

토끼에서 단측성 외고정기구를 이용한 대퇴골 신연술의 합병증

송해룡¹, 황재민, 구자민, 김현희, 이원익, 김근섭, 이효중, 장기철², 연성찬^{*}

¹경상대학교 의과대학 정형외과학교실, ²건강과학연구소,
수의과대학 동물의학연구소
(게재승인 : 2002년 8월 29일)

Complications of Femoral Lengthening Using Monolateral External Fixator in Rabbits

Hae-Ryong Song¹, Jae-Min Hwang, Ja-Min Koo, Hyeon-Hui Kim,

Won-Ik Lee, Gon-Sup Kim, Hyo-Jong Lee, Ki-Churl Chang² and Seong-Chan Yeon^{*}

¹Department of Orthopaedic Surgery, ²Medical Institute of Health Science College of Medicine,
Institute of Animal Medicine, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

(Accepted : August 29, 2002)

Abstracts : Thirty rabbits underwent femoral lengthening using monolateral external fixator to evaluate results and complications of limb lengthening. Twenty rabbits survived until consolidation of callus formed at the lengthening site after finishing lengthening. Ten rabbits were sacrificed during femoral lengthening because of complications. Survived 20 rabbits were classified to two groups according the amount of lengthening: group I (10% lengthening of the femoral length); group II (20% lengthening). There was no significant difference of consolidation time between two groups ($p=0.25$). Varus angulation at the lengthening site occurred in 60% of two groups and the amount of varus angulation in group II was larger than that of group I. Degenerative change of articular cartilage at the medial condyle of the distal femur was found in 30% of group II. Of sacrificed ten rabbits, 5 had pin loosening with pull out of pins from the femur, 2 had femoral fractures around the pin-tract site, and 3 had severe osteomyelitis of the femur around the pin-tract site.

Key words : femoral lengthening, monolateral external fixator, complications, rabbit

초록 : 단측성 외고정기구를 이용한 대퇴골 신연술의 합병증을 조사하기 위하여 30마리의 토끼를 대상으로 대퇴골 신연술을 실시하였다. 20마리의 토끼는 대퇴골 신연부의 가골이 완전경화될 때까지 생존하였다. 10마리의 토끼는 대퇴골 신연 도중 합병증으로 인해 안락사 시켰다. 20마리의 토끼는 대퇴골 신연 비율에 따라 두 군으로 분류하였다: I군(대퇴골 길이의 10%를 신연한 군), II군(대퇴골 길이의 20%를 신연한 군). 두 군 사이에서 대퇴골 신연부위의 골경화 기간은 통계학적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다($p=0.25$). 두 군의 60%에서 골신연부위의 내반변형이 발생하였으며, I군에 비해 II군에서 보다 높은 내반각 변형을 관찰할 수 있었다. II군의 30%에서 대퇴골 내측관절염기에서 퇴행성 관절염 소견이 나타났다. 골신연을 중단했던 10마리의 토끼에서 핀 빠짐 5두, 골절 2두, 골수염 3두의 합병증이 나타났다.

핵심어 : 대퇴골 신연술, 단측성 외고정기구, 합병증, 토끼

이 논문은 1999년도 산학협동연구비(BK 메디텍)의 지원에 의해 연구되었음.

* Corresponding author: Dr. Seong-Chan Yeon, Department of Surgery, College of Veterinary Medicine, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Gyeongnam, Republic of Korea. Phone: 82-55-752-7633, Fax: 82-55-751-5803

E-mail : scyeon@nongae.gsnu.ac.kr

서 론

개방성 골절로 인한 골손실에서 골유합을 위하여 골단축술을 시행한 경우나, 성장판부위를 침범한 골절에서 성장판손상으로 인해 골성장이 지연되었거나 멈춘 경우에 유발되는 골단축은 골절의 치료과정에서 흔히 발생하는 합병증이다. 그리고 선천성 골격기형으로 인한 사지 단축도 임상에서 흔히 볼 수 있다. 이러한 골단축을 치료하기 위하여서는 외고정기구를 이용한 골신연술이 필요하게 된다. 사람의 경우 외고정기구에 부착된 신연기구를 이용하여 하루에 1mm씩, 이를 4회로 나누어 골연장을 시행하고, 동물에서는 나이에 따라 매회 0.25mm씩 하루에 2-3회 골신연을 시행하여야 골막에서 신생골이 형성되고 신경, 혈관, 근육조직의 파열없이 신연이 일어날 수 있다. 인의에서는 외고정기구를 이용한 골신연술시 발생하는 합병증¹⁻⁸에 관한 보고는 많이 있어 왔으나 수의외과영역에서는 거의 보고된 바 없다^{9,10}. 저자들은 골신연술시 발생할 수 있는 합병증을 관찰하기 위하여 외고정 기구를 이용하여 토끼의 대퇴골 신연술을 실시하였으며 이에 따른 실험결과를 분석하였다.

재료 및 방법

실험동물

생후 8주, 체중이 1,300g전후인 토끼 30두를 대상으로 대퇴골신연술을 시행하였다. 토끼 30두를 골신연의 범위에 따라 15두씩 2군으로 나누었다. 대조군으로는 같은 연령으로서 아무런 수술적 조치를 하지 않은 2두를 사용하였다. 골신연의 범위는 골신연길이를 대퇴골길이로 나눈 백분율로 계산하였으며 제1군은 10%, 제2군은 20%이었다.

대퇴골 신연술

수술방법은 xylazine(rompun[®], 바이엘화학)을 5mg/kg로 근육주사하여 전마취한 뒤 tiletamine/zolazepam(zoletil[®], virbac, France)을 15mg/kg로 근육주사하여 전신마취를 실시하였다. 대퇴골의측부위에 피부 절개를 하고 대퇴두갈래근을 견인시킨 다음 대퇴골의 골막을 종으로 절개하였다. 대퇴돌기 아래부위에 직경1.5 mm의 드릴로 뼈에 구멍을 낸 다음 직경 2.3 mm의 하프핀(half-pin)을 삽입하였다. 이 핀에 토끼의 대퇴골에 맞게 개발된, 4개의 핀을 삽입하여 고정할 수 있는 단축성 외고정 기구를 부착시켜 고정한 다음 대퇴골 원위부 성장판으로부터 근위부위 1cm 상방에, 앞에서 실시한 핀 삽입방법과 마찬가지로 핀을 삽입하였다. 나머지 2개의 핀을 남은

위아래의 외고정 기구의 구멍에 삽입하여 절골술상부에 2개의 하프핀, 절골술하부에 2개의 하프핀을 사용하여 총 4개의 하프핀이 단축 외고정기구에 연결하였다(Fig 1, 2). 절골술은 air saw를 이용하여 대퇴골의 중간 부위에서 시행하였으며 절골술시 air saw로 인한 골막의 손상을 피하였다. 수술 후 3일간 매일 cephalixin sodium(세팔렉신나트륨[®], 유영)을 15mg/kg씩 2회 근육주사하였다. 수술 후 1주일간의 휴지기를 두었으며, 이후 하루에 2회씩, 1회에 0.25mm씩 골신연하였다.

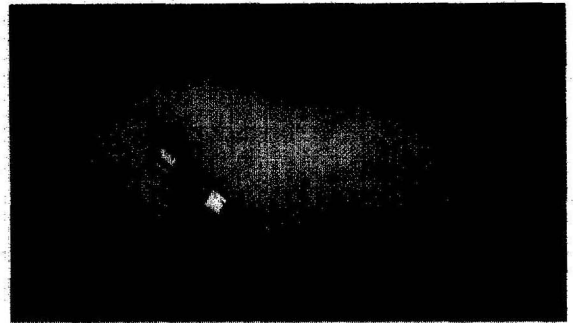


Fig. 1. Photograph of a rabbit with monolateral external fixator



Fig. 2. Osteotomy was performed at the midshaft of the femur and external fixator was applied.

방사선 검사

수술후 1주간격으로 방사선 촬영을 하여 신생골 형성 과정을 관찰하고 골유합기간을 측정하였다. 골유합기간은 방사선사진에서 골결손부위에 형성된 신생골이 내측 및 외측에서 피질골형성을 보이는 시기로 결정하였다(Fig 3, 4). 방사선 사진상에 보이는 가골은 1992년 Hamanishi 등¹¹이 분류한 방법에 따라 방사선학적 소견

을 토대로 6가지 형태 즉 외측(external), 직선(straight), 중세(attenuated), 대측(opposite), 주형(pillar), 분산형(scattered)으로 구분하였고 골신연시 유발되는 합병증을 분석하기 위하여 신생골형성부위의 각형성, 삽입된 핀주위의 연부조직감염 및 핀주위 골조직의 골수염, 편이완 및 핀부러짐, 핀주위 골절 등을 관찰하였다.

조직병리 검사

골신연이 관절연골에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 신연부위의 완전 경화가 이루어진 다음 토끼를 안락사시킨 뒤 대퇴골과 경골을 발골하였다(Fig 5, 6). 발골된 골조직은 4% 포르말린 용액에 24시간 저장한 다음, 5% nitric acid 용액에 24시간 저장하여 탈회시킨 후 5% sodium sulfate 용액에서 12시간 동안 중화시킨 후 12시간 이상 수세를 거쳐 파라핀블록을 만들었다. 대퇴골의 관절연골과 경골의 관절연골조직을 H-E 염색한 다음 관절연골의 병리조직학적인 소견을 관찰하였다

통계처리

모든 결과치는 통계프로그램(SPSS 9.0[®])을 이용하여 분석을 실시하였으며 Mann-Whitney U Test를 실시하여 유의성을 검증하였다(P<0.05).

결 과

총 30두중 10두에서 편이완, 골수염, 골절 등으로 골신연을 중단하고 안락사를 시켰다(Table 1). 5두(17%)에서 핀주위 골조직의 조송증으로 편이 이완되면서 편이 빠지는 현상을 보였다. 편이 빠진 시기와 빠진 핀의 갯수는 수술후 4주째가 2두에서 3개, 6주째가 1두에서 2개, 9주째가 1두에서 1개, 11주째가 1두에서 1개였다. 핀주위의 골절은 2두(7%)에서 유발되었으며 수술후 2주째 절골술의 상방에서 골절을 보였다. 3두(10%)에서 핀주위의 골조직이 감염되어 골막하가골이 형성되고 심한 골수염소견을 보였다. 30두중 20두에서는 골신연을 중단시킬 수 있는 합병증이 발생하지 않았고 신연부위의 가골이 완전경화될 때까지 생존하였으며 골신연의 범위가 10%, 20%인 군에서 각각 10두씩이었다(Table 2, 3). 실험 1군(10% 신연군)과 실험 2군(20% 신연군)의 최종 방사선 사진에서 대퇴골의 평균 신연길이는 1.1±0.1cm(최소 0.9cm, 최대 1.3cm), 2.0±0.3cm(최소 1.7cm, 최대 2.4cm)이었다. 신연부위의 평균 골경화기간은 실험 1군에서 42.5±9.9일(최소 28.0일, 최대 57.0일), 실험 2군에서 47.4±12.1일(최소 35.0일, 최대 73.0일)이었으며 양군에서 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.25). 신연

부위의 1cm당 평균 골경화기간은 실험 1군에서 38.7±7.1일(최소 26.1일, 최대 46.7일), 실험 2군에서 24.0±6.4일(최소 17.5일, 최대 39.7일)이었으며 양군에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.01). 본 실험에서 나타난 골신연부위의 각 형성은 주로 내반변형이었으며 실험 1군에서 6례, 실험 2군에서 6례가 발생하였으며 평균 내반각은 11.3도(실험 1군), 16.7도(실험 2군)이었다. 퇴행성 관절염소견은 실험 1군에서는 관찰되지 않았으며 실험 2군(10례)의 3례에서 대퇴골 내측관절염의 관절연골 및 대퇴골무릎관절의 연골에서 퇴행성 관절염 소견이 나타났었다. 3례 모두에서 관절연골의 두께 감소(대조군의 40%, 50%, 60%), 관절연골세포수의 감소, 연골세포의 배열이상 등을 보였으며 1례에서는 현저한 관절연골 두께의 감소(대조군의 10%)와, 관절연골하 골조직의 경화소견을 관찰할 수 있었다(Fig 7-9).

고 찰

외고정기구를 이용한 골신연술의 합병증으로는 외고정 핀 주위 감염 및 핀 부러짐, 신경혈관손상, 신연부위에 서서히 형성되는 신생가골의 재골절 및 각변형, 근육구축으로 인한 관절운동의 제한 등을 들 수 있다^{12,13}. 골신연시 근육 및 기타 연부조직도 신연되어야 하기 때문에 근육구축이 연부조직의 긴장을 가장 많이 유발시키게 된다. 근육의 구축은 관절운동의 제한, 관절내 압력 증가, 관절연골의 압박 등을 유발시키게 된다¹⁴⁻¹⁶. 이러한 관절의 변화는 관절내 관절액의 감소를 초래하고 관절연골의 영양을 공급하는 관절액의 감소는 관절연골의 퇴행성 변화를 유발시켜 퇴행성 관절염을 초래하게 된다. 골신연술시 퇴행성 관절염유발 요소 중 골신연범위가 가장 많은 영향을 미친다고 보고되어 왔다¹⁷. 토끼 및 개를 이용한 동물실험에서 경골의 골신연범위가 30%를 넘을 경우에는 무릎관절의 근위부 경골관절연골에서 glycosaminoglycan 합성 및 양의 감소를 유발하고 퇴행성 관절염을 유발하며 성장판 연골의 성장을 저해시켜 골길이의 감소를 유발한다고 보고되고 있다^{9,10}. 이러한 관절염의 유발을 방지하기 위하여서는 골길이의 20%이내에서 골신연을 해야하고 외고정기구를 인접관절 상방으로 장착시켜 경첩기구(hinge)를 이용하여 관절운동을 시키거나 관절을 신연시켜 관절연골이 압박받는 것을 방지하는 것을 권장하고 있다. 본 연구에서는 골신연범위가 20%이었음에도 불구하고 30%신연에서 보이는 무릎관절의 퇴행성 관절염소견이 나타났다.

본 연구에서 관절염소견이 대퇴골 내측 관절염에서 유발된 원인으로는 신연부위의 내반형성을 들 수 있다.

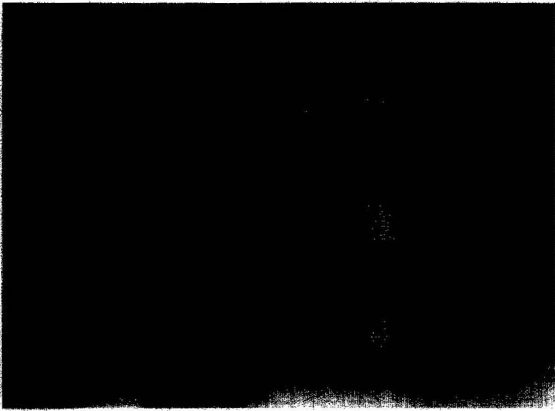


Fig 3. Radiograph 6 weeks after osteotomy showing 20% femoral lengthening

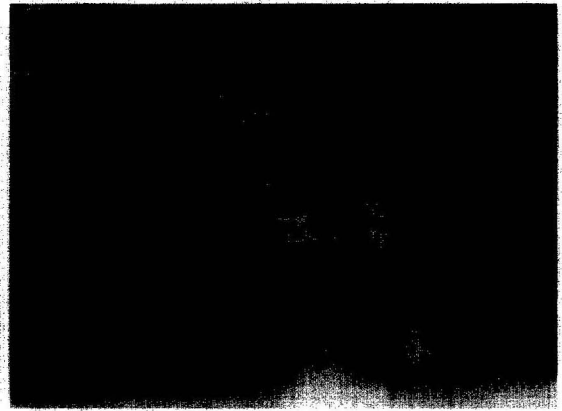


Fig 4. Radiograph 9 weeks after osteotomy showing consolidation at the lengthening site.

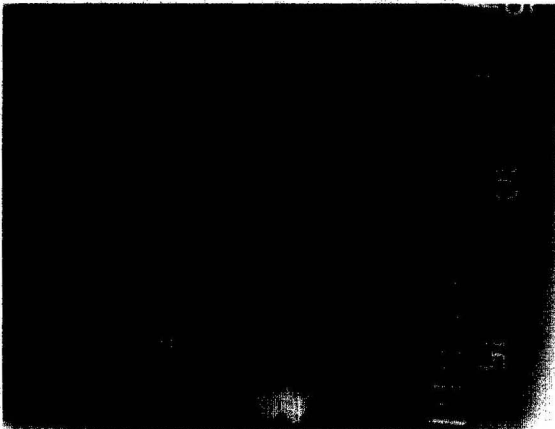


Fig 5. Radiograph of dissected lengthened femur at 12 weeks after osteotomy showing corticalization.



Fig 6. Dissected specimens of the knee joint



(A)



(B)

Fig 7. The distal medial condyle of the lengthened femur

- A. Articular cartilage (AC) showing mild arthritic change with decreased thickness, decreased cellularity, and cluster formation of chondrocyte
- B. AC showing severe arthritic change with markedly decreased thickness and subchondral sclerosis



Fig 8. AC of the contralateral femur

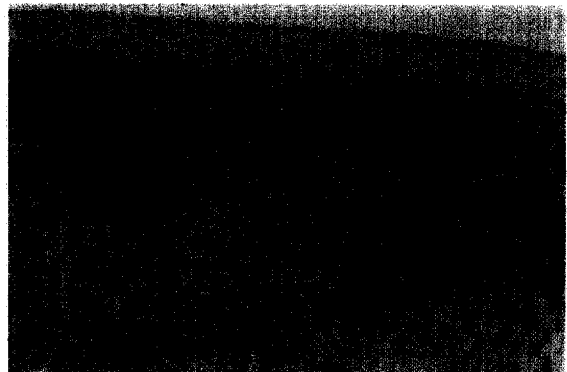


Fig 9. AC of the femur of control

Table 1. Complications of the femoral lengthening using monolateral external fixator in rabbits

No.	Length(cm) of the femur		Lengthening rate(%)	Complication	Axial deviation	
	Right femur	Left femur			Type	Degrees
1	12.0	11.5	4.3	Pin loosening	Varus	40.0
2	12.5	11.3	10.6	Infection		
3	10.0	9.0	11.1	Infection	Varus	23.0
4	-	-	-	Pin loosening	Antecurvatum	26.0
5	13.0	11.5	13.0	Pin loosening		
6	-	-	-	Fracture		
7	13.5	11.3	19.5	Pin loosening	Varus	26.0
8	-	-	-	Infection		
9	-	-	-	Pin loosening	Varus	18.0
10	-	-	-	Fracture	Varus	28.0

Table 2. Results of 10% femoral lengthening using monolateral external fixator in rabbits

No.	Length(cm) of the femur			Lengthening rate(%)	Callus type	Healing time(days)	Healing time(days) per cm	Axial deviation	
	Right femur	Left femur	R-L*					Type	Degrees
1	12.7	11.5	1.2	10.0	Straight	30.0	26.1	Varus	14.0
2	12.1	11.0	1.1	10.0	Straight	46.0	41.8		
3	11.6	10.5	1.1	10.0	Attenuated	49.0	46.7	Varus	10.0
4	13.8	12.5	1.3	10.0	Straight	56.0	44.8	Varus	10.0
5	12.7	11.5	1.2	10.0	Straight	35.0	30.4	Antecurvatum	10.0
6	10.5	9.5	1.0	10.0	Straight	40.0	42.1	Varus	10.0
7	13.4	12.2	1.2	10.0	Straight	42.0	34.4	Antecurvatum	8.0
8	10.6	9.6	1.0	10.0	Straight	42.0	43.8		
9	14.3	13.0	1.3	10.0	Straight	57.0	43.9	Varus	4.0
10	9.4	8.5	0.9	10.0	External	28.0	32.9	Varus	20.0
Average	12.1	11.0	1.1	10.0		42.5	38.7	Average of varus	11.3
SD	±1.6	±1.4	±0.1			±9.9	±7.1	Average of Antecurvatum	9.0

*Difference between right and left femur

Table 3. Results of 20% femoral lengthening using monolateral external fixator in rabbits

No.	Length(cm) of the femur			Lengthening rate(%)	Callus type	Healing time(days)	Healing time(days) per cm	Axial deviation	
	Right femur	Left femur	R-L*					Type	Degrees
1	12.0	10.0	2.0	20.0	Straight	35.0	17.5	Varus	22.0
2	11.4	9.5	1.9	20.0	External	42.0	22.1	Varus	8.0
3	10.8	9.0	1.8	20.0	External	35.0	19.4		
4	14.4	12.0	2.4	20.0	Straight	42.0	17.5	Varus	14.0
5	10.2	8.5	1.7	20.0	Straight	41.0	24.1	Ante-curvatum	15.0
6	10.2	8.5	1.7	20.0	External	45.0	26.5	Varus	18.0
7	14.4	12.0	2.4	20.0	Scattered	63.0	26.3	Varus	16.0
8	12.6	10.5	2.1	20.0	Straight	49.0	23.3		
9	11.0	9.2	1.8	20.0	Scattered	73.0	39.7	Ante-curvatum	20.0
10	12.6	10.5	2.1	20.0	Straight	49.0	23.3	Varus	22.0
Average	12.0	10.0	2.0	20.0		47.4	24.0	Average of varus	16.7
SD	±1.5	±1.3	±0.3			±12.1	±6.4	Average of Ante-curvatum	17.5

*Difference between right and left femur

내반형성이 있을 경우 생체역학적인 축선이 무릎관절의 중심을 지나지 않고 내측을 지나기 때문에 무릎관절의 내측에 체중부하가 많이 걸리게 되어 내측의 관절연골조직이 압박을 많이 받기 때문이다. 이러한 내반형성은 단측성 외고정기구(monolateral external fixator)를 이용하여 대퇴골 연장술을 실시했을 때 흔하게 나타난다. 대퇴골에는 많은 근육들이 부착되어 있고 내향근의 부피가 외향근의 부피보다 많기 때문에 내향근이 저항하고 외고정기구가 외측에만 고정되어 골신연부위의 외측이 내측보다 더 많이 신연되기 때문에 골신연시 내반변형이 흔하게 발생 된다. 본 연구에서도 양측근에서 60%의 내반변형을 보였으며 신연범위가 10%인 실험군보다 20%인 실험군에서 더 높은 정도의 내반변형을 보였다. 신연범위가 더 많을수록 대퇴골의 내외측근육긴장의 부조화로 내반변형이 더 심해질 수 있다. 내반변형을 예방하기 위하여서는 원형외고정기구인 일리자로프기구를 사용해서 신연시키거나, 단측성 외고정기구를 사용시는 신연부위를 5-10% 과신연시킨 후 다시 단축시키면서 교정할 수 있다. 하지만 원형외고정기구의 경우 높은 비용문제와 더불어 수술기법이 난해하고, 연부조직 손상의 위험성이 크며, 기구의 부피가 크기 때문에 활동에 많은 지장을 초래하는 단점이 있고 단측성 외고정기구의 경우 연부조직의 손상이 적고 기구제작이 용이하며 비교적 저렴하기 때문에 연구목적으로 많이 사용되고 있는

실정이다. 또한 대퇴골무릎관절에 관절염소견을 보인 원인으로는 대퇴골 연장술시 수술한 다리가 길어져서 양쪽 다리길이를 동일하게 하기 위한 무릎관절의 굴곡범위의 증가로 볼 수 있다. 굴곡범위가 증가되면 무릎인대가 긴장되고 대퇴골무릎관절의 압력이 높아져서 관절연골이 압박되고 퇴행성 변화가 올 수 있기 때문이다. 그리고 토끼의 경우 기타 직립동물과는 달리 무릎관절을 항상 굴곡하고 있는 자세가 또 다른 원인이 될 수 있다. 그러므로 대퇴골 연장술의 실험모델로는 토끼보다는 직립동물을 선택하는 것이 향후 연구에서 필요하다.

핀빠짐이나 핀부러짐, 핀주위 골절현상은 골연장술시 매우 흔한 합병증으로, 특히 골조송증이 있는 경우 핀이 삽입된 부위의 골조직이 핀을 고정할 수 없기 때문에 나타나는 것이다. 대퇴골 신연시 통증이 있으므로 체중부하를 하지 않으려는 경향이 있기 때문에 골조송증이 더 심해질 수 있는 것도 원인이 될 수 있다. 본 연구에서도 골조송증으로 인하여 실험군의 17%에서 핀이완 및 핀빠짐이 있었고 7%에서 핀주위 부위의 골절이 있었다. 골감염은 대개 핀주위의 연부조직감염으로 시작되어 골감염으로 진행된다. 핀주위 피부조직의 소독 및 항생제 주사가 핀감염을 예방할 수 있으나 실험동물인 경우 매일 핀주위를 소독하는 것이 현실적으로 어려운 실정이다. 연부조직의 염증시 대개는 통증이 있고 삼출액이 나오게 되는데 사람의 경우 통증을 호소할 수 있고

외관상 염증반응이 있어 초기에 치료가 가능하나 실험 동물에서는 초기에 파악하기가 매우 힘들다. 본 연구에서도 골수염이 실험군의 10%에서 유발되었으나 초기에 발견되지 않아 편이완 및 편빠짐으로 연결되어 골신연을 중단하게 되었다. 편주위 연부조직의 염증시 초기에 적절하게 치료하였으면 골수염을 예방할 수 있었을 것으로 사료된다.

신연된 부위의 골경화기간은 대개 사람에서는 나이에 따라 다르지만 신연골 1cm당 30일이 소요된다. 본 연구에서는 실험1, 2군에서의 골경화기간은 신연범위에 따라 유의한 차이가 있었다. 실험 2군에서 골경화기간이 단축된 원인으로는 매회 골신연을 0.25mm씩 작은 범위로 신연하였고, 총 신연범위가 1cm 및 2cm로 매우 근소한 차이이었으며, 평균 골유합기간의 차이가 5일정도로 매우 근소하였기 때문에 2cm 신연군에서 골경화기간이 단축된 결과가 나왔으나 임상적으로는 큰 의미가 없다 고 사료된다.

결 론

토끼의 대퇴골 신연술은 여러가지 합병증을 유발하였으며 이러한 합병증은 정상길이의 대퇴골을 신연하였기 때문이라 사료된다. 사람에서는 양쪽 다리길이가 차이가 있는 경우 짧은 다리를 정상측 다리길이와 같게 하는 골신연술을 시행하기 때문에 본 연구의 동물시험보다 합병증의 빈도가 적다. 그러므로 사람과 유사한 동물 실험을 하기 위하여서는 동물의 성장판을 파괴시켜 한쪽 다리를 짧게 한다음 골신연술을 시행하여야 할 것이다. 한쪽 다리를 짧게 하는 급성 골단축술을 시행할 경우 근육등 연부조직이 단축된 골길이에 비하여 늘어나기 때문에 근력약화로 보행이 지장을 받게 된다. 그러므로 근력이 회복될 수 있는 충분한 시간을 기다려서 골신연술을 시행하여야 한다. 본 연구에서는 토끼의 대퇴골 신연술후 신연부위의 골경화가 끝나는 시기까지의 합병증을 분석하였으며 향후 장기간의 추시중에 발생하는 합병증을 평가하기 위해서는 동물의 사망연령까지의 보다 긴 추시기간이 필요하고 직립동물을 이용한 실험이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Garcia-Cimbrelo E, Olsen B, Ruiz-Yague M, et al. Ilizarov technique: results and difficulties. *Clin Orthop*, 283:116-123, 1992.
2. Glorion C, Poulliquen JC, Langlais J, et al. Femoral

Lengthening using the callotasis method: study of the complications in a series of 70 cases in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*, 16:161-167, 1996.

3. Hantes ME, Malizos KN, Xenakis TA, et al. Complications in limb-lengthening procedures: a review of 49 cases. *Am J Orthop*, 30:479-485, 2001.
4. Naudie D, Hamdy RC, Fassier F, et al. Complications of limb-lengthening in children who have any underlying bone disorder. *J Bone Joint Surg Am*, 80:18-24, 1998.
5. Moonan KJ, Leyes M, Forriol F, et al. Distraction osteogenesis of the lower extremity with use of monolateral external fixation: a study of two hundred and sixty-one femora and tibiae. *J Bone Joint Surg Am*, 80:793-806, 1998.
6. Paley D. Problems, bostacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop*, 250:81-104, 1990.
7. Price CT, Mann JW. Experience with the Orthofix device for limb lengthening. *Orthop Clin North Am*, 22:651-662, 1991.
8. Velazquez RJ, Bell DF, Armstrong PF, et al. Complications of use of the Ilizarov technique in the correction of limb deformities in children. *J Bone Joint Surg Am*, 75:1148-1156, 1993.
9. Stanitski DF. The effect of limb lengthening on articular cartilage: An experimental study. *Clin Orthop*, 301:68-72, 1994.
10. Stanitski DF, Rossman K, Torosian M. The effect femoral lengthening on knee articular cartilage: The role of apparatus extension across the joint. *J Pediatr Orthop*, 16:151-154, 1996.
11. Hamanishi C, Yasuwaki Y, Kikuchi H, et al. Classification of the callus in limb lengthening. *Acta Orthop Scand*, 63:430-433, 1992.
12. Dahl MT, Gulli B, Berg T. Complications of limb lengthening: a learning curve. *Clin Orthop*, 301:10-18, 1994.
13. Faber FW, Keessen W, van Roermund PM. Complications of leg lengthening: 46 procedures in 28 patients. *Acta Orthop Scand*, 62:327-332, 1991.
14. Brownlow HC, Simpson AH. Complications of distraction osteogenesis: a changing pattern. *J Orthop*, 1:31-36, 2002.
15. Herzenberg JE, Scheufele LL, Paley D, et al. Knee range of motion in isolated femoral lengthening. *Clin*

- Orthop*, 301:49-54, 1994.
16. Lehman WB, Grant AD, Atar D. Preventing and overcoming equinus contractures during lengthening of the tibia. *Orthop Clin North Am*, 22:633-642, 1991.
17. Andrew GY, Richard S, Dent R. Attempted limb lengthenings beyond twenty percent of the initial bone length: results and complications. *J Pediatr Orthop*, 20:151-159, 2000.