

골막절개술이 장관골의 연골내 성장 및 각변형에 미치는 영향

—가토 대퇴골의 실험적 연구—

서울대학교 의과대학 정형외과학교실 · *대전 을지병원 정형외과

이덕용 · 최인호 · 최원식*

= Abstract =

The Effect of Division of the Periosteum on Enchondral Growth and Angular Deformity of Long Bones —An Experimental Study on Rabbits' Femora—

Duk Yong Lee, M.D., In Ho Choi, M.D. and Won Sik Choy, M.D.*

Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea

*Department of Orthopedic Surgery, Dae Jon Eul Ji General Hospital, Dae Jon, Korea

The purpose of this experiment was to determine the effect of dividing the periosteum circumferentially on the growth of long bones and the effect of partial division of the periosteum on the formation of angular deformity of growing bones and to investigate the tethering effect of the periosteum on the epiphyseal plate as its possible mechanism.

One hundred twenty rabbits, one-month old with average weight of 570g, were divided into four groups. In the first group, the periosteum of the right distal femur was completely divided circumferentially; in the control group, the medial aspect of the right distal femur was surgically approached but the periosteum was not divided, in the third group, the medial half of the periosteum of the right distal femur was divided transversely; in the fourth group, the medial half of the periosteum was divided and resutured. Following the operation, X-rays were taken every two weeks until twelfth week and then at twentieth week and the length of the femur and the physis-shaft angle were measured.

1. After complete circumferential division of the periosteum, the ratios of right over left femoral length before operation, and two, four, six, eight, ten, twelve, and twenty weeks postoperatively, were $100.0 \pm 0.0\%$, $102.1 \pm 0.1\%$, $102.9 \pm 0.0\%$, $102.9 \pm 0.0\%$, $103.5 \pm 0.0\%$, $103.6 \pm 0.0\%$, $103.5 \pm 0.0\%$, and $103.5 \pm 0.0\%$, respectively. The overgrowth was most conspicuous during the first two weeks. On the other hand, in the control group there was slight overgrowth, but this was not statistically significant.
2. After partial division of the periosteum, the physis-shaft angles before operation, and two, four, six, eight, ten, twelve, and twenty weeks postoperatively, were $91.0 \pm 1.2^\circ$, $87.8 \pm 2.5^\circ$, $84.4 \pm 2.4^\circ$, $83.1 \pm 3.2^\circ$, $84.2 \pm 3.5^\circ$, $86.4 \pm 2.3^\circ$, $86.2 \pm 2.3^\circ$, and $86.8 \pm 1.9^\circ$, respectively. The valgus deformity was induced most conspicuously during the first four weeks, whereas partial correction of the deformity took place between the eighth and tenth week postoperatively. After repair of the partially divided periosteum, only 0.9° of angular deformity was observed at sixth week, but this became statistically insignificant at tenth week as were in the complete division and control groups.
3. Histologically, no difference was observed in the cartilage cells of the epiphyseal plate and the bony trabeculae of the metaphysis between the control group and other groups. The divided peri-

* 본 논문은 1986년도 서울대학교병원 대단위 임상연구비 보조로 이루어진 것임.

* 본 논문의 요지는 1986년 제30차 추계학술대회에서 발표된 바 있음.

osteum regenerated at the ninth week, this being same also in the repaired group. There was no statistical difference in the thickness of the epiphyseal plate between the operated femur and the opposite normal femur in the completely divided group, this being same in the control group. There was also no statistical difference in the thickness of the epiphyseal plate between the medial and lateral halves in the partially divided group, this being same in the repaired group.

Based on these results, the investigator was able to draw following conclusions.

1. In the growing long bone, complete circumferential division of the periosteum near the epiphyseal plate results in stimulation of growth and lengthening of bone.
2. Partial transverse division of the periosteum results in asymmetrical overgrowth, inducing an angular deformity.
3. It is suggested that the mechanism of overgrowth following division of the periosteum lies in the removal of the tethering effect of the periosteum.

These findings may bear clinical implications on leg length inequality and angular deformities following certain fractures and epiphyseal injuries during growth period.

Key Words: Periosteal tethering, Angular deformity, Bone lengthening.

서 론

성장기 아동에서는 골절후 사지길이 부동이나 각변형이 유발되기 쉽다. 예를 들어 대퇴골 골간부 골절후에 발생하는 과성장으로 인한 하지부동이나 전박골의 굴곡절(greenstick fracture)후에 발생하는 각변형, 상박골 과상골절후에 발생하는 내번주 또는 경골 근위부 골절후에 발생하는 외번슬등의 발생기전은 아직 정확히 규명되어 있지 않다.

Sola¹⁾ 등은 개와 원숭이의 대퇴골 및 경골의 골막을 박리한 후 과성장을 관찰하였고, Jenkins²⁾ 등은 이를 소아마비 후유증 소아의 하지부동을 교정하는데 이용하고자 하였는데, 그들은 골막 박리후 골단판 활동의 증가를 골단으로의 상대적 혈류증가로 설명하였다.

Crilly³⁾ 는 병아리의 요골 골막을 횡으로 절개하여 성장이 촉진됨을 관찰하였고, Warrell과 Taylor⁴⁾ 는 쥐의 경골 골막을 횡으로 절개한 후 과성장을 관찰하고 이를 골단판에 대한 압력감소이거나 외상으로 인한 혈류증가로 설명하였다.

그러나 Richards와 Brookes⁵⁾ 는 골절후 정맥 혈류정체에 의한 조직 pH의 상승이 미숙 골조직의 골화를 돕는다고 주장하였으며, Kery⁶⁾ 등도 경골에서 골막이 벗겨지거나 골간부 골절이 일어날 경우 골단판의 증식세포대(zone of proliferative cells)의 두께가 증가하는 것을 관찰하여 과성장은 골간단의 정맥 혈류정체 때문이라고 설명하였다.

Houghton과 Rooker⁷⁾ 는 유약가토의 경골 근위 골막을 횡으로 내측 반만 절개하여 실험적으로 외번슬을 유발시켰으며, 아마도 이것은 골막의 골단

판에 대한 사슬효과(tethering effect)의 제거때문일 것이라고 주장하였다. Rooker와 Salter⁸⁾ 는 소아에서 경골 근위 골간단부 골절후 발생한 외번슬의 예를 발표하면서 각변형은 아마도 골단판의 골성장을 조절하는 골막의 탄력성이 상실되었기 때문이라고 주장하였다. Carvell⁹⁾ 은 유약가토 경골 근위 골막에 횡절개를 가하여 경골의 장축 과성장을 관찰하였으나, 이때 골단판의 연골세포 활동이 증가하는 것은 발전하지 못하였다.

그러나 이들 보고는 골막 절개후 관찰한 과성장이나 각변형 형성을 객관적으로 입증할 통계적 분석이 이루어지지 않았으며, 성장과정에서의 시간별 추적도 되어 있지 않다. 해부학적으로도 경골이나 요골은 그 동반골로 인하여 실험모형으로서 적합치 않다. 또한 그 발생기전도 추측의 범주를 벗어나지 못하였다.

연구목적

본 실험의 목적은 동물의 대퇴골에서 골막절개로 성장이 촉진되거나 각변형이 형성되는 것을 측정하여 통계적 분석을 통해 이를 객관적으로 입증하고 아울러 그 발생기전을 규명하는데 있다.

이로써 소아골절후 발생하는 과성장이나 각변형의 발생기전이 규명된다면 이는 임상적으로 사지부동이나 각변형의 교정에 골막절개술이라는 새로운 개념을 응용할 수 있는 이론적 근거를 제시하게 되는 것이다.

그리하여 저자는 유약가토의 대퇴골 원위부 골막에 횡으로 완전 또는 부분절개를 가함으로써

첫째, 골막의 완전 횡절개시 장축 성장속도가 증

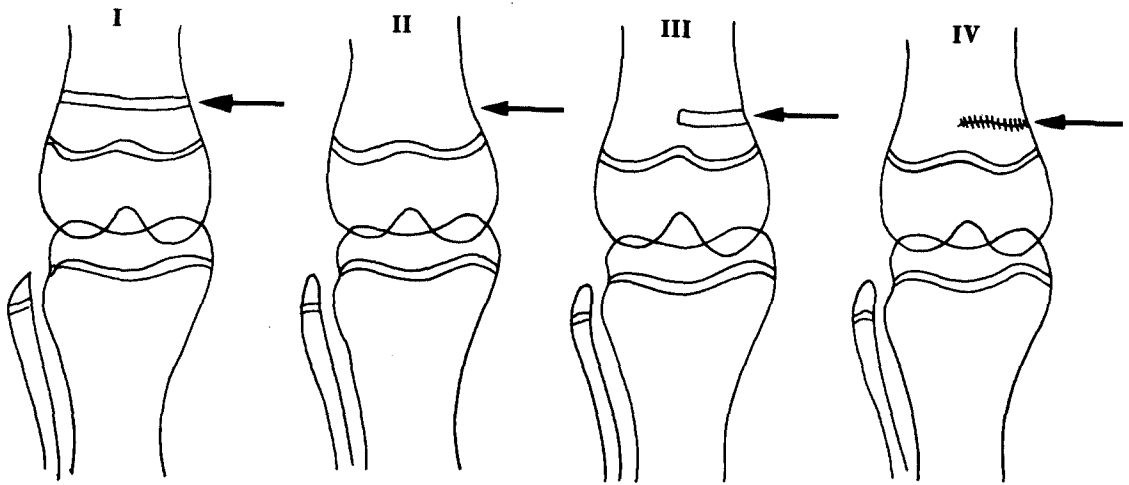


Fig. 1. The relationship of periosteal division to the distal femur in each group of rabbits.

Fig. 2. An antero-posterior radiograph of rabbit's femora is being taken with the patellae facing forward.

가되어 길이가 늘어나는가? 둘째, 골막의 부분형 절개시 비대칭적 성장축진으로 각변형을 초래하는가?, 그리고 셋째, 그 발생기전은 과연 사슬효과의 제거로 인한 것인가를 규명하고자 다음과 같은 실험을 하였다.

연구재료 및 연구방법

1. 연구재료

실험재료는 서울대학교병원 동물실험실에서 분양 받은 생후 1개월 전후의 체중 550g 내지 600g의 성장기 New Zealand계 백색가토(*Oryctolagus cuniculus*)를 사용하였고, 웅의 구별은 하지 않았다. 전 실험기간중 사료는 삼양식품사 제조 페리트형 고형 압축사료(마우스용)를 공급하였고, 식수는

Fig. 3. Measurement of the femoral length and the physis-shaft angle.

수도물을 사용하였으며, 간간히 홍당무등의 야채를 공급하였고, 기타 사육조건은 동일하게 하였다.

2. 연구방법

총 120마리의 유약가토를 다음과 같은 4군으로 나누어 제 20주까지 실험을 진행시켰다(Fig. 1).

제 I군 (30마리): 우측 대퇴골 원위부 골막을 횡으로 완전 절개한 군.

제 II군 (30마리): 대조군으로 우측 대퇴골 원위부 내측에 수술적 도달만하고 골막은 절개하지 않은 군.

제 III군 (30마리): 우측 대퇴골 원위부 골막의 내측 반만 횡으로 부분절개한 군.

제 IV군 (30마리): 우측 대퇴골 원위부 골막의 내측 반을 횡으로 부분 절개한 후 다시 봉합한 군.

연구기간은 유약가토의 성장속도가 생후 20~30일부터 지속되기 시작하다가 생후 70일에 이르면 둔화되며, 또한 자, 웅 및 좌, 우 뒷다리에서 같다는 보고¹⁴⁾에 근거하여 성장이 거의 완료되는 12주까지는 2주 간격으로 관찰하였고, 성숙기인 20주에 다시 최종적으로 관찰하였다.

각군의 가토의 우측 하지의 털을 깎은 후 50mg/ml ketamine을 0.5cc 근육주사, 20% urethane 2.5cc를 복강내 주사로 전신마취를 한 뒤, 무균조작하에 우측 대퇴골 원위부 내측에 종으로 약 2cm 정도의 피부절개를 가한 후 내측광근(vastus medialis

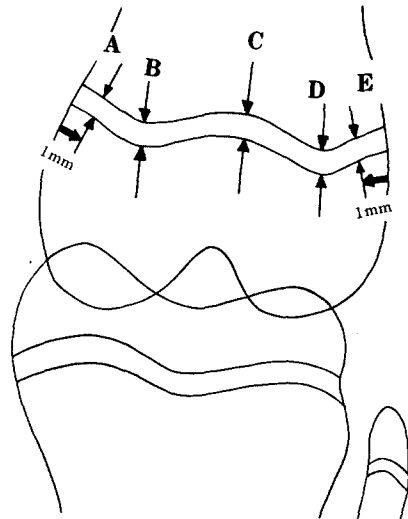


Fig. 4. Measurement of the thickness of the epiphyseal plate at five reference points of the distal femur.

muscle)과 내슬괘부근(medial hamstring muscles) 사이로 대퇴골 원위부에 도달하여 골막을 노출시켰다.

제 I군에서는 원위 골단판으로부터 4mm 떨어진 골간단 부위에서 대퇴골에 수직이 되도록 골막을 횡으로 완전히 절개한 후 약 2mm정도 골간부 쪽으로 박리하였다. 제 II군에서는 같은 방법으로 대퇴골에 도달하였으나, 골막은 절개하지 않았다. 제 III군에서는 골막의 내측 반만 횡으로 부분절개한 후 약 2mm정도 골간부 쪽으로 박리하였다. 제 IV군에서는 제 III군과 마찬가지로 부분절개한 후 현미경하에 다시 8-0 nylon으로 봉합하였다.

실험동물은 술전 및 술후 2주, 4주, 6주, 8주, 10주, 12주, 20주에 각각 하지 방사선 촬영을 실시하여 골성장과 각변형 정도를 측정하였다.

방사선 촬영은 X선 관구(tube)로부터 카세트(cassette)의 거리가 50cm떨어지도록 조정된 뒤, 가토를 양와위로 눕힌 채로 슬개부의 털을 깎아 슬개골이 잘 보이게 한 뒤, 이 슬개골이 정면을 향하도록 하고 2회 반복촬영하여 그중 슬개골이 보다 정면을 향하고 있는 사진을 택하여 대퇴골의 길이와 골간판-골간각(physis-shaft angle, 이하 PS 각이라 함)을 측정하였다(Fig. 2).

대퇴골의 길이는 대퇴골두의 최고점에서 대퇴골 내과의 하연까지의 거리를 측정하였고(Fig. 3), 방사선 촬영시 발생하는 확대도를 교정하여 실제길이를 산출하였다. 방사선 확대도는 30마리의 가토를 전술한 동일 조건하에서 방사선 촬영을 한 후 회생

Fig. 5. Sequential radiographic measurements of the femoral length. An example of group I.

시켜 실제 대퇴골의 길이를 재어 산출하였고, 그 확대도는 1.008 ± 0.00083 이었다. 또한 상대적인 과성장률 산출하기 위하여 우측길이/좌측길이의 백분율을 구하였다.

PS각은 대퇴골 원위 골단판의 최저부위 두점을 연결하는 선과 대퇴골 근위협부의 중앙과 대퇴골 원위 골단판의 중앙을 연결하는 선이 이루는 외측 각도를 측정하였다(Fig. 3).

조직학적 검사는 각 군마다 술후 6주부터 2주간격으로 무작위로 각기 2마리씩 희생시켰다. 이밖에 실험도중에 자연사한 동물도 각 시기군 ± 1 주에 추가로 포함시켰다. 희생동물의 대퇴골 원위 골단판을 포함하는 조직을 얻어 hematoxylin-eosin (이하 H-E라 함) 염색으로 표본을 만들어 골단판내의 각 연골대(zone)별 연골세포의 양상, 골간단 골주(bony trabeculae)의 양상, 절개된 골막의 치유과정, 및 골단판의 두께를 시기적으로 서로 비교해 보았다. 골단판의 두께는 대퇴골 원위 골단판의 내측 경계로부터 1mm깊은 부위(A), 골단판의 내측 최저부위(B), 골단판의 최고부위(C), 골단판의 외측 최저부위(D), 골단판의 외측 경계로부터 1mm깊은 부위(E)를 정하고(Fig. 4), 각 부위의 두께를 서로 비교하였다.

이리하여 얻어진 모든 측정치는 한국과학기술원의 SAS(statistical analysis system) package를 이용

하여, 사전검증인 F-test와 Duncan's multiple range test, 그리고 group t-test를 하여 그 결과를 분석하였다.

연구성적

측정은 개인적인 오차를 제거하기 위하여 모든 측정은 저자 단독으로 시행하였으며, 3회 반복 측정하여 그 평균치를 택하였는 바, 대퇴골 길이의 재측정 값은 0.5mm이하, PS각의 재측정값은 0.5°이하로 정확하였다.

1. 길이의 변화

제 I군에서의 술후 시기별 좌우 대퇴골 길이의 측정값(Fig. 5)의 평균은 Table 1과 같으며, 그 우측길이/좌측길이의 백분율은 술전, 술후 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20주에 각기 $100.0 \pm 0.0\%$, $102.1 \pm 0.0\%$, $102.9 \pm 0.0\%$, $102.9 \pm 0.0\%$, $103.5 \pm 0.0\%$, $103.6 \pm 0.0\%$, $103.5 \pm 0.0\%$, $103.5 \pm 0.0\%$ 이었다(Table 1). 제 II군에서의 술후 시기별 좌우 대퇴골 길이의 측정값(Fig. 6)의 평균은 Table 1과 같으며 그 우측길이/좌측길이의 백분율은 술전, 술후 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20주에 각기 $100.0 \pm 0.0\%$, $100.6 \pm 0.0\%$, $100.0 \pm 0.0\%$, $100.0 \pm 0.0\%$, $100.0 \pm 0.0\%$, $100.0 \pm 0.0\%$, $100.0 \pm 0.0\%$, $100.0 \pm 0.0\%$ 이

Table 1. Comparison of femoral lengths between the complete periosteal division group(Group I) and the controup(Group II)

Weeks	Circumferential periosteal division(Group I)			Control(Group II)		
	Right*(mm)	Left**(mm)	Right/Left(%)	Right(mm)	Left(mm)	Right/Left(%)
0	52.7±3.8	52.7±3.8	100.0±0.0 ***	52.5±3.3	52.5±3.3	100.0±0.0
2	59.9±3.6	58.7±3.8	102.1±0.0	60.4±4.1	60.0±3.8	100.6±0.0
4	67.0±4.3	65.1±4.3	102.9±0.0	65.8±4.4	65.8±4.5	100.0±0.0
6	72.6±4.6	70.5±4.2	102.9±0.0	69.8±4.9	69.7±4.9	100.0±0.0
8	79.3±3.6	76.6±3.7	103.5±0.0	76.3±4.6	76.2±4.6	100.0±0.0
10	83.9±4.0	81.0±4.1	103.6±0.0	79.3±4.5	79.3±4.5	100.0±0.0
12	90.1±3.9	87.0±3.8	103.5±0.0	84.2±4.3	84.1±4.4	100.0±0.0
20	93.2±4.1	90.0±4.1	103.5±0.0	90.1±0.3	90.0±0.3	100.0±0.0

Note: *, mean plus or minus one standard deviation for experimental side

**, mean plus or minus one standard deviation for normal side

All differences between two successive periods are not significant except where indicated

(***P[t]<0.0001).

었다(Table 1).

이 결과를 통계학적으로 t-test를 하여 검정한 결과, 제 I 군과 제 II군간에 술후 2주에서는(P[t]<0.04)로 유의한 차이가 있었고, 술후 4, 6, 8, 10, 12, 20주에서는(P[t]<0.0001)로 유의한 차이가 있었다(Fig. 7).

기간별 길이의 변화는 각 시기간에 t-test를 시행한 결과, 제 I 군에서는 술전과 술후 2주 사이에서

는 유의한 차이가 있는(P[t]<0.0001) 반면 나머지 시기들 사이에서는 유의한 차이가 없었으며(P[t]>0.10), 제 II군에서는 각 시기간에 유의한 차이가 없었다(P[t]>0.16)(Table 1).

2. 각도의 변화

조직검사를 위해 희생하였거나 또는 자연사했던 가토를 제외하면 생존동물은 제 I 군에서는 술후 2

Fig. 6. Sequential radiographic measurements of the femoral length. An example of group II.

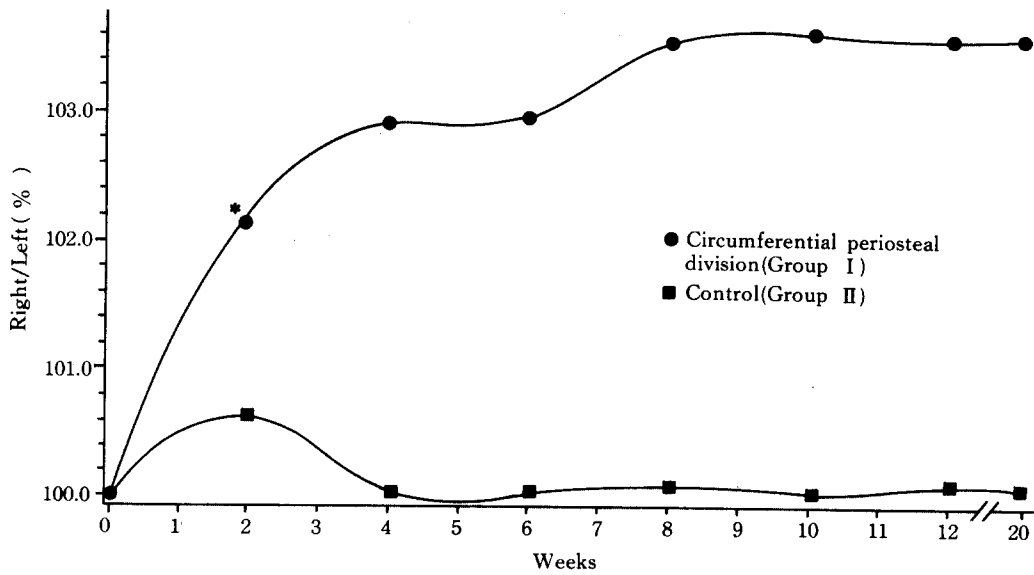


Fig. 7. The ratio of right/left femoral length in the complete periosteal division group and in the control group.

* $P[t] < 0.04$ at second week and $P[t] < 0.0001$ thereafter

Fig. 8. Sequential radiographic measurements of the physissshaft angle. An example of group I.

주에 26마리, 4주에 26마리, 6주에 22마리, 8주에 19마리, 10주에 17마리, 12주에 11마리였고, 20주까지 생존하였던 가토는 7마리였다. 술후 시기별 PS각(Fig. 8)은 술전, 술후 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20주에 각기 $91.2 \pm 1.4^\circ$, $91.6 \pm 1.6^\circ$, $91.3 \pm 1.6^\circ$,

$90.9 \pm 1.3^\circ$, $91.4 \pm 1.6^\circ$, $91.1 \pm 1.3^\circ$, $91.3 \pm 1.5^\circ$, $91.0 \pm 1.3^\circ$ 이었다(Table 2).

제 II군의 생존동물은 술후 2주에 25마리, 4주에 21마리, 6주에 21마리, 8주에 20마리, 10주에 18마리, 12주에 13마리였고, 20주까지 생존하였던

Table 2. Changes in the physis-shaft angle in each group

Weeks	Circumferential Periosteal division (Group I)		Control(Group II)		Hemicircumferential Periosteal division (Group III)		Hemicircumferential Periosteal suture (Group IV)	
	No. of rabbits	Mean±S.D.* (degrees)	No. of rabbits	Mean±S.D. (degrees)	No. of rabbits	Mean±S.D. (degrees)	No. of rabbits	Mean±S.D. (degrees)
0	30	91.2±1.4	30	90.9±1.1	30	91.0±1.2 **	30	90.6±0.6
2	26	91.6±1.6	25	90.9±0.9	30	87.8±2.5 **	29	90.4±0.8
4	26	91.3±1.6	21	91.0±1.2	30	84.4±2.4	29	90.0±1.1
6	22	90.9±1.3	21	91.1±1.1	26	83.1±3.2	25	89.7±1.2
8	10	91.4±1.6	20	91.0±1.3	21	84.2±3.5 ***	19	89.8±0.9
10	17	91.1±1.3	18	90.8±1.2	17	86.4±2.3	16	90.3±0.9
12	11	91.3±1.5	13	91.0±1.0	11	86.2±2.3	9	90.2±1.0
20	7	91.0±1.3	6	90.8±0.7	7	86.8±1.9	9	90.7±0.8

Note: *, standard deviation

All differences between two successive periods are not significant except where indicated

(**P[t]<0.0001, ***P[t]<0.03).

가토는 6 마리였다. 술후 시기별 PS 각(Fig. 9)은 술 전, 술후 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20주에 각기 90.9±1.1°, 90.9±0.9°, 91.0±1.2°, 91.1±1.1°, 91.0±1.3°, 90.8±1.2°, 91.0±1.0°, 90.8±0.7°이었다(Table 2).

제Ⅲ군의 생존동물은 술후 2주에 30마리, 4주에 30마리, 6주에 26마리, 8주에 21마리, 10주에 17마리, 12주에 11마리였고, 20주까지 생존하였던 가토는 7 마리였다. 술후 시기별 PS 각(Fig. 10)은 술 전, 술후 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20주에 각기 91.0±

Fig. 9. Sequential radiographic measurements of the physis-shaft angle. An example of group II.

Fig. 10. Sequential radiographic measurements of the physis-shaft angle. An example of group II. Development of genu valgum is evident.

Fig. 11. Sequential radiographic measurements of the physis-shaft angle. An example of group IV.

Table 3. Duncan's multiple range test for the physis-shaft angle

Weeks	Group	No. of rabbits	Mean	Duncan's* grouping
0	I	30	91.2	A
	II	30	90.9	A
	IV	30	90.6	A
	III	30	91.0	A
2	I	26	91.6	A
	II	25	90.9	A B
	IV	29	90.4	B
	III	30	87.8	C
4	I	26	91.3	A
	II	21	91.0	A
	IV	29	90.0	B
	III	30	84.4	C
6	I	22	90.9	A
	II	21	91.1	A
	IV	25	89.7	B
	III	26	83.1	C
8	I	19	91.4	A
	II	20	91.0	A B
	IV	19	89.8	B
	III	21	84.2	C
10	I	17	91.1	A
	II	18	90.8	A
	IV	16	80.3	A
	III	17	86.4	B
12	I	11	91.3	A
	II	13	91.0	A
	IV	9	90.2	A
	III	11	86.2	B
20	I	7	91.0	A
	II	6	90.8	A
	IV	9	90.7	A
	III	7	86.8	B

*Same letters mean no statistically significant differences between groups.

1.2°, 87.8±2.5°, 84.4±2.4°, 83.1±3.2°, 84.2±3.5°, 86.4±2.3°, 86.2±2.3°, 86.8±1.9°이었다(Ta-
ble 2).

제 IV군의 생존동물은 술후 2주에 29마리, 4주에 29마리, 6주에 25마리, 8주에 19마리, 10주에 16마리, 12주에 9마리였고, 20주까지 생존하였던 가토는 9마리였다. 술후 시기별 PS 각(Fig. 11)은 술전, 술후 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20주에 각기 90.6

Fig. 12. Microphotograph of the divided periosteum in group I at the first postoperative week (H-E, ×100).

Fig. 13. Microphotograph of the divided periosteum in group I at the sixth postoperative week. Repair process is in progress but the periosteum is still thin(H-E, ×100).

Fig. 14. Microphotograph of the divided periosteum in group I at the ninth postoperative week. Complete repair of the periosteum is evident(H-E, ×100).

±0.6°, 90.4±0.8°, 90.0±1.1°, 89.7±1.2°, 89.8±0.9°, 90.3±0.9°, 90.2±1.0°, 90.7±0.8°이었다(Ta-
ble 2).

Fig. 15-A, B. Microphotograph of the lateral **A)** and medial **B)** epiphyseal plate of group III at the sixth postoperative week(H-E, $\times 100$).

이 결과는 통계학적으로 사전검증으로 F-test를, 사후검증으로 Duncan's multiple range test를 시행하였다(Table 3). 술전에서는 4군들 사이에 유의한 차이가 없었으나($P[F] > 0.21$), 술후 2주에서는 4군들 사이에 유의한 차이가 있었고($P[F] < 0.0001$), Duncan's multiple range test 결과 I군, II군사이 및 II군, IV군사이를 제외하고는 나머지 군들 사이에 유의한 차이가 있었다.

술후 4주 및 6주에서는 4개군들 사이에 유의한 차이가 있었고($P[F] < 0.0001$), Duncan's multiple range test결과 I군과 II군사이를 제외하고는 나머지 군들 사이에 유의한 차이가 있었다.

술후 8주에서는 4개군들 사이에 유의한 차이가 있었고($P[F] < 0.0001$), Duncan's multiple range test 결과 I군, II군사이 및 II군, IV군사이를 제외하고는 나머지 군들 사이에 유의한 차이가 있었다.

술후 10주, 12주 및 20주에서는 4개군들 사이에 유의한 차이가 있었고($P[F] < 0.0001$), Duncan's multiple range test결과 I군, II군, IV군들 사이를 제외하고는 나머지군들 사이에 유의한 차이가 있었다.

기간별 PS각의 변화는 각 시기간에 t-test를 시행하였다(Table 2). 제III군에서는 술전과 술후 2주

사이, 및 2주와 4주 사이에서는 유의한 차이가 있었고($P[t] < 0.0001$), 8주와 10주사이에서도 유의한 차이가 있었으나($P[t] < 0.03$), 나머지 4주와 6주사이, 6주와 8주사이, 10주와 12주사이 및 12주와 20주사이에서는 유의한 차이가 없었다($P[t] > 0.10$). 제I군, 제II군 및 제IV군에서는 각 시기간에 유의한 차이가 없었다($P[t] > 0.12$).

3. 조직학적 소견

조직학적 소견상 모든 군들에서 뚜렷한 소견의 차이를 발견할 수 없었다. 즉 골단판내에서의 각 연골 대별 연골세포의 양상과 골간단 골주의 양상에는 차이가 없었다. 대퇴골 원위부 골막의 완전 또는 부분형절개후 골막의 재생은 술후 9주에는 이루어져 있었다(Fig. 12, 13, 14). 이는 골막 재봉합군에서도 마찬가지였다.

과성장이 골단판의 두께의 증가를 동반하는 것인가를 알고자 제I군에서 술후 6주의 가토 3마리의 우측과 좌측의 골단판의 두께($B+D/2$)를 서로 비교해 보았던 바 각각 $281.7 \pm 59.6\mu\text{m}$, $384.0 \pm 94.6\mu\text{m}$ 로 서로 유의한 차이가 없었다($P[t] < 0.09$). 과성장이 유발될 때 성장잠재력의 탈진으로 인해 골단판의 조기유합이 오는지를 알고자 제I군에서

Fig. 16. Sequential radiographic measurements of the physis-shaft angle after lateral hemi-circumferential division of the periosteum. Development of genu varum is evident.

술후 12주의 가토 8마리의 우측과 좌측의 골단판의 두께($B+D/2$)를 서로 비교해 보았던 바 각각 $256.7 \pm 70.2 \mu\text{m}$, $252.3 \pm 70.5 \mu\text{m}$ 로 서로 유의한 차이가 없었다($P(t) > 0.47$).

각형성이 되는 기전을 알고자 방사선 소견상 각형성이 가장 뚜렷한(Table 3) 골막 부분절개군(제Ⅲ군)의 술후 6주의 가토 5마리를 희생시켜 조직을 구한 바, 내측 골단판의 두께($A+B/2$)는 $315.8 \pm 83.4 \mu\text{m}$, 외측 골단판의 두께($D+E/2$)는 $326.4 \pm 88.4 \mu\text{m}$ 로 서로 유의한 차이가 없었다($P(t) > 0.43$) (Fig. 15).

고 찰

소아에서 대퇴골 골간부 골절후에 발생하는 각변형, 상박골 과상골절후에 발생하는 내번주, 또는 경골 근위부 골절후에 발생하는 외번슬등은 잘 알려진 임상적 문제들이나 그 발생기전은 아직 정확히 규명되어 있지 않다.

장관골의 근위 및 원위 골단판으로부터 골간부에 이르기까지 전 장관골의 피질을 둘러싸고 있는 소아의 골막은 성인에서와는 달리 골형성능력이 크며, 두께가 두껍고 탄력성이 커서 골의 생역학적인 안정도에 크게 기여한다. 특히 소아의 골막은 골간

부보다는 골단판에 강력하게 부착되어 있으며, 고유한 탄력성에 의하여 장관골의 장축 성장을 조절한다고 추정된다. Shapiro¹⁹⁾ 등은 성장기 가토에서 Ranvier 연골주위홈(perichondral groove)을 구성하는 섬유세포들과 섬유색(fibrous bundle)이 골단판의 둘레를 에워싸는 역학적 지지역할을 하며, 골막은 골피질에는 비교적 헐겁게 부착되나 fibrous roof에 의해 연골주위홈을 지나 골단에 강력히 부착된다고 보고하였다.

따라서 골단판에 부착되어 있는 골막을 완전 절개하여 골성장이 촉진되거나, 또는 부분 절개하여 각형성이 유발되는 것을 관찰하고 아울러 그 기전이 주위조직의 외상으로 인한 혈류증가에 있는지, 아니면 사슬효과의 제거에 있는지를 규명할 필요가 있다. 이러한 것이 규명된다면 성장기 소아의 골절에서 하지부동이나 부정유합의 예방이나 교정에 응용될 수 있을 것이다.

실험적으로 골막의 박리나 절개로 성장이 촉진되거나 각변형을 유발한다는 보고는 더러 있었다^{8, 15, 16)}. 그러나 이들 모두 실험동물의 마리수가 적고, 추적기간이 짧아 이를 객관적으로 입증할 통계적 분석이 이루어지지 않았으며, 성장이 끝날 때까지의 시간별 추적도 없었다.

저자는 각군 30마리씩의 유약가토를 사용하여 대

퇴골 원위부 골막을 완전 절개하였을 때(제Ⅰ군)의 과성장과 부분 절개하였을 때(제Ⅲ군)의 각변형 형성을 성장이 끝날 때까지 시기적으로 관찰하고 정상치와의 대비를 산출하여 통계학적으로 검토하였다.

실험모형으로서 경골 근위부는 PCS anserinus와 비골이 개재하여 적합치 않으며, 이점 요골도 마찬가지이다. 따라서 저지는 건이 전혀 부착되지 않고 동반골이 없으며, 또한 길이가 가장 길고 성장이 가장 활발한 대퇴골 원위부를 모형으로 택하였다.

또한 발생기전을 알고자 골단판의 조직학적 변화를 관찰하여 혈류증가로 인한 연골세포대의 활동의 증가유무를 관찰하였다. 나아가 주위조직의 외상으로 인한 혈류증가에 의한 영향을 규명하기 위하여 대조군(제Ⅱ군)에서는 실험부위에 도달만 하고 골막을 절개하지 않았다. 반면에 사슬효과의 유무를 규명하기 위하여 제Ⅳ군에서는 부분절개한 골막을 재봉합 하였다. 이 조작은 또한 주위조직의 외상으로 인한 혈류증가 유무를 관찰하는 데도 도움이 될 것이다.

본 실험에서 대퇴골 원위부 골막의 완전 횡절개군(제Ⅰ군)은 대조군(제Ⅱ군)에 비하여 전 기간을 통하여 유의한 차이로 성장이 촉진되어 12주 및 20주에 정상측의 3.5%의 길이가 늘어났으며(Fig. 7), 이 중에서도 수술 첫 2주간에 가장 그 속도가 빨랐다($P(t) < 0.0001$). 대조군에서는 2주에 약간의 촉진 이 나타났으나 통계적인 의의는 없었다.

골막 부분절개군(제Ⅲ군)에서는 다른 모든 군들에 비하여 전 시기를 통하여 각변형 형성에 유의한 차이가 있었는데($P(F) < 0.0001$), 술전 91.0° 에서 6주에 83.1° (7.9° 변형)로 가장 심하였다가 12주에 86.2° (4.8° 변형), 20주에 86.8° (4.2° 변형)로 불완전 교정되었다. 여기서 술후 4주까지는 유의한 차이가 있었으나, 4주에서 8주까지는 유의한 차이가 없다가 8주에서 10주사이에서는 도리어 유의한 차이로 불완전 교정되었다. 이것은 조직학적으로 절개된 골막이 9주에 재생이 이루어지는 것으로 미루어 사슬효과의 재현에 기인된 것으로 해석할 수 밖에 없다고 본다. 골막 재봉합군(제Ⅳ군)에서는 술후 6주에 최고 겨우 0.9° 의 각변형을 보였으나, 통계학적으로는 의의있는 변화였고, 10주에는 유의한 변화가 없어졌는데, 이것도 골막의 재생에 기인된 것으로 해석된다.

예비실험에서 한마리의 대퇴골 원위부 외측 골막을 부분절개하였던 바 반대로 내번슬이 유발되었는 바(Fig. 16) 이는 본 실험의 반증이 될 수 있을 것이다.

골단판의 두께를 비교하여 보았으나 유의한 차이가 없어 각형성이 골단판의 두께의 비대칭적 변화에 기인하지 않음을 알게 되었다. 골막 완전 절개군에서도 골단판의 두께는 정상측에 비하여 유의한 차이가 없었다. 이는 간접적으로 주위조직의 외상으로 인한 혈류증가에 기인하지 않음을 입증하는 것이라 하겠다. 반면 과성장후 성장잠재력의 탈진으로 인한 골단판 두께의 조기축소도 볼 수 없었다.

이러한 실험결과들은 유약가토의 대퇴골 원위부의 골막을 절개할 때 첫째, 완전 횡절개하면 장축 성장이 촉진되어 길이가 늘어나며, 둘째, 부분 절개하면 비대칭적 성장촉진으로 각변형을 유발하며, 셋째, 그 발생기전에 있어서는 주위조직의 외상으로 인한 혈류증가가 과성장의 원인이 된다는 조직학적 증거는 없었으나, 그렇다고 골막절개에 의한 사슬효과의 제거가 과성장의 원인이 된다는 직접적인 증거도 없었다.

그러나 골막 부분절개군에서는 각변형이 있었으나, 골막 재봉합군에서는 없었다는 점과 과성장이 6주이상이나 지속되었다는 점등으로 미루어 외상으로 인한 혈류증가가 그 원인이 아니라는 간접적인 증거가 된다고 생각된다. 따라서 골막의 성장판에 대한 사슬효과의 제거가 과성장의 원인이 된다고 추정되며, 이를 단정적으로 규명하려면 앞으로 ^3H -thymidine, ^3H -proline 과 ^3H -glucosamine 등의 방사선 동위원소를 이용한 autoradiography, 및 alkaline phosphatase 와 proteoglycans 등의 조직학적 염색연구가 필요하리라 생각된다.

이러한 지견은 궁극적으로는 임상적으로 소아골절후에 합병하는 과성장이나 각변형의 예방이나 교정에 응용될 수 있을 것이다.

소아의 대퇴골 골단부 골절에서는 약 1cm의 과성장이 일어나며, 이는 골성숙기에 접어들면서 골단판의 유합이 다소 일찍 일어남에도 불구하고 영구적인 것으로 알려져 있다^{4,10)}. 본 실험의 결과는 가령 대골퇴의 길이가 30cm이라고 할 때 그 과성장은 1.05cm가 되리라는 것을 말해주며, 이는 전술한 임상적 관찰을 뒷받침 한다고 하겠다.

골골절에서 보는 잔존변형은 종래 골절 유합시까지 편측의 근육수축으로 설명되었으나¹¹⁾, 이로써 유합후 자연적인 교정(spontaneous remodeling)이 이루어지지 않는 것은 설명하지 못한다. 이것도 볼록측(convex side)의 골막의 파열로 인한 사슬효과의 제거로 인한 부분적 과성장으로 설명될 수 있다고 생각된다.

상박골 과상골절후 조래되는 내번주의 발생기전에 대해서도 만약 그것이 부정유합에 의한 것이라

면 해부학적 정복후에 발생하거나 골절유합후 진행성으로 발생하는 변형은 설명할 수가 없다. 또한 종래 골단판의 부분적인 성장장애에 기인한다는 가설¹¹⁾이 있으나, 증명되지는 못하였다. 이것도 외측 골막의 파열로 인한 사슬효과의 제거로 설명될 수 있다고 생각된다. 이점 원위 골절면이 내측 전이되는 경우 내측의 전제된 골막 경첩(hinge)을 이용하여 정복한다는 사실을 상기할 필요가 있다.

소아의 경골 근위 간단부 골절후 발생하는 외번을 변형은 Cozen¹⁰⁾에 의해 다음으로 보고된 이래 그 기전에 대하여 여러 가지 가설이 있다. 즉 Leher와 Dubas²⁰⁾는 팽창성 가골에 의한 골절간격의 확대로, Goff¹¹⁾ 및 Ogden¹²⁾은 외측 골단판의 손상으로 인한 비대칭적 성장장애로, Taylor²¹⁾ 및 Jackson과 Cozen¹⁷⁾은 비골의 상대적 사슬효과로 인한 경골과 비골의 성장차이로, Pollen²²⁾은 가골이 성숙되기 전에 조기 체중부하로 인한 골절부위의 변형으로, Weber²³⁾ 및 Coates²⁴⁾는 골절부위의 연부조직 삽입에 의한 생역학적 균형의 소실로, 그리고 Griffin¹³⁾ 및 Ogden¹²⁾은 골절로 야기된 충혈로 인한 경골 내측부의 과성장으로 각각 설명을 시도하였다. 그리고 어떻게 하면 이 변형을 예방할 수 있는지에 대해서도 아직 뚜렷한 의견이 없다. 본 실험의 결과를 토대로 저자는 이 경우 역시 경골 내측 골막의 파열로 인한 사슬효과의 제거에 의한 것으로 설명할 수 있을 것으로 본다.

이 변형이 골절 유합후에 진행성으로 초래되는 것에 대하여는 Rooker와 Salter¹⁴⁾가 17례에서 석고제거시 외번을 변형이 10°~22°, 평균 16°이었던 것이 관찰기간의 종료시에는 13°~37°, 평균 20°로 증가하며, 대부분의 변형은 수상후 6주 이내에 발생한다고 보고하였고, Bahnson과 Lovell¹⁵⁾은 5례에서 최고 석고고정시 외번술이 평균 6.7°이었으나 그후 12~14개월동안 10.8°로 증가하고 다음 2년간에 걸쳐서는 8.7°로 다소 호전된다고 보고하였으며, Zoints와 MacEwen¹⁶⁾은 7례에서 변형은 수상후 1년동안 가장 빠르게 진행하고 이어 17개월까지는 느린 속도로 진행하여 최대변형 평균 9.6°를 보이다가 그후 점진적으로 다소 교정을 보인다고 보고하였다. 본 실험에서 원위 대퇴골막 내측 부분 절개시 외번을 변형이 술후 4주에 걸쳐 유발되었다가 6주에 최저 7.9°를 보이고 그후 8~10주에 걸쳐 다소 교정이 되어 성장이 끝나가는 12주에는 4.8°, 성숙기인 20주에는 4.2°를 보인 것은 위의 관찰들과 일치되는 소견이라 하겠다.

소아의 경골 근위부 골절후 발생하는 외번을 교정하기 위하여 경골 절골술을 시행하는데 교정후

도 변형의 재발이 잦아^{17, 20, 21, 22)} 반복절골술이 필요하게 된다.

그 이유도 저자의 생각으로는 절골술이 경골 내측에서 폐쇄설상 절골술(closed wedge osteotomy)을 하므로 골막이 재박리되기 때문이다. 또한 Weber²³⁾는 변형의 원인이 pes anserinus의 삽입에 의한 것이라는 생각에서 연부조직을 제거하여 성공적으로 변형을 예방하였고 보고하였으나, 이것도 만약 연부조직의 삽입이 원인이라면 골절 유합후의 진행성 변형을 설명할 수 없으며, 그가 연부조직 제거후 파열된 골막을 봉합하였다는 기록으로 보아 봉합된 내측 골막의 사슬효과가 변형예방의 진정한 원인이라고 저자는 생각한다.

이와 같이 생각할 때 임상적 응용의 측면에서 소아 장관골의 각변형 교정을 위한 절골술시 요측(concave side)의 골막을 부분회절개하는 것이 바람직하지 않겠느냐고 생각된다. 나아가 성장기의 경미한 각변형에서는 절골술 대신 요측 골막의 부분회절개만으로도 각변형을 점진적으로 교정할 수도 있을 것이다.

성장판 손상시 성장판 부분유합술(hemiepiphysodesis)때에도 대신 반대측 골막의 부분회절개를 고려할 수 있을 것이다.

더 나아가 경미한 하지부동에서 재래식 성장판 유합술이나 골연장술 대신 간단한 골막의 회절개나 절제도 고려해 볼 수 있음직하다.

결 론

유약가트의 대퇴골 원위부의 골막을 완전 혹은 부분회절개하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 성장기 장관골에서 골막의 완전 회절개는 성장을 촉진시켜 길이가 늘어난다.
2. 골막의 부분회절개는 비대칭적 성장촉진에 의하여 각 변형을 유발한다.
3. 그 발생기전은 골막의 사슬효과의 제거에 있다고 생각된다.

이와 같은 소견은 임상적으로 성장기의 골절 및 골간판 손상으로 인한 하지부동이나 각 변형의 예방이나 교정에 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Bahnson, D.H. and Lovell, W.W.: *Genu valgum following fractures of the the proximal tibial metaphysis in children. Orthop. Trans.*,

- 4:306, 1980.
- 2) Balthazar, A.D. and Pappas, AM.: *Acquired valgus deformity of the tibia in children. J. Pediat. Orthop.*, 4:538-541, 1984.
- 3) Best, T.N.: *Valgus deformity after fracture of the upper tibia in children. J. Bone and Joint Surg.* 55-B:222, 1973.
- 4) Blount, W.P.: *Fractures in children.* pp. 132-133, Baltimore, Williams and Wilkins, 1955.
- 5) Brighton, C.T.: *Structure and function of the growth plate. Clin. Orthop.*, 136:22-32, 1978.
- 6) Carvell, J.E.: *The relationship of the periosteum to angular deformities of long bones. Clin. Orthop.*, 173:262-274, 1983.
- 7) Coates, R.: *Knock-knee deformity following upper tibial greenstick fractures. J. Bone and Joint Surg.*, 59-B:516, 1977.
- 8) Cozen, L.: *Fracture of the proximal portion of the tibia in children followed by valgus deformity. Surgery, Gynecology and Obstetrics.* 97:183-188, 1953.
- 9) Crilly, R.G.: *Longitudinal overgrowth of chicken radius. J. Anat.*, 112:11-18, 1972.
- 10) Edvardsen, P. and Syversen, S.W.: *Overgrowth of the femur after fracture of the shaft in childhood. J. Bone and Joint Surg.*, 58-B:339-342, 1976.
- 11) Goff, C.W.: *Surgical treatment of unequal extremities.* Springfield, Charles C. Thomas, 1960(Quoted in Weber, B.G.: *Fibrous interposition causing valgus deformity after fracture of the upper tibial metaphysis in children. J. Bone and Joint Surg.*, 59-B:290-292, 1977.).
- 12) Green, N.E.: *Tibia valga caused by asymmetrical overgrowth following a nondisplaced fracture of the proximal tibial metaphysis. J. Pediat. Orthop.*, 3:235-237, 1983.
- 13) Griffin, P.P.: *Pediatric orthopaedics. 2nd Ed.* pp. 868-869, Philadelphia, J.B. Lippincott, 1986.
- 14) Hansson, L.I.: *Daily growth in length of diaphysis measured by oxytetracycline in rabbit normally and after medullary plugging. Acta. Orthop. Scand. Suppl.*, 101, 1967.
- 15) Herring, J.A. and Moseley, C.: *Post-traumatic valgus deformity of the tibia. J. Pediat. Orthop.*, 1:435-439, 1981.
- 16) Houghton, G.R. and Rooker, G.D.: *The role of the periosteum in the growth of long bones. J. Bone and Joint Surg.*, 61-B:218-220, 1979.
- 17) Jackson, D.W. and Cozen, L.: *Genu valgum as a complication of proximal metaphyseal fractures in children. J. Bone and Joint Surg.*, 53-A:1571-1578, 1971.
- 18) Jenkins, D.R., Cheng, D.F. and Hodgson, A. R.: *Stimulation of bone growth by periosteal stripping. J. Bone and Joint Surg.* 57-B:482-484, 1975.
- 19) Kery, L., Lenart, G. and Szase, I.: *Effect of diaphyseal injury on the proximal growth zone of the tibia in rabbits. Acta. Orthop. Scand.*, 51:743-753, 1980.
- 20) Lehner, A. and Dubas, J.: *Sekundäre deformierungen nach epiphysenlosungen und epiphysenliniennahen frakturen. Helvetica Chirurgica Acta.* 21:388-410, 1954(Quoted in Weber, B.G.: *Fibrous interposition causing valgus deformity after fracture of the upper tibial metaphysis in children. J. Bone and Joint Surg.*, 59-B:290-292, 1977.).
- 21) Ogden, J.A.: *Skeletal injury in the child.* pp. 250-251 and 587-591, Philadelphia, Lea and Febiger, 1982.
- 22) Pollen, A.G.: *Fractures and dislocations in children.* Edinburgh and London, Churchill 1973(Quoted in Weber, B.G.: *Fibrous interposition causing valgus deformity after fracture of the upper tibial metaphysis in children. J. Bone and Joint Surg.*, 59-B:290-292, 1977.).
- 23) Porter, R.W.: *The effect of tension across a growing epiphysis. J. Bone and Joint Surg.*, 60-B:252-255, 1978.
- 24) Rang, M.: *Children's fractures. 2nd Ed.* pp. 4, Philadelphia, J.B. Lippincott, 1983.
- 25) Rhinelander, F.W., Phillips, R.S. and Steel, W.M. et al.: *Microangiography and bone healing. II. Displaced closed fractures. J. Bone and Joint Surg.*, 50-A:643-662, 1968.
- 26) Richards, D.J. and Brookes, M.: *Osteogenesis and the pH of the osseous circulation. Calif. Tissue Res. Suppl.*, 93, 1968.

- 27) Rooker, G.D. and Salter, D.B.: *Prevention of valgus deformity following fracture of the proximal metaphysis of the tibia in children.* *J. Bone and Joint Surg.*, 62-B:527, 1980.
- 28) Salter, R.B. and Best, T.: *The pathogenesis and prevention of valgus deformity following fractures of the proximal metaphyseal region of the tibia in children.* *J. Bone and Joint Surg.*, 55-A:1324, 1973.
- 29) Shapiro, F., Holtrop, M.E. and Glimcher, M. J.: *Organization and cellular biology of the perichondral ossification groove of Ranvier.* *J. Bone and Joint Surg.*, 59-A:703-723, 1977.
- 30) Skak, S.V.: *Valgus deformity following proximal metaphyseal fracture in children.* *Acta Orthop. Scand.*, 53:141-147, 1982.
- 31) Sola, C.K., Silberman, F.S. and Cabrini, R.L.: *Stimulation of the longitudinal growth of long bones by periosteal stripping.* *J. Bone and Joint Surg.*, 45-A:1679-1684, 1963.
- 32) Strobino, L.J., French, G.O. and Colonna, P. C.: *The effect of increasing tensions on the growth of epiphyseal bone.* *Surgery, Gynecology and Obstetrics.* 95:694-700, 1962.
- 33) Taylor, S.L.: *Tibial overgrowth: A cause of genu valgum.* *J. Bone and Joint Surg.*, 45-A: 659, 1963.
- 34) Trueta, J. and Amato, V.P.: *The vascular contribution to osteogenesis. III. Changes in the growth cartilage caused by experimentally induced ischemia.* *J. Bone and Joint Surg.*, 42-B:571-587, 1960.
- 35) Warrell, E. and Taylor, J.F.: *The effect of trauma on tibial growth.* *J. Bone and Joint Surg.*, 58-B:375, 1976.
- 36) Weber, B.G.: *Fibrous interposition causing valgus deformity after fracture of the upper tibial metaphysis in children.* *J. Bone and Joint Surg.*, 59-B:290-292, 1977.
- 37) Wray, J.B. and Goodman, H.O.: *Post-fracture vascular phenomena and long bone overgrowth in the immature skeleton of the rat.* *J. Bone and Joint Surg.*, 43-A:1047-1055, 1961.
- 38) Zionts, L.E. and MacEwen, G.D.: *Spontaneous improvement of post-traumatic tibia valga.* *J. Bone and Joint Surg.*, 68-A:680-687, 1986.