

## 단측성 외고정 기구를 이용한 개의 대퇴골 신연에 있어서 골수강내 K-강선 삽입의 효과

황재민 · 김영기 · 진희택 · 석성훈 · 이희천 · 고필옥 · 장홍희 · 이효종 · 연성찬<sup>1</sup>

경상대학교 수의과대학 동물의학 연구소

(게재승인: 2006년 8월 9일)

### Effects of Intramedullary K-wire Insertion on Femoral Lengthening in Canine with Monolateral External Fixator

Jae-Min Hwang, Young-Ki Kim, Hee-Tec Chin, Seong-Hoon Seok, Hee-Chun Lee, Phil-Ok Koh,  
Hong-Hee Chang, Hyo-Jong Lee and Seong-Chan Yeon<sup>1</sup>

Institute of Animal Medicine, College of Veterinary Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

**Abstract :** During long bone lengthening, there are many disadvantages including axial deviation, malalignment and re-fracture which are commonly encountered inspite of its proven abilities. To study the effects of intramedullary K-wire application on the lengthening of long bone, ten skeletally mature mongrel dogs were separated into two groups (Group I, II). Right femurs of group I (5 dogs) were fixed with only monolateral external fixator after subperiosteal osteotomy. Right femurs of group II (5 dogs) were fixed with monolateral external fixator and intramedullary K-wire after subperiosteal osteotomy. Lengthening was started at 7 days after the surgery with the rate of 0.5 mm per day for 5 weeks and the dogs were sacrificed after 15 weeks postoperatively to examine histologic differences and evaluate bone mineral density. Radiographic examination at an interval of two weeks was done to evaluate the type of callus formed and to analyze complications including instability of external skeletal fixation and axial deviation. Bone mineral density at the lengthened area and contralateral nonlengthened area were measured using quantitative computerized tomography. Histological examination of regenerated bone was performed using Masson's trichrome stain method. The radiographs demonstrated poor callus formation, higher incidence of axial deviation and screw loosening in the group I compared to the group II. The bone mineral density at the lengthened area in the group II was higher than that of the group I ( $P < 0.05$ ). Histological examination showed that the new bone trabeculae in the group II were greater than that of the group I. In conclusion, the combination of monolateral external fixator and intramedullary K-wire can prevent pin loosening, axial deviation and reduce healing period in dogs.

**Key words :** canine, femoral lengthening, intramedullary K-wire, monolateral external fixator.

## 서 론

교통사고 등으로 인해 개방성 골절 및 골 결손부가 발생하거나 골수염, 골종양, 연골 무형성증, 성장판 손상 등으로 인해 사지 단축 및 각 변형이 생기는 경우 이를 교정 및 치료하기 위해 사지 연장술을 시행하게 된다. 골 신연을 위한 외고정 장치는 그 동안 여러 연구자들에 의해 다양한 형태로 발전되어져 왔는데 주로 이용되어지는 기구의 형태는 크게 단측형과 원형으로 구분할 수 있다. 1905년 Codivilla (7)가 사람에서 대퇴골 절골 후 종골 견인을 실시함으로써 처음 소개된 사지 연장술은, 1950년대 이후 Ilizarov의 원형

외고정 장치의 개발과 신연 골형성 개념의 도입을 계기로 현재까지 정형 외과 영역에서 많이 이용되고 있다(16-18).

수의 영역에서는 1930년에 Stader(2,19)가 외부고정 기법을 처음 소개한 바 있으며, Ilizarov의 신연 골형성 개념이 도입된 것을 계기로 1991년 Ferretti, 1998년 Stallings 등은 소동물 임상에서 적용할 수 있는 원형 외부고정 기구를 다수 개발하기에 이르렀고 이를 동물의 사지 단축, 골 결손의 회복 및 기형을 교정하기 위해 사용하였다(10,23).

1971년 Wagner(32)는 단측성 외고정 기구를 고안하여 골신연술을 시행하였다. 최근 들어 1995년 Guichet 등(12)은 골수강 내에 삽입 후 신연술을 행할 수 있는 금속성 형태의 Albizzia라는 장치를 개발하였으며, 1997년 Paley 등(26)은 외부고정과 함께 골수강 내에 교합성 수내정을 병용하여 골

<sup>1</sup>Corresponding author.  
E-mail : scyeon@gnu.ac.kr

신연을 실시하였다. 이러한 기구는 단측성 외고정 기구만을 사용할 경우 나타날 수 있는 문제점을 보완해 줄 뿐만 아니라 외고정 기구의 제거시기를 앞당겨 줌으로써 활동하기에 편하도록 고안되어 각광받고 있다. 그러나 이러한 신기술을 동물에 적용한 사례는 거의 없으며 고비용 등의 문제로 수의 임상에 적용하기엔 다소 무리가 있는 실정이다.

본 연구는 단측성 외고정 기구를 통해 개에서 대퇴골 신연술을 행할 경우 고정의 안정성을 높이기 위한 하나의 수술적 방법으로써 골수강 내에 K-강선을 병행삽입하였을 경우 나타날 수 있는 효과에 대해 알아보고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 실험 동물

근골격계에 이상이 없고 임상적으로 건강하다고 인정되며 동일한 사육 조건을 가진 체중 3-5 kg의 생후 12±2개월 된 수컷 잡종견 10두를 사용하였다. 실험동물은 수술시 외고정 기구만을 적용하여 골 신연을 행한 실험 I군, 외고정 및 골수강 내 K-강선 삽입을 병용하여 골 신연을 행한 실험 II군으로 분류하였으며 각 실험군에는 실험견을 5두씩 배치하였다.

### 실험 기자재

일반적인 정형외과 수술 기구, 미세 절골 기구(oscillating saw, MicroAire<sup>®</sup>), 저속 에어드릴(air drill/reamer, Hall<sup>®</sup>), 골 신연을 위한 단측성 외부고정 기구(U&I<sup>®</sup>, S.Korea)(27)(Fig 1)와 직경 3.0 mm의 핀(half pin) 그리고 내부고정을 위한 직경 1.5 mm의 K-강선 등을 사용하였다.

### 수술 방법

수술 전 각 실험동물을 일반 정형외과 수술 전 준비에 준하여 절식 및 술부 소독을 시행하였다. 수술 시작 20분전에 cefazolin sodium(20 mg/kg)을 정맥 내 투여하였으며, 마취는 2001년 Lee 등(39)이 보고한 바 있는 지속시간이 길며 근육 이완도도가 우수한 fentanyl계 약물을 이용한 병용마취법을 이용하였다.

전마취제로 atropine sulfate(0.02 mg/kg)을 근육 내 투여하고 10분경과 후 Zoletil<sup>®</sup>50(10 mg/kg) 및 Fentazine-10<sup>®</sup> 희석액(xylazine 2.2 mg/kg, fentanyl 16 µg/kg, azaperone 128 µg/kg)을 근육 내 투여하였다. 우측대퇴부가 상부에 있도록 실험견을 횡와자세로 보정한 후 술부를 소독하고 유창포를 덮었다. 일반적 대퇴골간 접근방식에 따라 대퇴골간의

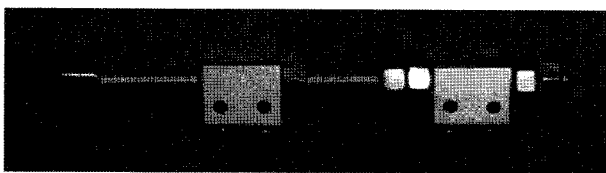


Fig 1. Monolateral external distraction device. (U&I<sup>®</sup>, Korea)

대부분을 노출시켰다. 핀을 삽입할 부위의 골막을 대퇴골로부터 조심스럽게 분리하였으며, 술 후 골막이 원형상태로 보존될 수 있도록 주의를 기울였다. 직경 2.0 mm의 드릴비트를 장착한 외과수술용 저속 에어드릴(air drill/reamer, Hall<sup>®</sup>)을 이용하여 대퇴골의 핀 삽입부를 천공한 후, 렌치를 이용하여 핀의 침부가 반대편 피질을 관통하여 2 mm 정도까지 나오도록 핀을 삽입하였다. 대퇴골 근위부와 원위부에 핀을 하나씩 삽입한 후 단측성 외부고정 기구를 장착하였으며 외부고정 기구의 나머지 홈을 통해 또다시 에어드릴을 이용하여 핀 삽입부를 천공한 후, 역시 렌치를 이용하여 핀을 삽입하였다. 이 때 모든 4개의 핀이 동일선상에 삽입되도록 하였으며 2번째 핀과 3번째 핀 사이의 거리가 2.5 cm가 되도록 거리를 조절하였다. 미세절골기구(oscillating saw, MicroAire<sup>®</sup>)를 이용하여 2번째 핀과 3번째 핀 삽입부의 중간지점을 절단하였다.

실험 II군의 경우, 앞서 언급한 과정에 추가적으로 외부고정 기구를 잠시 제거한 후 근위부 골편의 원위부 골수강에서 근위부 골수강 방향으로 K-강선을 삽입하여 큰 대퇴돌기의 상방으로 노출시킨 다음 이를 다시 원위부 골편의 골수강으로 삽입시켰다. 이 때 실험견의 골간부 골수강의 내경은 평균 6.0±1.2 mm에 해당하였고 직경 1.5 mm의 K-강선은 원위부 골편의 골수강을 관통하고 있는 핀과의 마찰을 피할 수 있도록 주의 깊게 서서히 밀어 넣었으며, 이후 외부고정 기구는 다시 장착하였다. 수내정 및 외부고정 완료 후 술부는 생리식염수로 세척하고 흡수성 봉합사(Chromic catgut, 2-0)로 근막을, 비흡수성 봉합사(Blue nylon, 2-0)로 피부를 단순 결절 봉합하였다. 수술 후 관리는 모든 개에서 동일하게 처치하였다.

### 골 신연 및 안락사

절골술 후 일주일 간은 휴지기로써 골 신연을 실시하지 않았다. 다만 소독과 포대에 신경을 쓰며 수술 부위의 부종, 화농, 핀의 빠짐 유무 등을 관찰하였다. 절골술 후 일주일째 되는 날부터는 골 신연기로 하루에 0.5 mm씩 5주 동안 점진적인 골 신연을 실시하였다. 이후 골 경화기에는 더 이상의 골 신연을 하지 않고 재생골이 성숙하도록 그대로 두었으며 술 후 15주째 안락사를 시행하였다.

### 조사항목

술 후 부종이 소실되기까지의 시간, 실험견의 보행 상태, 관절 가동 범위, 개체별 특이사항등의 술 후 임상증상과 안락사 직전 최종 소견, 안락사 후 좌, 우측 대퇴골의 길이를 비교하여 신연율을 조사하였다.

방사선 사진은 Super HR-G30(Fujifilm<sup>®</sup>)을 이용하여 수술 직전, 수술 직후 그리고 골 신연개시 후 2주 간격으로 대퇴부 전후측 및 측면상을 촬영하여 신연부 가골의 성숙도, 신연부 가골의 형태, 대퇴골의 각 변형을 조사하였다. 신연부 가골의 형태는 1992년 Hamanishi 등(14)이 분류한 방법에 따라 술 후 12주째의 방사선학적 소견을 토대로 6가지 형태

**Table 1.** Classification of the distraction callus. (Hamanishi et al., 1992)

Types	Characteristics of callus shape
External	Barrel-like fusiform callus wider than the original bone
Straight	Homogeneous callus just as wide as the original bone
Attenuated	Callus narrower than the original bone with attenuated mid portion
Opposite	Callus formation or maturation mainly at the opposite side of the lengthener
Pillar	Poor callus only in the central portion and looking like a central pillar
Scattered	Only sparse calcification in the lengthened gap

**Table 2.** Types and characteristics of distal femoral deformity.

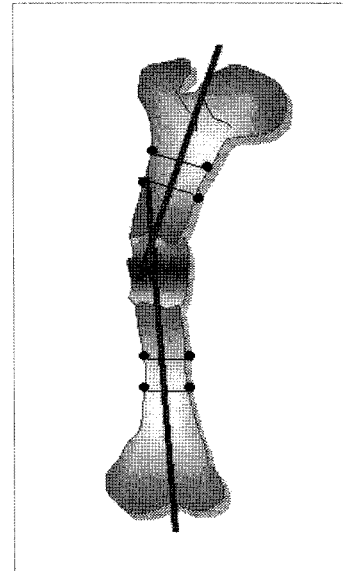
Types	Characteristics
Valgus	Lateral angulation of the distal segment of bone
Varus	Medial angulation of the distal segment of bone
Antecurvatum	Caudal angulation of the distal segment of bone
Recurvatum	Cranial angulation of the distal segment of bone

즉 외측, 직선, 중세, 대측, 주형, 분산형으로 구분하였다 (Table 1)(37,38).

대퇴골의 각 변형은 신연부 가골의 유합이 일어난 대퇴골에서 근위 골간부에 대한 원위 골간부의 방향성에 따라 정상, 내반 변형(varus), 외반 변형(valgus), 전굴곡(antecurvatum), 후굴곡(recurvatum)으로 구분하였으며(Table 2), 변위 정도를 파악하기 위해 술 후 15주째 방사선 사진상에 나타난 대퇴골의 근위 및 원위 골간부에서 중선(mid-diaphyseal line)을 그은 후 각도계를 이용하여 만나는 교차지점의 각을 구하였다(Fig 2).

골 신연부의 조직학적 소견을 비교, 관찰하기 위해 안락사 후 절단기를 이용하여 골 신연부를 잘라내고 이를 10% neutral buffered formalin용액에서 48시간동안 고정시켰으며 5% nitric acid용액에서 48시간동안 탈회시켰다. 그리고 5% sodium sulfate 용액에서 12시간동안 중화시킨 후 흐르는 수돗물에서 12시간 이상 수세를 거쳐 파라핀 블록을 제작하였으며 5 µm두께로 조직 절편을 만든 후 Masson's trichrome 염색을 실시하여 광학 현미경 BHT-312(Olympus®)에서 저배율(×40)로 관찰하였다.

안락사 후 대퇴골 신연부의 무기질 밀도를 측정하기 위해 정량적 전산화 단층 촬영(37,38)을 시행하였다. Somatom plus-s®(Siemens Co.,Ltd.)를 이용하여 발골 직후의 개체별 좌, 우측 대퇴골을 나란히 놓고 촬영하였으며, 두 군에 있어 골신연부의 무기질 밀도를 비교하기 위해, 군별 좌측 대퇴골의 동일 부위에 대한 우측 대퇴골 신연부의 상대적인 밀도 값의 평균치를 백분율(% BMD)로 나타내어 비교하였다.



**Fig 2.** Illustration of a femur of axial deviation and crossed anatomical axis(mid-diaphyseal line) of proximal and distal bone segment.

**통계학적 분석**

SPSS 9.0®을 이용하여 통계학적 분석을 실시하였으며 Mann-Whitney U test를 실시하여 유의성을 검증하였다(P<0.05).

**결 과**

**술 후 임상 평가**

술 후 부종은 대체적으로 수술 후 24시간 경과시 가장 심했으며 6-7일 경과시에는 열감 및 종창 소견이 거의 소실되었다. 모든 실험견은 수술 직후 기립시부터 술지를 지면에 대고 안정감을 취하려는 듯 보였으나 보행시 술지의 사용을 자제하였으며 체중의 부하를 거의 신지 않았다. 부종 소실 시기가 지나자 정상적인 보행 소견을 보이기 시작했다. 수술 직후에는 모든 실험견에서 관절 운동의 이상 소견을 나타내지 않았으나, 골 신연 완료 후 10두 중 2두의 술지에서 각각 35도, 15도의 슬관절 구축소견이 나타났다. 안락사 직전 보행 소견을 관찰한 결과 3두의 실험견에서 절뚝거리는 증세가 나타났는데, 그 중 실험 I군에 속하는 2두는 각각 술 후 12주 5일, 14주 5일 경과시에 원위측 대퇴부에서 편이 완으로 인한 재골절이 초래되었고, 실험 II군에 속하는 1두는 편 삽입부에서 미량의 혈액성 삼출물이 관찰되었으나 나머지 소견은 정상적이었다. 실험I군의 평균 골 신연율은 15.11±1.23%였으며, 실험 II군의 평균 골 신연율은 14.95±0.82%였다(Table 3).

**신연부 가골의 성숙도**

술 후 방사선 사진상의 골 신연 부위에서 가골 형성이 최초로 관찰되는 시기는 1주일의 휴지기를 경과하고 신연을 시작한 후 1주부터 4주까지 다양하였으며 두 실험군 사이의

**Table 3.** Length of femur, lengthening rate and postoperative complications in the group I and II

Group	No. of dogs	Length of femur		Lengthening rate(%)	Complications
		R	L		
Group I	1	11.6	10.2	13.73	.
	2	11.0	9.4	17.20	Pin loosening
	3	11.9	10.4	14.42	Nonunion
	4	11.4	9.9	15.15	Pin loosening
	5	10.6	9.2	15.22	.
				15.11 ± 1.23(Mean ± S.D.)	
Group II	1	13.6	11.8	15.25	.
	2	15.1	13.2	14.39	Premature consolidation
	3	12.2	10.7	14.02	Nonunion
	4	10.8	9.3	16.13	.
	5	10.0	8.7	14.94	.
				14.95 ± 0.82(Mean ± S.D.)	

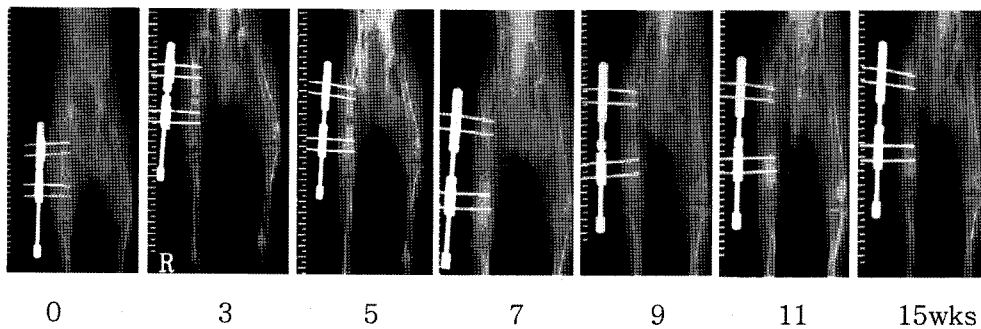
Group I : The dogs with external skeletal fixation.

Group II : The dogs with external skeletal fixation and intramedullary K-wire insertion.

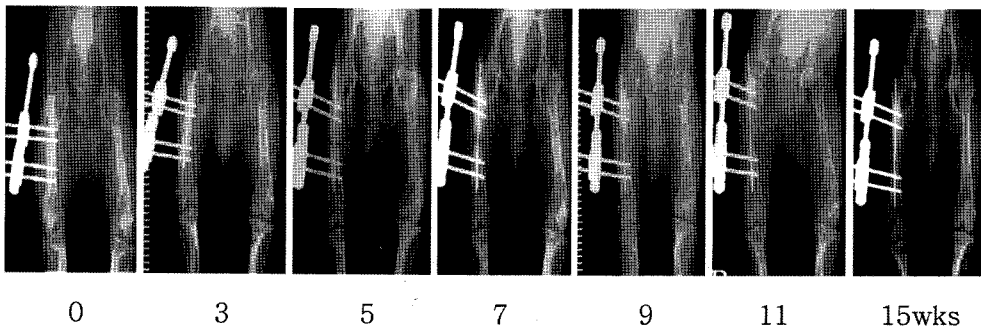
유의적인 차이는 인정되지 않았다. 가골은 신장력이 가해지는 방향과 동일하게 주행하였으며 이완이 진행됨에 따라 골신연 부분에서 뚜렷한 축간대 구조가 관측되기 시작했다. 이는 방사선 투과성이 높은 섬유성 중간대와 석회화되어가는 인접한 가골 조직으로 구성되는데, 이러한 섬유성 중간대가 사라지고 반흔이 형성되는 시기는 실험 I군의 경우 수술 11

±2주 경과 후(Fig 3), 실험 II군의 경우 수술 9±2주 경과 후(Fig 4)인 것으로 나타났다.

실험 II군에 속하는 1두의 실험견 에서는 수술 4주경과 후 조기 골유합 소견을 보여 재차 골절단 후 신연을 시행하였으며, 2두의 실험견 에서는 수술 11, 13주 경과 후 피질 골이 관찰되었다.



**Fig 3.** Postoperative radiographs of anteroposterior(AP) view in a dog with external skeletal fixation.



**Fig 4.** Postoperative radiographs of anteroposterior(AP) view in a dog with external skeletal fixation and intramedullary K-wire insertion.

**Table 4.** The type of distraction callus in the group I and II

Group	No. of dogs	Type of callus
Group I	1	Straight
	2	Straight
	3	Scattered
	4	Attenuated
	5	Straight
Group II	1	Straight
	2	External
	3	Straight
	4	Straight
	5	Straight

Group I: The dogs with external skeletal fixation.

Group II: The dogs with external skeletal fixation and intramedullary K-wire insertion.

**신연부 가골의 형태**

수술 12주 경과 후 촬영한 방사선 사진상에서 대퇴골 신연부 가골의 형태를 살펴본 결과 실험 I군의 경우 직선형 3두를 비롯하여 분산형과 중세형이 각각 1두였으며 실험 II군의 경우 직선형이 4두, 외측형이 1두였다(Table 4).

**대퇴골의 각 변형**

대퇴골의 각 변형은 실험 I군의 경우 4예에서 발생하였는데 2예는 전굴곡(각 6도, 12도) 변형, 2예는 내반(각 6도, 4도) 및 전굴곡(각 12도, 6도) 변형이 나타났고, 실험 II군에서는 1예에서만 발생하였으며 내반(4도) 변형 소견을 보였다(Table 5, Fig 5).

**골 무기질 밀도**

술 후 15주 경과 후 좌측 대퇴골의 비신연부의 골 무기질 밀도값(mg/ml)에 대한 우측 대퇴골의 신연부의 상대적인 골 무기질 밀도값(mg/ml)을 조사한 결과 실험 II군에서의 값

**Table 5.** The type and degrees of axial deviation of lengthened femur in the group I and II

Group	No. of dogs	Type of axial deviation	Degrees of axial deviation
Group I	1	-	-
	2	Antecurvatum	6
	3	Varus/Antecurvatum	6/12
	4	Varus/Antecurvatum	4/6
	5	Antecurvatum	12
Group II	1	-	-
	2	Varus	4
	3	-	-
	4	-	-
	5	-	-

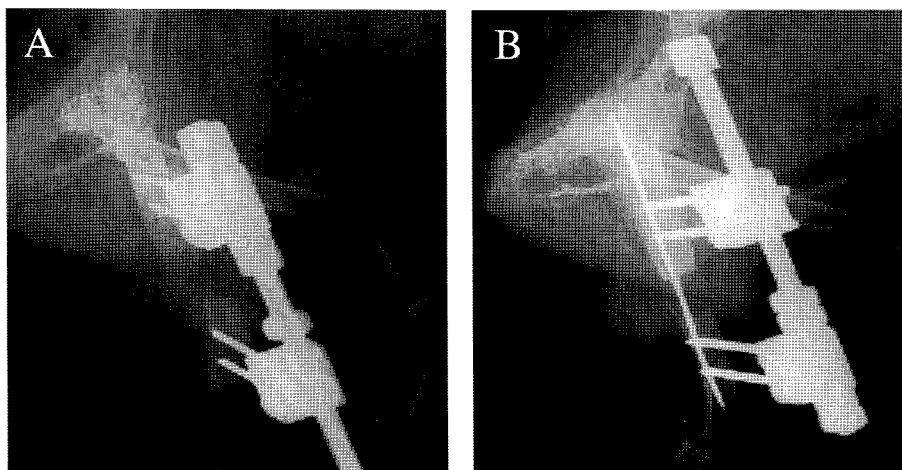
Group I: The dogs with external skeletal fixation.

Group II: The dogs with external skeletal fixation and intramedullary K-wire insertion.

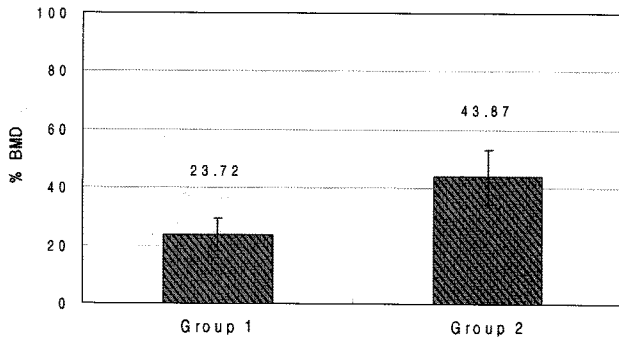
(43.87±9.47%)이 실험 I군의 값(23.72±5.74%)보다 유의적으로 (P<0.05) 높게 나타났다(Fig 6).

**조직학적 소견**

실험 I군의 경우 섬유성 중간대가 잔존하였고 이 부분에서 섬유 연골 및 종축으로 배열된 연골세포가 관찰되었다. 실험 II군의 경우에는 신연부위에서 섬유 조직 및 섬유 연골은 드물게 관찰되었고 종축으로 배열된 연골세포 및 연속성 있는 지주를 관찰할 수 있었다. 또한 피질골의 생성이 확인된 개체도 있었다. 절골 부위에서는 주로 연골 내 골화 과정이, 골막 부위에서는 주로 골막 내 골화 과정이 관찰되었다. 연골조직 및 지주골의 방향성은 실험 I군의 경우 파도와 같은 모양이었고, 실험 II군의 경우 신연력을 가했던 방향과 대체로 평행하였다(Fig 7).



**Fig 5.** Lateral view radiographs after the bone lengthening. A: Mild axial deviation was observed in a dog with external skeletal fixation. B: Linear appearance was observed in a dog with external skeletal fixation supplemented intramedullary K-wire.



**Fig 6.** Percentage of bone mineral density in the Group I and II. Percentage of bone mineral density = (Bone mineral density of lengthened site/Bone mineral density of contralateral nonlengthened site)  $\times$  100. Group I: The dogs with external skeletal fixation. Group II: The dogs with external skeletal fixation and intramedullary K-wire insertion

## 고 찰

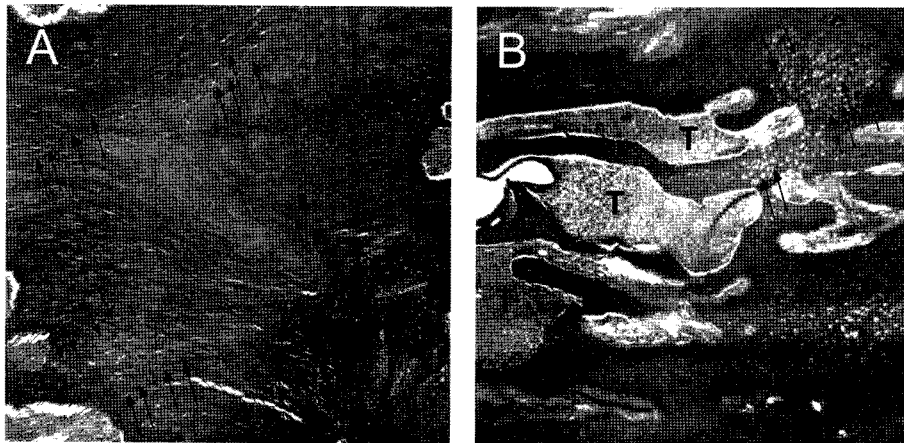
사지의 기형 교정 혹은 골 결손 및 개방성 골절을 치유하기 위한 골 신연술은 1905년 Codivilla가 사람에서 대퇴골 절골 후 종골 골견인을 실시함으로써 처음 소개한 이래로 외부고정 장치를 이용한 골 연장술이 많이 보고되어져 왔으며, 1950년대 이후 Ilizarov의 원형 외고정 장치의 개발과 신연 골형성(16-18) 개념의 도입을 계기로 현재까지 정형외과적 영역에서 많이 이용되어져 오고 있다. 1989년 Ilizarov(16,17)가 제창한 '신연 골형성'이란, 장골을 절단한 후 점진적인 신연력을 가할 경우 골 형성이 자극되며 또한 이완되면서 생기는 간격 부위에 새로운 골이 생성된다는 이론이다.

신생 가골의 형성은 연령, 골막의 상태, 영양 상태, 전신 질환에의 이환 여부, 절골 부위, 주위 연부조직의 상태 등의 내적 요인과 절골 방법, 외부고정 기구의 안정성 등과 같은

외적 요인의 영향을 받는데 이에 따라 성속도와 가골의 형태는 차이를 보인다(14,18,27,33).

Ilizarov는 새로운 골 형성을 유도하기 위한 중요한 인자들로서 골수 및 골내막과 골외막의 보호가 가능한 경피적 절골술, 하루 1.0 mm(0.25 mm $\times$ 4회)의 신연 속도와 리듬, 외부고정 장치의 안정성 등을 기술하였다. 그러나 일정기간의 휴지기를 거친다면 절골술로 인한 다소의 골수내 손상은 큰 임상적 문제를 야기시키지 않는 것으로 보고되고 있으며, 1988년 Kojimoto 등(21)은 골수강 내 손상보다는 골막의 손상이 신생골 형성에 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 즉, 경피적 절골술이 아닌 완전 절골술을 실시하더라도 골막의 보존에 주의를 기울이며 일정기간의 휴지기를 거친다면 아무런 문제가 없다고 주장하였다. 본 실험에서도 골막을 보존함과 동시에 미세 절골기구를 이용하여 완전 절골술을 시행하였으며 1주일간의 휴지기를 두고 골 신연을 실시한 결과 휴지기 동안에도 절골 부위를 중심으로 불완전 가골의 생성 소견이 확인되었고 이후의 결과에 대해서도 만족스러웠다.

골 신연술시 절골 후의 치료 기간은 휴지기, 신연기, 경화기의 3기로 구분된다. 휴지기는 절골술 시행 후 생긴 골수강 내 혈행 장애의 복구 및 국소 염증의 소실에 필요한 시간으로, Ilizarov는 5~7일간의 기간을 둘 것을 보고하였다. 하지만 이는 환축의 나이가 많을수록, 골이 치밀할수록, 절골술에 동반된 외상이 클수록 길어질 수 있다. 본 실험에서는 일주일간의 휴지기를 두었는데, 이 기간 동안 점차 슬지의 열감과 부종이 소실되었고 마지막에는 정상에 가까운 보행 소견을 관찰함으로써 통증이 어느 정도 완화되었음을 확인할 수 있었다. 신연기는 골을 적당한 길이만큼 늘이는 기간으로, 평균 1.0 mm/day의 신연속도로 골을 이완시키게 된다. Ilizarov는 신연속도로 0.5 mm/day를 가한 경우 조기 골 경화를 관찰하였고, 2.0 mm/day를 가한 경우에는 재생역이 빠보다는 섬유성 결합조직으로 가득 찼으며 또한 혈관, 근막, 신경성



**Fig. 7.** Photomicrographs of the lengthened segment at 15 weeks after the surgery (Masson's trichrome stain,  $\times$ 40). A: Histologic section in a dog with external skeletal fixation. Fibrous cartilage and chondrocyte were observed. Arrows indicate the chondrocyte. B: Histologic section in a dog with external skeletal fixation and Intramedullary K-wire. New bone trabeculae formed longitudinally along the tension in the fibrous growth zone. Also, chondrocytes were observed in this region. T indicate the new bone trabeculae and arrows indicate the chondrocyte.

본 내 세포들의 생합성 능력이 저하되어 국소 허혈이 유발되었다고 보고하였다(16-18). 그러나 이러한 신연율은 임상적인 상황을 고려하여 개체의 연령, 뼈 부위 등에 따라 다르게 적용될 수 있는데, 이는 Bojrab 등(4)이 어린 대형견종에서 2.0 mm/day씩 신연하여 사지 기형을 교정하였다는 보고에서 확인할 수 있다. 골 신연시 가골은 신장력이 가해지는 방향과 동일하게 주행하게 되며 이완이 진행되면 골 신연 부분에서 뚜렷한 측간대 구조를 관측할 수 있다. 이는 방사선 투과성이 높은 섬유성 중간대와 석회화 되어가는 인접한 가골 부분으로 구성되는데, 골 신연 완료 후 일정 시간이 지나면 섬유성 중간대가 사라지고 가골의 유합이 일어나며 골막 내 골화기전에 의해 피질골이 생성, 유합되고 골수강이 형성되어 완전 경화가 일어나게 된다.

본 실험에서는 실험견의 대퇴골을 0.5 mm/day씩 5주간 신연을 실시하였는데 1두의 실험견에서 신연 기간 도중 가골이 유합되는 조기 골 경화의 소견이 나타났으며, 나머지 실험견은 아무런 무리 없이 골 신연이 진행되었다. 술 후 방사선 사진상의 골 신연 부위에서 가골 형성이 최초로 관찰되는 시기는 신연 개시 직후에서부터 신연 개시 후 4주까지 다양하였으며 두 실험군 사이의 유의적인 차이는 인정되지 않았다. 경화기는 신연 완료 후부터 외부 고정 장치를 제거하기까지의 시간을 의미하는데, 이 기간 동안 신생 가골의 유합 및 골의 재구성이 일어나게 된다. 1994년 Fischgrund 등(9)은 인의에서는 방사선 전후면 및 양측 사면 사진상에서 피질골화가 네 부위 중 세 부위 이상에서 나타나고 피질골 두께가 2 mm 이상이며 피질골에 불연속성이 없는 경우에 외부고정 기구의 도움 없이 완전 체중 부하가 가능하다고 판단하여 외부고정 장치를 제거하게 된다고 보고하였다. Fischgrund 등(9)과 Paley 등(27)은 대개 성인의 경우엔 경화 기간이 신연 기간의 약 3.4배에 이르고, 소아의 경우엔 2배 정도 소요된다고 하였다.

동물 실험에 있어서는 1988년 Kojimoto(21)가 골막을 보존한 성장기 토끼의 경골을 하루에 0.5 mm(0.25 mm×2회)씩 5주간 신연을 한 경우, 경화기의 3주째에 신연부위의 가골이 유합되었으며 6주째에 섬유성 중간대가 완전 소실되고 치밀한 가골 주름 즉 반흔이 형성되어 외고정 기구를 제거하였으며 23주째에 피질골 및 관상골 조직이 형성되었다고 보고하였다.

본 실험에서는 절골술 후 1주의 휴지기과 5주간의 신연기간을 거쳐 술 후 15주째 안락사시켰기 때문에 신연기의 두 배에 조금 못 미치는 경화기간을 둔 셈인데, 가골이 유합되는 시기는 외고정만을 실시한 실험 I군의 경우 술 후 11±2주째, 외고정 및 골수강 내에 K-강선을 삽입한 실험 II군의 경우 술 후 9±2주째인 것으로 나타났다. 방사선 사진상에서 4곳 가운데 3부분 이상 피질골이 형성되고 불연속성이 없는 경우는 실험 II군 가운데 2두에서만 각 11, 13주째에 나타났다.

고정의 안정성 또한 신생골 형성에 영향을 미치는 중요한 요소에 속하는데, 외고정 기구의 형태에 따라 고정 강도가 저마다 다르다. 외고정이 안정적일 경우 빠른 골 성숙이 유

도되기 때문에 궁극적으로 외고정의 제거시기를 앞당길 수 있으며 장시간의 기구 착용으로 인한 부작용의 발생 빈도를 줄일 수 있다.

골 신연술에 주로 사용되는 외고정 기구의 형태는 원형과 직선형이 있다. 1950년대 Ilizarov에 의해 개발된 이래 많이 사용되고 있는 원형 외고정 장치는 K-강선을 여러 각도에서 교차시키고 장력을 부가함으로써 고정의 안정성을 유지하고 핀 이완의 문제를 줄일 수 있으며, 골 연장술을 비롯하여 여러 가지 변형을 삼차원적으로 교정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 높은 비용 문제를 비롯하여 수술 기법이 난해하고, K-강선에 의해 연부 조직이 양측에서 통과되어 고정되므로 이들 조직 손상의 위험성이 크며, 기구의 부피가 크기 때문에 활동에 많은 지장을 초래하는 문제점도 제기되고 있다(3,25).

1971년 Wagner(32)는 단측형의 외고정 기구를 고안하여 골 신연술을 시행하였는데, 이는 부피가 적기 때문에 심부에도 적용이 가능하고 술식이 쉬우며 일측에서만 관통하므로 연부조직의 손상이 적다는 장점이 있다. 1990년 Paley 등(28)은 여러 종류의 외고정 장치의 기계적인 특성을 평가한 결과 강성도, 전단 응력, 축성 운동에 있어서 핀(half pin)을 이용하여 고정하게 되는 직선형이 가장 견고한 형태라고 하였다. 그러나 두꺼운 핀을 사용하게 되면 K-강선의 사용 시에 비해 삽입된 골부위에서 골수염이나 골수사구 일어날 빈도가 높고, 핀 이완으로 인해 고정의 안정성을 상실할 수 있으며, 과다 신연시 각 변형이 유발되기 쉽고 또한 원형 외고정 기구와는 달리 복잡한 변형의 교정에는 한계가 따르는 등의 단점이 있다(3). 하지만 기구 제작이 용이하고 비용이 비교적 저렴하기 때문에 연구 목적으로 실험 동물의 하악골(13), 대퇴골(30,34), 경골(11,21) 등에 골 신연술을 적용하는 경우 거의 모두 단측형의 외고정 기구를 사용하는 실정이다. 이후 굵은 핀과 단측형 기구를 원형에 접목한 일평면-원형 혼성 외고정법(20,35)이 개발되기도 하였고, 최근들어 1995년 Guichet 등(12)은 골수강내에 삽입 후 신연술을 행할 수 있는 금속성 형태의 Albizzia라는 장치를 개발하였으며, 1997년 Paley 등(26)은 외고정과 함께 교합성 골수내 정(interlocking nail)을 병용하여 골 신연을 실시하였다. 이러한 기구는 단측성 외고정 기구 사용 시 나타날 수 있는 문제점을 보완해 줄 뿐만 아니라 외고정 기구의 제거시기를 앞당겨 줌으로써 활동하기에 편하도록 고안되어 각광받고 있다. 그러나 이러한 신기술을 동물에 적용한 사례는 거의 없으며 고비용 등의 문제로 수의 임상이나 동물 실험에 적용하기엔 다소 무리가 있는 실정이다. 따라서 본 실험에서는 단측성의 외고정 기구를 이용하여 개에서 대퇴골을 신연하는 데 있어서 고정의 안전성을 높이고자 골수강내에 직경 1.5 mm의 K-강선을 삽입하였으며 이 수술법이 신연술에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

수내정을 병용한 골 신연은 1956년 Bost 등(5)이 최초로 실시함으로써 각 변형의 예방 등에 효과적이라고 보고한 바 있으나 그 당시에는 외부고정 기법이 취약했었으며 수술 후

빈번한 감염 및 주변 신경의 손상 등의 문제를 극복하지 못했다.

골 신연시 교합성 골수내 정을 병용하거나 *Albizzia* 등을 사용할 경우 각 변형의 예방, 외부고정 기간의 단축 및 외부고정 기구 제거 후 재골질의 예방 등에 효과적인 것으로 알려져 있으나 골 감염의 위험성, 수내정 핀에 삽입된 스크류의 파열 등 기구 내적인 결함, 골수강내 핀을 삽입하기 위한 과도한 확공으로 인한 열 손상 및 피질골 혈류 장애 등의 임상적 결과가 보고되어지고 있으며, 기존에 각 변형이 있거나 골수강이 좁은 경우는 사용할 수 없다는 단점이 있다. 골 신연술의 심각한 합병증 중의 하나는 가골 형성의 부전이다(27). 이러한 합병증으로 인해 감염율이 증가될 수 있고 각 형성 및 외부고정 기구 제거 후의 재골질 등이 초래되기 때문이다. 그러므로 신연술을 시행할 때에는 가골의 특성을 잘 이해할 필요가 있다. Hamanishi 등(14)은 단순 방사선 사진을 이용하여 신연 골형성시 나타날 수 있는 신생 가골의 모양을 외측형, 직선형, 중세형, 대측형, 주형, 분산형의 6가지로 분류하였다. 이 중 외측형, 직선형은 풍부한 가골 형성을 의미하고 중세형은 중앙, 골수염 등에 기인한 내적 상태의 불량함을 의미하며 대측형은 향후 각 변형이 초래될 가능성을 나타낸다. 분산형은 손상이 심한 피질골 절골술, 조기 신연 및 과도한 신연, 불안정한 외고정 장치 등의 기술적 원인 혹은 감염, 대사성 질환, 영양 상태 결핍 등 환자측 요인에 의해 생길 수 있다고 하였다. Hamanishi 등(14)은 골 신연술시의 이러한 분류 방법은 신연 속도를 조절하고 치유 지수(healing index)를 예측하는데 많은 도움을 준다고 하였다(37,38).

본 실험에서는 실험 I군의 경우 3두는 직선형이었고 분산형과 중세형이 각각 1두였으며 실험 II군의 경우 4두는 직선형, 1두는 외측형이었다. 즉, 외부고정과 골수강내 K-강선을 병용하여 골신연을 행한 실험 II군에서는 가골 형성이 보다 안정적이라는 사실을 확인할 수 있었다.

각 변형은 장관골의 양측에 있는 근육의 불균형으로 인해 발생한다. 즉, 과다 신연시 근육이 풍부한 쪽에 부하가 더 많이 걸리게 되므로 신연 중인 장관골의 축의 변위가 일어나게 되는 것이다. 1990년 Catagni 등은 근위부 상박골 신연시 신연 부위에서 내반 변형의 발생을 보고한 바 있고 1990년 Paley 등은 근위부 경골 연장시 외반 및 후반 변형의 발생과 원위부 경골 연장시 내반 및 후반 변형의 발생을 보고하였다(6,27).

본 실험에서는 실험 I군의 경우 5두 중 4두에서 내반 및 전굴곡 이상 소견(4-12°)이 나타났고 실험 II군에서는 1두에서 내반 이상 소견(4°)을 보였다. 이는 사람에서 외부고정과 수내정을 병용한 골 신연시 각 변형의 예방에 효과적이었다는 Simpson 등의 보고와도 동일하다(5,26,29).

신연부의 골밀도 측정은 골 무기질 함량 비율을 알 수 있게 해주므로 신생골의 경화 정도를 파악할 수 있는 척도가 된다. Harp 등(15)은 개에서 실험적 연장술 후 정량적 전산화 단층촬영(quantitative computerized tomography)을 통해 신연부의 골밀도를 추시한 바 있다. 신연 기간 중 골밀도는

서서히 증가하다가 경화기에 이르면 정상치의 약 75%까지 증가하나 신연 가골의 중심부에서는 골밀도치가 낮게 나타나는 데 이는 섬유성 중간대의 무기질화가 낮기 때문이라고 하였다. 골밀도를 측정하기 위해 이용되는 방법은 초음파 검사, 방사선 검사, 이중 에너지 방사선 흡광도법(dual energy x-ray absorptiometry), 정량적 전산화 단층촬영법(QCT), 핵자기공명법 등 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 Somatom plus-s®(Siemens Co.,Ltd.)를 이용하여 정량적 전산화 단층촬영(22,31)을 실시하였다.

본 실험에서는 술 후 15주가 경과하였을 때, 실험 II군에서 골 신연부의 상대적 골밀도 값(43.87±9.47%)이 실험 I군의 값(23.72±5.74%)보다 유의적으로 높았다(P<0.05). 따라서 골수강 내 강선 삽입은 고정의 안정화에 기여함으로써 골 치유기간을 감소시켜 줄 것이라는 사실을 예측할 수 있다. 골 신연부의 조직학적 소견(13,21)을 살펴보면, 골 신연 기간 도중 나타나는 섬유성 중간대는 섬유 조직으로 구성되어 있으며, 가골 부위는 미세 해면골로 가득 차게 된다. 이후 섬유성 중간대는 종축으로 배열된 비대된 연골 세포를 포함한 섬유 연골 및 유리 연골양으로 바뀌게 되며 빠르게 전환되는 연골내 골화 단계를 보여준다. 신연이 완료될수록 연골내 골화과정을 거치지 않고 직접적인 골 재생이 현저해진다.

본 실험에서는 안락사 후 신생골을 Masson's trichrome 염색법을 통해 광학현미경 BHT-312(Olympus®)상에서 저배율(×40)로 관찰한 결과, 실험 I군의 경우 섬유성 중간대가 잔존하였고 이 부분에서 섬유 연골 및 종축으로 배열된 연골세포가 관찰되었다. 실험 II군의 경우에는 신연부위에서 섬유 조직 및 섬유 연골은 드물게 관찰되었고 종축으로 배열된 연골세포 및 연속성 있는 지주를 관찰할 수 있었다. 또한 피질골의 생성이 확인된 개체도 있었다. 새로이 형성된 지주골은 실험 II군이 보다 나은 연속성과 높은 성숙도를 보여주었다. 이는 외부 고정력이 약할 경우 신연 간격은 커다란 연골을 포함한 미분화된 결합 조직으로 가득 차게 되고, 고정력이 강할 경우에는 연골 단계에 이행없이 보다 활동적이고 직접적인 골재생이 일어난다는, Ilizarov가 개의 경골 신연을 통해 얻은 실험 결과(16,17)와도 일치한다. 골수강 내에 핀이 삽입되어 있던 부위에는 섬유성 막이 형성되어 있었고 염증 세포나 극심한 골수강의 파괴 소견 등은 나타나지 않았다. 오히려 신연부위의 연골세포 및 지주골의 배열이 종축으로 규칙적인 소견을 보여주었다.

결과적으로 본 실험에서는 단축성의 외부고정 기구를 이용한 개의 대퇴골 신연술시 골수강 내에 K-강선의 병용은 고정력의 약화로 인한 재골질 및 각 변형의 예방에 효과적인 것으로 나타났으며 골 신연 과정 중 확인된 가골 형태의 양호한 소견을 통해 향후 안정적인 골유합의 가능성을 예견케 해주었고 골 치유 기간을 감소시켜 주는 것으로 나타났다.

따라서 외부고정기법을 이용하여 개에서 골 신연술을 실시해야 하는 경우 보조적인 골수강 내 K-강선의 삽입은 술 후 결과에 있어서 보다 우수한 성적을 가져다 줄 것으로 생각된다.



### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 한국과학재단 국가지정 연구소제 은행사업(R21-2005-000-10002-0)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- Aldegheri R, Renzi-Brivio L, Agostini S. The callotasis method of limb lengthening. *Clin Orthop* 1989; 241: 137-145.
- Anderson MA, Palmer RH, Aron DN. Improving pin selection and insertion technique for external skeletal fixation. *Compend Contin Educ Pract Vet* 1997; 19: 485-494.
- Bell DF, Eldridge JC. Problems with substantial limb lengthening. *Orthop Clin N Am* 1991; 4: 625-631.
- Bojrab MJ. Current techniques in small animal surgery. 4rd ed. Williams and wilkins. 1998: 950-963
- Bost FC, Larsen LJ. Experiences with lengthening of the femur over an intramedullary rod. *J Bone Joint Surg* 1956; 38(A): 567-584.
- Catagni MA, Cataneo R, Paley D, Villa A. Lengthening of the forearm by the Ilizarov technique. *Clin Orthop* 1990; 250: 125-137.
- Codivilla A. On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. *Am J Orthop Surg* 1905; 2: 353-369.
- Eldridge JC, Bell DF. Problems with substantial limb lengthening. *Orthop Clin N Am*. 1991; 22: 625-631.
- Fischgrund J, Paley D, Suter C. Variables affecting time to bone healing during limb lengthening. *Clin Orthop* 1994; 301: 31-37.
- Fox SM, Bray JC, Guerin SR, Burbridge HM. Antebrachial deformities in the dog: treatment with external fixation. *J Small Anim Pract* 1995; 36: 315-320.
- Frierson M, Ibrahim K, Boles M, Bote H, Ganey T. Distraction osteogenesis. A comparison of corticotomy techniques. *Clin Orthop* 1994; 301: 19-24.
- Guichet JM, Lascombes P, Prevot J. Gradual elongation intramedullary nail for femur. Results of the 52 first cases in 48 patients. *J Orthop Assoc* 1995; 69: 310.
- Hagiwara T, Bell WH. Effect of electrical stimulation on mandibular distraction osteogenesis. *J Cranio-Maxillofac Surg* 2000; 28: 12-19.
- Hamanishi C, Yasuwaki Y, Kikuchi H, Tanaka S, Tamura K. Classification of the callus in limb lengthening. *Acta Orthop Scand* 1992; 63: 430-433.
- Harp JH, Aronson J, Hollis M. Noninvasive determination of bone stiffness for distraction osteogenesis by quantitative computed tomography scans. *Clin Orthop* 1994; 301: 42-48.
- Ilizarov GA. The tension stress effect on the genesis and growth of tissues: PartI. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clin Orthop* 1989; 238: 249-281.
- Ilizarov GA. The tension stress effect on the genesis and growth of tissues: PartII. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop* 1989; 239: 263-285.
- Ilizarov GA. Clinical application of the tension stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop* 1990; 250: 8-26.
- Johnson KA, Roe SC. Use of an aiming device for application of a type-II (bilateral) external fixator to a fractured tibia of a dog. *J Am Vet Med Assoc* 1988; 192: 1573-1576.
- Johnson WD, Fischer DA. Skeletal stabilization with a multiplane external fixation device. *Clin Orthop* 1983; 180: 34-43.
- Kojimoto. Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum. *J Bone Joint Surg* 1988; 70: 543-549.
- Lang T, Augat P, Majumdar S, Ouyang X, Genant HK. Noninvasive assessment of bone density and structure using computed tomography and magnetic resonance. *Bone* 1998; 22: 149-153.
- Lewis DD, Cross AR, Carmichael S, Anderson MA. Recent advances in external skeletal fixation. *J Small Anim Prac* 2001; 42: 103-112.
- Noonan KJ, Leyes M, Forriol F, Canadell J. Distraction osteogenesis of the lower extremity with use of monolateral external fixation. *J Bone Joint Surg* 1998; 80(A): 793-806.
- Paley D. Current techniques of limb lengthening. *J Pediatr Orthop* 1988; 8: 73-92.
- Paley D, Herzenberg JE, Paremain G. Femoral lengthening over intramedullary nail. *J Bone Joint Surg* 1997; 79(A): 1464-1480.
- Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop* 1990; 259: 81-104.
- Paley D, Fleming B, Catagni M, Kristiansen T, Pope M. Mechanical evaluation of external fixators used in limb lengthening. *Clin Orthop* 1990; 250: 50-57.
- Simpson AH, Cole AS, Kenwright J. Leg lengthening over an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg* 1999; 81(B): 1041-1045.
- Steen H, Fjeld TO, Bjerkreim I, Tevik A, Aldegheri R, Trivella G. Limb lengthening by diaphyseal corticotomy, callus distraction, and dynamic axial fixation. An experimental study in the ovine femur. *J Orthop Res* 1988; 6: 730-735.
- Tsurusaki K, Ito M, Hayashi K. Differential effects of menopause and metabolic disease on trabecular and cortical bone assessed by peripheral quantitative computed tomography. *Br J Radiol* 2000; 73: 14-22.
- Wagner H. Operative lengthening of the femur. *Clin Orthop* 1978; 136: 125-142.
- Yasui N, Kojimoto H. Factors affecting callus distraction in limb lengthening. *Clin Orthop* 1993; 293: 55-60.
- Yasui N, Sato M, Ochi T, Kimura T, Kawahata H, Kitamura Y, Nomura S. Three modes of ossification during distraction osteogenesis in the rat. *J Bone Joint Surg* 1997; 79: 824-830.
- 김휘택, 이상현. 국산 외고정 장치(Dyna-Extor?)의 임상적 응용. *대한정형외과학회지* 2000; 35: 845-9.
- 연성찬, 송해룡, 이효종. 개에서 대퇴골 골절의 치유를 위한 Joshi external fixator의 적용 예. *한국임상수의학회지* 2000; 17: 505-509.
- 오창욱, 인주철, 박병철, 박일형, 차기봉. 경골에서 골 연장술 후 신연 가골에 미치는 영향인자. *대한정형외과학회지* 2000; 35: 553-557.
- 옥인영, 한창환, 강동현. 사지 연장술시 가골의 분류와 평가. *대한정형외과학회지* 1997; 32: 580-588.
- 이성림, 황재민, 연성찬, 이효종. 개에서 Tiletamine/Zolazepam 합제에 Acepromazine 또는 Fentanyl/Xylazine/Azaperone 합제의 병용투여시 마취효과. *한국임상수의학회지* 2001; 18: 22-28.