

국산 생체용 금속판의 동물실험

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

서울대학교 의과대학 병리학교실*

이한구 · 안금환* · 정문상 · 성상철 · 이수호

한국과학기술원

신 명 철 · 이 규 환

= Abstract =

Animal Experiment of Domestic Dynamic Compression Plate

Han Koo Lee, M.D., Gueng Hwan Ahn, M.D., Moon Sang Chung, M.D.

Sang Cheol Seong, M.D., and Soo Ho Lee, M.D.

Department of Orthopedic Surgery Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

**Department of Pathology, College of Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea*

Myung Chul Shin, Ph.D., Kyu Hwan Lee, Ph.D.

Korea Advanced Institute of Science and Technology

Dynamic compression plate, used in the orthopedic surgery as internal fixation system, should have excellent biocompatibility, corrosion resistance, and adequate mechanical properties. The object of this research was test of its biocompatibility as compared with Osteo DCP* and fabrication of a KAIST* DCP with evaluation of its effect by animal experiment.

The conclusions were follows:

1. The corrosion resistance of domestic DCP had no significant difference as compared with foreign made DCP.
2. The tissue responses to DCP were thought to be adequate.
3. The new-design DCP had less mobility at fracture site as compared with existing DCP, but there was no significant statistical differences.
4. In summary, it was concluded that KAIST DCP could be applied to the human body and it would be worth while to research the advantages of new-design DCP.

*DCP: Dynamic Compression Plate

*KAIST: Korea Advanced Institute of Science & Technology

Key Words: Dynamic compression plate, Biocompatibility, Animal experiment.

I. 서 론

생체 삽입용 금속은 의학의 여러 분야에서 응용되고 있으며 특히 정형외과 영역에서는 골절, 관절염 후유증 등의 치료에 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 인체 삽입용 금속의 국산화를 위해서 본 연구진은

이미 한국과학기술원에서 제작한 Kirschner wire의 생체적합 여부를 실험해 그 결과를 보고한 바 있다¹⁾. 금속판은 나사와 더불어 골절의 치료에 가장 흔히 사용되는 내고정물의 하나로서 거의 전 수요량을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 금속판의 제작은 Kirschner wire의 제작보다도 고도의 기술을 요하며 이의 국산화가 실현된다면 국가 이익에 크게

기여할 것으로 생각된다. 금속판은 근자에와서 그 형태와 종류가 더욱 다양해졌으며 특히 가압금속판(dynamic compression plate)이 임상적으로 가장 활발히 이용되고 있다.

이에 저자들은 Kirschner wire의 국산화에서 더 나아가 가압금속판의 국산화를 실현하고 새로운 design의 개발을 위하여 한국과학기술원에서 자체 생산한 가압금속판의 생체적합여부와 임상에서 이미 사용해 오던 Osteo사의 금속판의 생체적합 여부를 비교, 검토하고 우리의 신개발형인 새로운 가압금속판의 효과를 판정하고자 다음과 같은 동물실험을 시행하였다.

II. 실험재료 및 방법

가. 실험동물

실험동물은 동일한 환경내에서 사육된 체중 2.5~3.0kg의 성숙한 백색 가토 160마리를 사용하였다. 먼저 생체적합성 실험에 적당한 80마리를 택하여 40마리는 국내생산한 시제품실험에, 나머지 40마리는 대조군으로 외국 기계품 실험에 사용하였다. 그리고 신개발형인 가압금속판의 효과를 판정하고자 80마리의 다른 가토를 선택하여 40마리는 기존하는 형태의 가압금속판의 실험에, 나머지 40마리는 신개발형인 가압금속판의 실험에 사용되었다.

나. 실험금속

한국과학기술원에서 자체생산한 스테인레스강 316

Fig. 1. Top; KAIST* DCP (Dynamic Compression Plate) Middle; Osteo DCP, Bottom; new-design KAIST DCP

*KAIST: Korea Advanced Institute of Science & Technology

LVM(low-carbon vacuumn melted)으로 제작된 4개의 나사구멍이 있는 가압금속판(4-hole dynamic compression plate)으로서 기존형과 신개발형의 두가지 형태의 금속판을 사용하였다. 생체적합여부의 판정을 위한 대조군 삽입용으로는 인체에 적용되는 Osteo사 제품인 같은 규격의 가압금속판이 사용되었다(Fig. 1).

새로운 형태의 가압 금속판의 design은 압박효과가 충분하며, 이 압박효과가 골치유증 감소 내지는 소실되지 않아야 한다는 전제하에 기존 가압 금속판의 형태를 변형하였으며 설계도중 과잉 압박을 예방하고자 compression hole을 골절부위에 가깝게 두었다(Fig. 2).

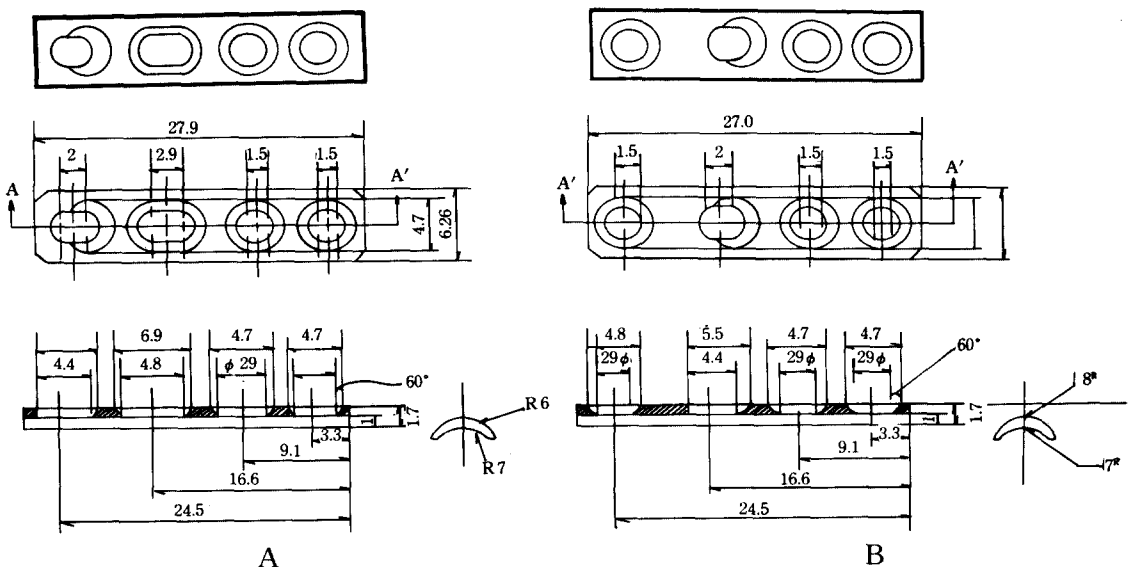


Fig. 2. A. DCP of existing design, B. DCP of new design.

Fig. 3. Exposed tibia by retraction of the soft tissue.

Fig. 5. Osteotomized tibia with two screw holes prepared.

상부의 전내측에 길이 4~5cm의 피부절개를 시행한 후 골막을 박리하여 경골 상반부를 노출시켰으며 금속판의 부착이 용이하도록 주위의 연부조직을 충분히 전인하였다(Fig. 3).

노출된 경골 상반부의 전내측에 금속판을 도수조작으로 임시 고정하고 금속판의 상단 나사구멍에 맞추어 경골을 횡으로 천공하여 한 개의 나사로 금속판을 고정하였다. 상부가 고정된 금속판의 종축이 경골의 종축과 평행이 되게하여 하단을 다른 한개의 나사로 고정하였다(Fig. 4). 생리 식염수로 창상을 세척한 후 절개된 피부를 봉합하였다. 상기한 조작을 40마리의 제Ⅰ군에 대해서는 국내제작인 금속판을 대조군인 40마리의 제Ⅱ군에 대해서는 외국 기제품인 금속판을 부착하였다.

③금속판 부착 2주후 생존한 가토들의 혈액을 채취하여 실험전과 동일한 혈액검사를 시행하여 금속삽입전의 결과와 비교, 검토하였다.

④ 금속판 부착 8주후 생존한 가토를 희생하고 좌측 경골을 적출하였으며 부착된 금속판과 나사를 제거하여 금속학적 검사를 한국과학기술원에 의뢰하였다. 또한 금속판의 제거과정에서 금속판, 경골 및 주변조직에 대한 육안적 관찰을 하였으며 금속판이 제거된 경골에 대하여 방사선 촬영을 한 후 10% 포르말린 용액에 고정하였으며 탈석회화 과정을 거쳐 조직표본을 제작하여 그 조직학적 소견을 현미경하에서 관찰하였다.

2)신개발형 가압금속판의 효과에 대한 실험

① 실험용 가토의 경골 간부의 전내측에 길이 약 5~6cm의 피부절개를 가한 뒤 골막을 박리하여 경

Fig. 4. Plate fixed with two screws.

다. 실험방법

1) 생체적합 여부를 위한 실험

① 실험용 가토 80마리에 대하여 실험 1주전에 혈액을 채취하여 조혈기능, 간기능 및 신기능 검사를 시행함으로써 금속주입 후의 생체변화를 판정기 위한 기초자료로 삼았다.

② 금속삽입 과정은 먼저 20% urethane 7~9cc를 복강내 주사하여 실험용 가토를 마취시킨 후 좌측 하퇴부를 10% povidone을 이용하여 소독함으로써 무균조작이 가능하도록 준비하였다. 좌측경골

골 간부를 노출시키고 인위적 골절형태인 절골술을 시행하였다(Fig. 5). 이때 마취가 충분치 못한 상태에 대비하여 Ketamine을 준비하고 urethane과 병용하였다. 절골된 경골에 대하여 준비된 두가지 종류의 가압금속판과 나사를 이용하여 내고정을 시행하였는 바, 40마리의 제Ⅲ군에 대해서는 기존하는 형태인 가압금속판을, 다른 40마리의 제Ⅳ군에서는

신개발형 가압금속판을 이용한 내고정을 시행하였다(Fig. 6, Table 1). 생리 식염수로 절개창을 세척한 후 봉합하였으며, 수술 처치로 슬관절을 기능적 위치로 하여 장하지 석고붕대 고정을 시행하였다.

②수술 6주가 경과한 뒤, 생존한 실험동물을 희생시키고 좌측 경골을 적출하였으며 금속판과 나사를 제거하고 골융합의 상태를 육안적 관찰 및 방사선 소견으로 일차 판정하였다. 금속판이 제거된 경골로 조직표본을 제작하였으며 조직학적 소견을 판독하였다.

Ⅲ. 실험결과

가. 생체적합여부에 관한 실험결과

1) 금속학적 결과

육안관찰을 한 결과 제Ⅰ군 및 제Ⅱ군에서 모두 비정상적인 변색을 관찰할 수 없었으며 현미경하 관찰에서도 균열, 부식 등을 의심할 만한 소견은 관찰되지 않았다(Table 2).

2) 수술전후의 혈액검사 결과

제Ⅰ군 및 제Ⅱ군에서 각기 금속판 삽입 후 조혈기능검사, 간기능검사 및 신장기능 검사상 수술에 정도의 빈혈, 백혈구 및 혈침속도의 증가가 양 군에서 공통적으로 나타났을 뿐이었으며 특기할 만한 다른 변화는 없었다(Table 3).

3) 방사선학적 결과

금속판 및 나사가 부착되어 있던 부위에서 심한 골막반응, 골조송증(osteoporosis), 내골막 신생골형성 등의 소견은 관찰되지 않았으며, 피질골(cortical bone)의 두께에 있어서도 양 군에서 유의할 만한 변화를 가져오지 않았다(Fig. 2).

4) 조직학적 검사결과

나사가 통과했던 부분을 지나는 종단면을 절단하여 조직표본을 제작하였으며, 금속판과의 접촉면이었던 피질골 및 나사가 통과했던 피질골과 골수강

Fig. 6. Osteotomized tibia fixed with a 4-hole DCP (Dynamic Compression Plate).

Table 1. Grouping of Experimental Animals

Group	No. of rabbits Implanted Metal	
Group I	40	KAIST DCP*
Group II	40	Osteo DCP
Group III	40	KAIST DCP
Group IV	40	New Design KAIST DCP

*DCP=Dynamic Compression Plate

Table 2. Summary of metallurgic examinations for corrosion*

	Osteo DCP	KAIST DCP
Tarnishing	(-)	(-)
Pitting corrosion	(-)	(-)
Stress corrosion cracking	(-)	(-)
General corrosion	(-)	(-)

* KAIST 자료제공

Table 3. Mean values and standard deviations of hematologic test, liver function test and renal function test in pre- & postoperative periods

		KAIST plate		Osteo plate	
		Preop.	Postop.	Preop.	Postop.
Hematologic Test	Hemoglobin(mg/dl)	11.03± 1.31	9.21± 0.82	12.30± 1.28	9.55± 1.14
	Hematocrit	33.4 ± 3.9	33.3 ± 2.8	37.4 ± 3.6	33.2± 3.6
	WBC(/mm ³)	9870 ± 2903	14840± 5372	8220 ± 2583	13960± 4340
	ESR(mm/hr)	0.65± 0.78	1.00± 0.45	0.65± 0.71	3.90± 7.22
Liver Function Test	Protein(g/dl)	6.31± 0.74	6.19± 0.53	6.44± 0.63	6.10± 0.49
	Albumin(g/dl)	3.73± 0.28	3.73± 0.60	3.67± 0.32	3.56± 0.53
	Alkaline Phosphatase(B-L unit)	0.823 ± 0.470	0.583± 0.220	0.770 ± 0.302	0.542± 0.212
	S-GOT (R-F unit)	61.8 ± 59.0	15.6 ± 9.21	54.5 ± 49.7	36.7 ± 31.5
Renal Function Test	S-GPT (R-F unit)	55.9 ± 39.1	54.2 ± 20.6	54.6 ± 28.5	61.6 ± 27.5
	BUN (mg/dl)	14.02± 4.56	16.39± 3.36	10.27± 1.77	14.89± 2.85
	Creatinine(mg/dl)	1.437± 0.300	1.617± 0.170	1.456± 0.188	1.629± 0.233

Fig. 7-A. The radiographic findings of the tibiae tested with KAIST DCP.

Fig. 7-B. The radiographic findings of the tibiae tested with Osteo DCP.

Fig. 8-A. Microscopic view of the contact area with KAIST DCP, showing subperiosteal new bone formation and fibrous tissue(hematoxylin and eosin, × 40).

Fig. 8-B. Microscopic view of the contact area with Osteo DCP, showing subperiosteal new bone formation and callus(hematoxylin and eosin, × 40).

의 망상 골조직을 현미경하에서 관찰하였다. 양 군에서 공통적으로 섬유조직, 염증세포의 침윤, 경도의 신생골 형성이 관찰되었으며 직접 골소실(direct osteolysis) 또는 골흡수는 관찰되지 않았다. 그리고 파골세포의 활성화나 사골은 거의 찾아볼 수 없었으며 양 군간에 특기할 만한 차이점은 발견되지 않았다(Fig. 8).

나. 신개발형 가압금속판의 효과에 대한 실험결과

가압금속판으로 내고정을 시행한 후 6주가 경과할 때까지 생존한 가토는 제Ⅲ군에서 24마리, 제Ⅳ군에서 22마리였으며 이에 대한 육안적, 방사선학적 및 조직학적 평가를 내려 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 육안적 소견

골절부위의 가동성(mobility)은 제Ⅲ군에서 24마

리중 16마리에서, 제Ⅳ군에서는 22마리중 16마리에서 확인되어 육안적 소견에 의한 골절의 융합율(union rate)은 제Ⅲ군이 33.3%, 제Ⅳ군이 27.3%여서 신개발형인 가압금속판에서 다소 높은 것으로 사료되었다.

2) 방사선학적 결과

골절부위의 전위는 제Ⅲ군에서 24마리중 14마리(58.3%)에서, 제Ⅳ군에서는 22마리중 16마리(72.7%)에서 관찰되어 신개발형인 금속판의 고정이 더 견고한 것으로 나타났으나 통계학적 의미를 부여할 수는 없었다(Fig. 9).

술후 6주가 경과하였으나 골절부위의 골질융합(bony union)은 일어나지 않았으며 이는 양 군에서 공통적으로 관찰되는 소견이었다. 육안적 및 방사선학적 관찰에 의한 가골의 형성은 제Ⅲ군에 비하여 제Ⅳ군에서 훨씬 풍부하여 제Ⅳ군에서 골절 부

Fig. 9-A. The radiographic findings of the tibiae fixed with a new-design KAIST DCP.

Fig. 9-B. The radiographic findings of the tibiae fixed with KAIST DCP of currently used design.

Fig. 10-A. Microscopic view of the fracture site fixed with a new-design DCP, showing bony union by primary bone healing(hematoxylin and eosin, $\times 40$).

Fig. 10-B. Microscopic view of the fracture site fixed with a existing-design DCP, showing florid callus formation which suggests motion of the fracture site(hematoxylin and eosin, $\times 40$).

위의 가동성이 많았음을 시사하였으나 골절부위의 전위로 인하여 그 두께를 실측하여 서로 두께를 비교하는데는 문제점이 있었다.

3) 조직학적 검사결과

제IV군에서 골막의 가골형성이 많이 관찰되었으며, 이는 기존하는 형태의 가압 금속판에서 골절부위의 가동성이 더 크다는 것을 다시 한번 뒷받침해주는 결과이다.

골내막 신생골형성은 양 군에서 공통적으로 관찰되었으며 제III군에서는 골절부위에서 과다한 미숙골 형성이 없는 일차성 골치유(primary bone healing)의 소견이 일부에서 관찰되었다. 파골세포의 활성, 염증세포, 및 사골형성에 있어서는 양군간에 특기할 만한 차이점이 없었다(Fig. 10).

IV. 고 찰

골절 치료용으로 사용되는 압박 금속판은 1949년 Danis에 의해 창안된 이후 장골(long bone) 골절의 치료에 임상적으로 이용되어 왔으며 1956년에는 Bagby⁹⁾에 의해 가압금속판이 고안되어 압박금속판의 형태에 큰 변화를 가져왔다.

모든 인체 삽입용 금속은 삽입후 화학적 변화 및 독성이 없어야 하며 그 생역학적인 성질(biomechanical property)이 사용목적에 적합해야 한다. 또한 인체내에서 부식에 견딜 수 있는 우수한 내부식성을 가져야 하며, 그외에도 주물이나 기계적 가공이 손쉬우며 가격이 저렴해야 하겠다⁶⁾. 본 연구진은 한국과학기술원에서 제작한 Kirschner wire의 생체적응 여부를 실험하여 그 결과를 발표한 바 있으며^{1,2)} 이제 한 걸음 더 나아가 국내제조의 가압금속판을 실험하였다.

Laing⁶⁾에 의하면 일반적으로 aluminum과 titanium을 제외한 모든 금속에 대한 생체반응은 그 금속의 부식정도에 비례한다고 하였으며, 금속판의 경우에 있어서 수주 이내에 나사가 헐거워지며 주위에 활액막과 유사한 막이 형성된다고 하였다. 저자들의 실험에 사용된 국내제작 금속판과 나사의 금속학적 검사에서 의미있는 부식현상은 나타나지 않았으며 골조직은 금속판에 잘 밀착되어 있었다. 그리고 조직학적 검사에서 가장 흔히 관찰되는 세포는 섬유아세포(fibroblast), 식세포(phagocyte) 및 거대세포(giant cell)라고 보고되고 있으며, 이는 저자들의 결과와 대개 일치하고 있다. 가끔 금속입자를 함유한 거대세포가 발견된다고도 하나 본 실험에서는 그와 같은 소견은 관찰되지 않았다.

위와 같은 관점에서 실제 임상적으로 사용되는 기

존 외국제품의 생체적응도와 비교한결과 손색이 없는 것으로 생각되었으며 향후 임상적으로 인체에 사용될 수 있을 것으로 믿어진다.

저자들의 신개발형인 가압금속판의 효과에 대한 실험결과에서 충분한 골질융합을 얻지 못한 이유는 첫째, 금속판의 규격이 가토의 경골 골절을 내고정하기에는 적합치 못하였으며, 둘째 고정기간이 6주로서는 좀 미흡했던 것으로 추측되었다. 형성된 가골의 두께를 측정하여 이를 판단기준으로 삼을 수도 있겠으나 실험동물에서 골절부위의 재전위가 발생하여 결과의 해석에 어려운 점이 있었다. 그러나 신개발형 가압금속판을 사용한 경우에 Nunamaker¹²⁾의 보고에서와 같이 골합수가 비교적 적은 것으로 나타났으며 골절부위의 전위도 기존하는 형태의 가압금속판 경우보다 적게 발생하였다.

가압금속판은 골절된 장골의 크기와 생역학적 특성에 맞도록 고안, 제작되어야 하겠으며 과도하게 굴곡강도(bending stiffness)가 높은 금속판이 사용되면 Slätis¹⁰⁾, Woo¹¹⁾ 등의 보고대로 오히려 골합수를 촉진하여 골조종증(osteoporosis)의 원인이 된다고 한다.

신개발형인 가압금속판의 기계적 이점을 더욱 자세히 밝히기 위해서는 적절한 규격과 굴곡강도를 가진 금속판의 제작이 우선되어야 하겠으며, 충분한 기간의 외고정을 병행하여 골질융합을 도모한 후 골절부위에 대한 생역학적 안정성이 입증되어야 할 것으로 믿으며, 이는 계속적인 실험에 의해 해결되어야 할 과제로 생각된다.

V. 결 론

본 연구진은 인체삽입용 가압금속판의 국산화를 위하여 한국과학기술원에서 제작된 316LVM 스테인레스강으로 가압금속판을 만들어 그 생체적합 여부를 이미 적용하고 있는 Osteo회사 제품과 비교, 관찰하였으며 또한 신개발형 가압금속판을 고안하여 기존하는 형태와 그 효과를 동물실험을 통하여 판정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 금속판의 부식성은 외국제품과 유의할 만한 차이가 없었다.

2) 가압금속판에 대한 조직반응은 적합한 것으로 판단되었다.

3) 신개발형 가압금속판은 기존하는 형태의 가압금속판에 비해 골절부위의 가동성이 적었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

4) 위의 결과를 종합하여, 한국과학기술원에서 제작된 가압금속판은 인체내 삽입이 가능하다고 판단

되었으며, 신개발형 가압금속판의 이점은 향후 계속 추구해 나갈 가치가 있는 것으로 생각되었다.

REFERENCES

- 1) 이한구, 정민영, 전재명, 안공환, 신명철, 이규환 : 한국과학기술원에서 제조된 생체주입용 금속재료의 동물실험 I. 최신헌학, 281:87-91, 1982.
- 2) 이한구, 정문상, 정민영, 전재명, 안공환, 신명철, 이규환 : 인체골주입용 금속의 국산화를 위한 동물실험. 대한정형외과학회지 제18권 제3호: 425-430, 1983.
- 3) Bagby, G.W.: *Compression Bone-Plating Historical Considerations. J. Bone and Joint Surg.*, 59-A: 625-631, 1977.
- 4) Bradley, G.W., McKenana, G.B., Dunn, H.K., Daniels, A.U. and Statton, W.O.: *Effects of Flexural Rigidity of Plates on Bone Healing. J. Bone and Joint Surg.*, 61-A: 866-872, 1979.
- 5) Crenshaw, A.H.: *Campbell's Operative Orthopedics*, 6th Ed., pp. 2197-2202, St. Louis, C.V. Mosby Co., 1981.
- 6) Galante, J.O., Laing, P.G. and Lantenschlager, E.: *Biomaterials, In Instructional Course Lectures, The American Academy of Orthopaedic Surgeons. Vol. XX-IV: 1-20*, 1975.
- 7) Heppenstall, R.B.: *Fracture Treatment and Healing. 1st Ed.*, pp.113-172, W.B. Saunders Co., 1980.
- 8) Laing, P.G.: *Compatibility of Biomaterials. The Orthop. Clin. North Am.*, 4: 249-273, The W. B. Saunders Co., 1974.
- 9) McKibbin, B.: *The Biology of Fracture Healing in Long Bones. J. Bone and Joint Surg.*, 60-B:150, 1978.
- 10) Mears, D.D.: *Materials and Orthopedic Surgery, 1st Ed.*, pp. 196-247, Baltimore, The Williams & Wilkins Co., 1979.
- 11) Moyon, B. J-L., Lahey, P.J., Weinberg, E.H. and Harris, W.H.: *Effects of Intact Femora of Dogs of the Application and Removal of Metal Plates. J. Bone and Joint Surg.*, 60-A: 940-947, 1978.
- 12) Nunamaker, D.M. and Perren. S.M.: *A Radiological and Histological Analysis of Fracture Healing Using of Comperession Plates, Clin. Orthop.*, 138:167-174, 1979.
- 13) Osborne, G.V.: *Forum on Metalic Surgical Implants, J. Bone and Joint Surg.*, 53-B: 346-347, 1971.
- 14) Porren, S.M.: *Physical and Biological Aspects of Fracture Healing with Spectal Reference to Internal Fixation, Clin. Orthop.*, 138:175-196, 1979.
- 15) Scales, J.T. and Winter, G.D.: *Corrosion of Orthopaedic Implants, J. Bone and Joint Surg.*, 41-B: 810-820, 1959.
- 16) Slätis, P., Karaharju, E., Holmström, T., Aho-nen, J. and Paavolainen, P.: *Structural Changes in Intact Tubular Bone after Application of Rigid Plates with and without Compression. J. Bone and Joint Surg.*, 60-A: 516-522, 1978.
- 17) Tayton, K., Johnson-Nurse, C., McKibbin, B., Bradley, J. and Hastings, G.: *The Use of Semi-rigid Carbon-fibre-reinforced Plastic Plates for Fixation of Human Fractures. J. Bone and Joint Surg.*, 64-B: 105-111, 1982.
- 18) Tonino, A.J., Davidson, C.L., Kloppe, P.J. and Linclau, L.A.: *Protection from Stress in Bone and Its Effects. J. Bone and Joint Surg.*, 58-B:107-113, 1976.
- 19) Trader, J.E., Johnson, R.P. and Kalbfleisch, J.H.: *Bone-Mineral Content, Surface Hardness, and Mechanical Fixation in the Human Radius. J. Bone and Joint Surg.*, 61-A: 1217-1220, 1979.
- 20) Unthoff, H.K., Bardos, D.I. and Liskova-Kiar, M.: *The Advantages of Titanium Alloy over Stainless Steel Plates for the Internal Fixation of Fractures. J. Bone and Joint Surg.*, 63-B: 427-434, 1981.
- 21) Woo, S. L- Y, Akeson, W.H., Coutts, R.D., Rutherford, L., Doty, D., Jemmott, G.F. and Amiel, D.: *A Comparison of Cortical Atrophy Secondary to Fixation with Plates with Large Differences in Bone Stiffness. J. Bone and Joint Surg.*, 58-A: 190-195, 1976.