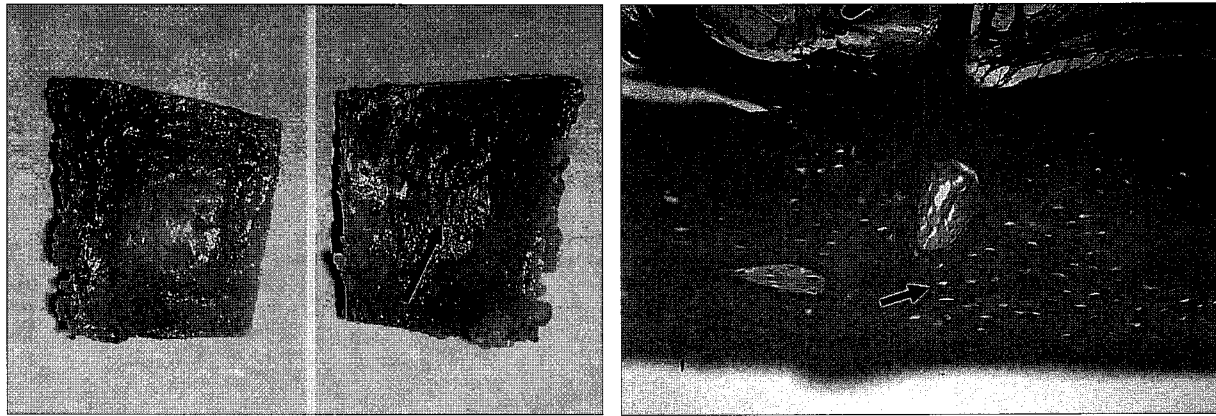
막측에 비해 골막측의 골흡수가 뚜렷하게 관찰되었으며 주로 가장자리에서 흡수가 일어났고(Fig. 6, Left) 제 3군은 경막측의 골흡수가 두드러지며 주로 골의 중심부를 중심으로 흡수가 일어난 소견을 보였다(Fig. 7, Left). 제 4군은 골막측과 경막측 모두에서 일어난 현저한 골흡수로 인해 골편의 두께가 아주 얇아졌으며 골막측은 가장자리, 경막측은 중심부에서 주로 흡수가 일어난 모습을 볼 수 있다(Fig. 8, Left). 남아있는 두개골의 부피는 제 1군이 89.0%, 제 2군이 80.0%, 제 3군이 63.3%, 제 4군이 52.4%로서 대조군인 1군과 비교할 때 2, 3, 4군 모두에서 유의성있는 부피의 감소가 있었고 골막측만 차단한 2군에 비해 경막측을 차단한 3군에서, 3군에 비해 4군에서 부피의 감소가 더 많았으며 통계적으로 유의하였다( $p < 0.01$ ).



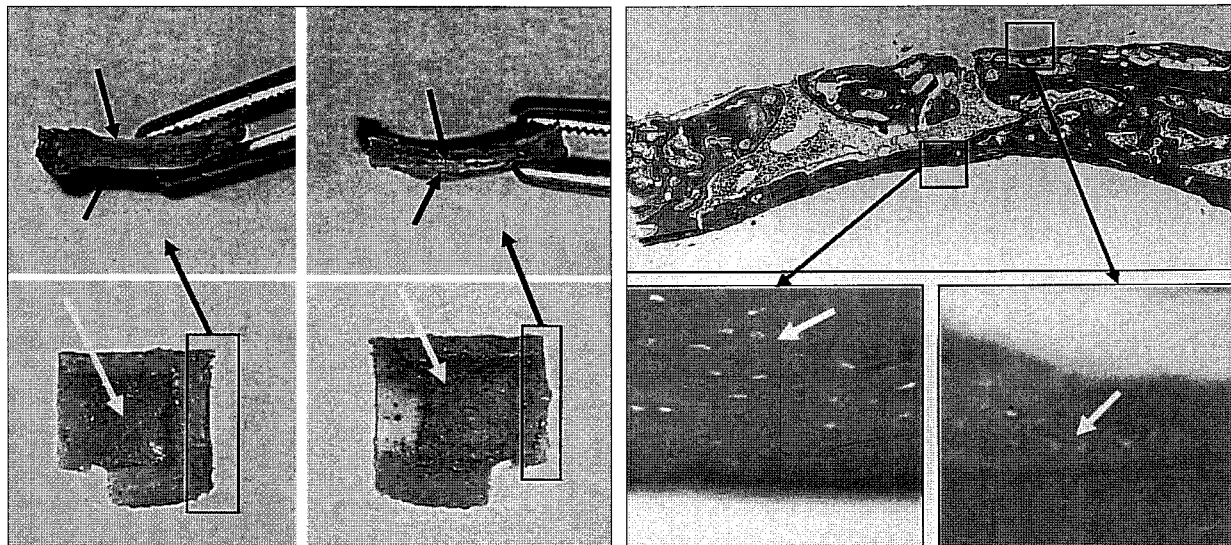
**Fig. 5.** Cranial bone harvested from control group. (Left) Note minimal absorption on periosteal surface & dural surface. (Right) Living osteocytes in lacunae are apparent on periosteal and dural side(arrow)(hematoxylin and eosin stain,  $\times 200$ ).



**Fig. 6.** Cranial bone harvested from Group II. (Left) Note absorption occurred on periosteal surface compared with dural surface(arrow). (Right) Empty lacunae with limited osteoblastic proliferation are noted on periosteal side(arrow) (hematoxylin and eosin stain,  $\times 200$ ).



**Fig. 7.** Cranial bone harvested from Group III. (Left) Note abundant absorption on central portion of dural surface (arrow). (Right) Near total empty lacunae are apparent(arrow) (hematoxylin and eosin stain,  $\times 200$ ).



**Fig. 8.** Cranial bone harvested from Group IV. (Left) Note absorption occur on periphery of cranial bone at periosteal surface(white arrow). (Center) In dural surface absorption occur on central portion of calvarial bone(white arrow). (Right) Empty lacunae are apparent on both periosteal & dural side(white arrows)(hematoxylin and eosin stain,  $\times 200$ ).

**Table I.** Changes in Volume and Weight

	Group I	Group II	Group III	Group IV	p-value*
Volume	89.0 $\pm$ 1.69	80.0 $\pm$ 7.27	63.3 $\pm$ 3.59	52.4 $\pm$ 5.68	< 0.01
M <sup>†</sup>	a	b	c	d	
Weight	87.1 $\pm$ 1.72	79.4 $\pm$ 1.83	61.6 $\pm$ 1.95	51.1 $\pm$ 4.20	< 0.01
M <sup>†</sup>	a	b	c	d	

\*; Statistical significances were tested by Kruskal-wallis test among group(p<0.01).

†; The same letters indicate non-significant difference between groups based on Mann-whitney test.

**Table II.** Histological Contribution of Living Bone

	Group I	Group II	Group III	Group IV	p-value*
Total bone alive	92.9 ± 3.60	85.6 ± 5.48	71.1 ± 15.9	56.2 ± 9.54	< 0.01
M <sup>†</sup>	a	b	c	d	

\*; Statistical significances were tested by Kruskal-wallis test among group.(p<0.01)

†; The same letters indicate non-significant difference between groups based on Mann-whitney test.

두개골의 무게의 변화는 제 1군이 87.1%, 제 2군이 79.4%, 제 3군이 61.6%, 제 4군이 51.1%으로 나타났으며 1군에 비해 나머지군들에서 유의성있는 무게의 감소가 있었고 2군에 비해 3군에서, 3군에 비해 4군에서 무게의 감소가 더 많았고 통계적으로 유의하였다(Table I). 두개골의 무게의 변화는 부피에 비해 더 크게 나타났다.

**나. 조직학적 소견**

제 1군은 두개골의 양측에 아무런 조치도 취하지 않은 군으로 양측 모두에서 대부분의 골세포 내에 살아있는 골세포가 관찰되며 골흡수로 인한 소공 변연부에 골아세포의 증식이 있었다(Fig. 5, Right). 조직학적 골생존률은 92.9%로 나타났다.

제 2군은 골막과의 접촉을 차단한 군으로 두개골 골막측의 골세포내에 살아있는 골세포가 잘 관찰되지 않았으며 1군에 비해 골흡수로 인한 소공 변연부의 골아세포 증식도 적었다(Fig. 6, Right). 조직학적 골생존률은 85.6%였다. 제 3군에서는 두개골의 경막측에 대부분의 골세포가 비어있었으며 골아세포의 증식도 1군에 비해 아주 적었다(Fig. 7, Right). 조직학적 골생존률은 71.1%였다.

제 4군은 두개골의 양측면을 모두 차단한 군으로 양측면 모두에서 골세포 내에 살아있는 골세포를 관찰하기 어려웠고 골아세포의 증식 또한 적었다(Fig. 8, Right). 조직학적 골생존률은 56.2%였다. 각군의 조직학적 골생존률을 비교하면 1군과 비교해 2, 3, 4군 모두에서 통계적으로 유의하게 차이가 있었고 2군보다 3군에서 3군보다 4군에서 골생존률이 유의하게 낮았다(p<0.01)(Table II).

**IV. 고 찰**

많은 두개안면 수술과 신경외과 수술에 있어서 두개골은 골 이식(bone graft)의 형태로 사용되어진다. 대부분의 두개골은 치유되고 만족할만한 결과를 준다. 하지만 추적관찰을 해보면 정도의 차이는 있지만 두개골에 흡수

가 일어나 수술적 교정이 필요한 경우가 있다. 이러한 두개골의 흡수는 두개 저에 발생한 종양의 제거 후 두개 내외로의 교통을 차단하기 위해 두개골막을 사용하였거나 외상으로 인해 골막이 손상되어 두개골에 골막이 없는 경우, 두개골 조기유합증의 수술 후 뇌의 불완전 팽창으로 인해 경막과 두개골사이에 사강(dead space)이 있거나 혹은 종양의 완전한 제거를 위해 경막에 방사선을 조사한 경우 등에서 나타나는 것을 알 수 있다. 초기의 신경외과 의사들은 측두근과 두개골막에 기초한 유경피판으로 두개골피판을 일으켰으며 이러한 방법이 두개골이 치유되는데 중요하다고 생각했다. 그러나 두개골을 유경피판으로 사용하는 데에는 불편함과 한계가 있었다. 1947년 Ray 등<sup>5</sup>은 유리 두개골피판을 곧바로 재위치 시켰을 때 기존의 혈관화된 두개골 피판과 비교해 큰 차이가 없다고 했다. Mabbutt 등<sup>6</sup>과 Reid 등<sup>7</sup>은 신생골 형성에 있어서 경막과 두개골막의 중요성을 강조했으며 두개골 결손부에 경막이나 두개골막 중 하나라도 결여되었을 때 신생골의 형성이 감소했다고 보고했다. 하지만 Puranen<sup>8</sup>은 자가골이 공기 중에 떨어진 지 약 1시간, 생리식염수에 약 2시간 가량 지나면 골생성 능력을 상실한다고 보고했다. Hobar 등<sup>4</sup>은 두개골 재생 연구에서 성숙한 동물의 경막을 미성숙한 동물의 경막으로 대체하였을 때 골의 재생이 이루어지지 않았으나 성숙한 동물의 두개골막을 미성숙 동물의 두개골에 이식하였을 때는 정상적인 골의 재생이 이루어졌다고 보고하고 두개골의 재생은 미성숙한 경막에 의존한다고 하였다. Hobar 등<sup>9</sup>은 그 후 돼지를 대상으로 한 연구에서 성숙한 경막도 두개골의 치유에 중요한 역할을 한다고 보고하고 경막이 없을 시 현저한 두개골의 흡수가 일어났다고 보고했다. 또한 Hopper 등<sup>10</sup>은 성숙한 토끼를 대상으로 한 실험에서 자가 두개골 이식 시 경막과 골막이 두개골이 치유되는데 중요한 역할을 한다고 보고하였다. Ozerdem 등<sup>11</sup>은 4개월 된 성숙한 쥐의 피사된 두개골이 치유되는데 있어서 골막과 특히 경막이 아주 중요한 역할을 한다고 보고하였으며 골막과 경막이 없는 경우 주위의 수혜골로부터의 골재생이 아주 제한적이라고 보고하였다. 골이식의 가장 문제가 되는

것은 골흡수와 골괴사이며, 골흡수에 영향을 미치는 요소로서는 수혜부의 혈관분포, 환자의 연령 및 성장정도, 골막의 유무, 두개골의 고정 등이 있다.<sup>1</sup> 이식골이 수혜골에 합착되는 과정에 대해서는 논란이 많지만 알려진 바로는 수혜골로부터 이식골 내로 혈관이 자라 들어가면 조혈기관(hematopoietic system)에서 유래된 파골세포가 이식골을 흡수하여 구멍(pore) 또는 와동(cavity)을 만든다. 이 구멍과 기존의 골소주에 골아세포가 증식되어 새로운 골로 대체되는데 이를 포행대치(creeping substitution)라 한다. 이러한 합착과정에서 이식골은 다음의 3가지 생리적 역할을 한다. 첫째, 수혜골로부터 모세혈관, 혈관주위조직 및 골원조세포(osteoprogenitor cell)가 이식골로 자라 들어가는데 발판 역할을 한다. 이것을 골전도(osteococonduction)라 하는데 자가 골이식과 동종골이식 뿐만 아니라 비생물체(nonbiological material; glass, ceramic, plastic)와 비생육성 생물학적 골(nonviable biological bone autoclaved bone, deproteinized bone, freeze dried bone)도 이러한 역할을 한다. 둘째, 이식골에서 BMP(bone morphogenic protein), 골단백분해 효소(proteolytic enzyme, BMPase), HGP (bone hydrophobic glycopeptidase)가 유리되어 수혜골에 있는 미분화간엽세포(undifferentiated mesenchymal cell)를 골형성세포(bone forming)로 분화하도록 자극하고 또 간질조직을 석회화시켜서 골형성을 촉진하는데 이것을 골유도(osteoinduction)라 한다. 열소독하거나 방사선 조사를 해서 가공된 골이나 인공삽입물에는 이런 단백질이 없으므로 골유도는 일어나지 않는다.<sup>12</sup> 셋째, 신선한 자가골이식 때 이식골 표면의 골화세포(osteogenic cell)는 수혜골로부터 확산되는 산소와 영양분을 받아 살아남게 되지만 중심부에 있는 대부분의 골세포는 허혈로 인해 괴사된다. 살아남은 이식골의 표면 세포들은 골형성세포를 제공하여 괴사된 중심부의 골흡수 및 골부가(bone apposition)에 중요한 역할을 한다.<sup>13</sup> 이식골의 혈관재생은 골생존에 중요하며, 부분층 식피술 때처럼 이식골 혈관과 수혜부 혈관 사이의 혈관분합에 의해 이루어지는지 혹은 새로운 혈관이 이식골 내로 자라 들어가는지에 대해 논란이 많다. 이식골이 잘 생존하기 위해서는 수혜부로부터의 혈행이 좋아서 이식골 표면의 골세포가 많이 살아야 하고 또 이식골을 수혜골에 잘 접합시키고 견고히 고정하여 포행대치가 잘 이루어져야 한다. 막성골은 연골내골보다 혈관재생이 빨라서 골생존이 좋으므로 임상에서 많이 이용하고 있으며 막성골의 피질골은 비록 단단하지만 혈관이 자라 들어가는데 물리적인 장벽이 되지 않는다. Smith 등<sup>14</sup>은 가토에서 두개골 전층과 연골내골인 장골을 수혜골에 접하게 이식하지 않고 안면부 피하조직에 이식했을

때 두개골은 골부피가 잘 유지되고 골세포도 잘 생존하였으나 장골은 거의 모두 흡수되었다고 한다. 연골내골을 이식할 때 골막을 붙여서 이식하면 골막이 골형성 세포들의 생존 수를 높이고 조기에 혈관재생을 촉진시키기 때문에 생존이 더 좋아서 원래부피의 50%가 흡수된 반면 골막이 없는 경우는 95%나 흡수된다는 보고도 있다. 따라서 저자들은 연골내골보다 혈관재생이 빠르고 골흡수가 적은 두개골에 있어서 경막과 두개골막의 영향을 알아보려고 본 실험을 시행하였다. 토끼에서 자가골 이식 후 일어나는 합착과정 및 변화양상은 사람의 것과 유사하며 이식 한 후로부터 첫 10-12주 동안 골흡수 과정이 활발하게 일어난다는 문헌에 기초하여,<sup>10</sup> 저자들은 수술 후 12주째에 조직을 채취하였다. 육안적으로 볼 때 골막이 차단된 2군과 4군의 골막측에서는 주로 가장자리에서 골흡수가 일어난 모습을 보였으며 경막측이 차단된 3군과 4군의 경막측은 주로 중심부에서 골흡수가 일어났다. 이러한 결과는 골막은 이식골의 생존율을 높이고 가장자리의 골절면(cut edge)으로부터 골재생에 영향을 미치며 경막은 중심부로부터 신생골을 재생하는 능력이 있음을 보여준다. 골막은 섬유층과 세포층으로 구성된 2중 구조물로서 나이가 들어감에 따라 골생성능력이 있는 세포층이 얇아지게 되어 골막의 신생골 형성능력은 감소하게 되나 골화세포의 생존수를 증가시키고 모세혈관의 재생을 촉진시킨다.<sup>9</sup> 경막의 골재생 능력도 나이가 들어감에 따라 감소하지만 이식골로부터 유리된 BMP에 반응하여 transforming growth factor b-1, fibroblast growth factor-2, alkaline phosphatase 등을 생산하여 골재생에 관여한다.<sup>9</sup> Gosain 등<sup>15</sup>은 성숙한 토끼의 두개골 재생 시 골막은 주로 가장자리의 골재생에 경막은 중심부의 골재생에 관여한다고 보고하였고 Ozerdem 등<sup>11</sup>은 성숙한 쥐의 괴사된 두개골은 경막이 존재할 때 두개골의 중심부로부터 치유가 되었으나 경막이 없는 경우 중심부의 골재생이 현저히 감소하였다고 보고하였다. 또한 골막은 경막의 존재시 골재생 능력이 증가되었다고 보고하였다. 각 군의 남아있는 두개골의 부피는 제 1군이 89.0%, 제 2군이 80.0%, 제 3군이 63.3%, 제 4군이 52.4%로서 대조군인 1군과 비교할 때 2, 3, 4군 모두에서 유의성있는 부피의 감소가 있었고 골막측만 차단한 2군에 비해 경막측을 차단한 3군에서, 3군에 비해 4군에서 부피의 감소가 더 많았으며 통계학적으로 의의가 있었다( $p < 0.01$ ). Hopper 등<sup>10</sup>은 저자들과 유사한 실험을 통해 토끼의 성숙한 두개골 이식시 경막과 두개골막의 중요성에 대해서 강조하였는데 두개골막만 차단된 군에서는 대조군과 유의성있는 부피의 감소가 없는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 채취한 두개골의 크기와 실험기간의 차이로 인한 것으로 해

석되어진다. 또한 Hopper 등<sup>10</sup>은 두개골이식 시 치유에 중요한 요소로서 경막과 골막의 이식골로의 혈관 재생을 강조하였는데 저자들은 실험을 통해 경막과 두개골막의 차단방식에 따라 흡수되는 두개골의 양상으로 보아 경막과 두개골막이 이식골의 치유에 미치는 영향이 다르다는 것을 알 수 있었다. 골막이 차단된 경우 두개골의 가장 자리에 흡수가 많이 일어난 것으로 보아 골막이 주로 두개골의 접합면의 치유에 영향을 미치고 경막이 차단되었을 때는 두개골의 중심부에 흡수가 일어난 것으로 보아 경막은 단순히 혈액공급 뿐 아니라 신생골을 형성시키는 능력이 있음을 알 수 있다. 두개골의 무게의 변화는 제 1군이 87.1%, 제 2군이 79.4%, 제 3군이 61.6%, 제 4군이 51.1%으로 나타났으며 1군에 비해 나머지군들에서 유의성있는 무게의 감소가 있었고 2군에 비해 3군에서, 3군에 비해 4군에서 무게의 감소가 더 많았고 통계적으로 유의하였다( $p < 0.01$ ). 두개골의 무게의 변화는 부피에 비해 더 크게 나타났는데 이러한 결과는 경막 혹은 골막이 차단된 상태에서 이식된 골이 치유될 때 혈관, 골세포, 골수세포가 감소하고 석회화가 저하되어 골의 밀도가 낮아져 나타난 결과로 해석되어진다. Ozerdem 등<sup>11</sup>은 쥐의 두개골 재생실험에서 경막과 두개골막이 차단된 경우에 골의 밀도와 살아있는 뼈세포의 수가 현저하게 감소한다고 보고했다. 조직학적으로 대조군인 제 1군에서는 골소주 주위에서 골아세포가 많이 관찰되었고 대부분의 골세포공내에 살아있는 골세포가 있었다. 골막과의 접촉을 차단한 2군의 경우에는 두개골 골막측의 골세포공 내에 살아있는 골세포가 잘 관찰되지 않았으며 1군에 비해 골흡수로 인한 소공 변연부의 골아세포 증식도 적었다. 제 3군에서는 두개골의 경막측에 대부분의 골세포공이 비어있었으며 골아세포의 증식도 1군에 비해 아주 적었다. 두개골의 양측면을 모두 차단한 4군은 양측면 모두에서 골세포공내에 살아있는 골세포를 관찰하기 어려웠고 골아세포의 증식 또한 적었다. 각군의 조직학적 골생존률을 비교하면 1군과 비교해 2, 3, 4군 모두에서 통계적으로 유의하게 차이가 있었고 2군보다 3군에서 3군보다 4군에서 골생존률이 유의하게 낮았다( $p < 0.01$ ).

## V. 결 론

저자들은 동물실험을 통해 두개골이 흡수되는데 있어서 경막과 두개골막이 미치는 영향에 대해 두개골의 부피와 무게의 변화 그리고 조직학적 골생존률을 측정하여 비교한 결과 다음과 같은 사실을 알게되었다. 첫째, 두개골막과 경막은 둘다 두개골의 흡수에 영향을 미치며 이중 하나라도 결여되었을 시 두개골의 흡수가 더 많이 일

어난다는 사실을 알았다. 둘째, 경막은 주로 두개골의 중심부의 흡수에, 골막은 두개골의 가장자리의 흡수에 영향을 미친다는 사실을 확대사진을 비교해 본 결과 알게되었다. 셋째, 경막이 두개골막에 비해 두개골의 흡수에 더욱 큰 영향을 미친다는 사실을 부피, 무게, 조직학적 골생존률을 통해 알게 되었으며 추후 계속된 연구를 통해 두개골의 흡수로 인한 합병증을 최소화하여야 하겠다.

## REFERENCES

1. Romana MC, Masquelet AC: Vascularized periosteum associated with cancellous bone graft: An experimental study. *Plast Reconstr Surg* 85: 587, 1990
2. Thompson N, Casson JA: Experimental onlay bone grafts to the jaws. A preliminary study in dogs. *Plast Reconstr Surg* 46: 341, 1970
3. Knize DM: The influence of periosteum and calcitonin on onlay bone graft survival. Roentgenographic study. *Plast Reconstr Surg* 53: 190, 1974
4. Hobar PC, Schriber JS, McCarthy JG, Thomas PA: The role of the dura in cranial bone regeneration in the immature animal. *Plast Reconstr Surg* 92: 405, 1993
5. Ray BS, Parsons H: The replacement of free bone plates in routine craniotomies. *J Neurosurg* 4: 299, 1947
6. Mabbutt LW, Kokich VG: Calvarial and sutural redevelopment following craniectomy in the neonatal rabbit. *J Anat* 129: 413, 1979
7. Reid CA, McCarthy JG, Kolber AB: A study of regeneration in parietal bone defects in rabbits. *Plast Reconstr Surg* 67: 591, 1981
8. Puranen J: Reorganization of fresh and preserved bone transplants: An experimental study in rabbits using tetracycline labelling. *Acta Orthop Scand Suppl* 92: 1, 1966
9. Hobar PC, Masson JA, Wilson R, Zerwekh J: The importance of the dura in craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg* 98: 217, 1996
10. Hopper RA, Zhang JR, Fournasier VL, Morova-Protzner I, Protzner KF, Pang CY, Forrest CR: Effect of isolation of periosteum and dura on the healing of rabbit calvarial inlay bone grafts. *Plast Reconstr Surg* 107: 454, 2001
11. Ozerdem OR, Anlatıcı R, Bahar T, Kayaselcuk F, Barutcu O, Tuncer L, Sen O: Roles of periosteum, dura, and adjacent bone on healing of cranial osteonecrosis. *J Craniofac Surg* 14: 371, 2003
12. Bruwell RG: Studies in the transplantation of bone VIII. Treated composite homograft-autografts of cancellous bone: an analysis of inductive mechanisms in bone transplantation. *J Bone Joint Surg* 48: 532, 1966
13. Phemister DB: The fate of transplanted bone and regenerative power of its various constituents. *Surg Gynecol Obstet* 19: 303, 1914
14. Smith JD, Abramson M: Membranous versus enchond-



ral bone autografts. *Arch Otolaryngol* 99: 203, 1974  
15. Gosain AK, Santoro TD, Song LS, Capel CC, Sudhakar PV, Matloub HS: Osteogenesis in calvarial defects:

Contribution of the dura, the pericranium, and the surrounding bone in adult versus infant animals. *Plast Reconstr Surg* 112: 515, 2003