

유약가토 골단판손상에 관한 연구

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

석세일 · 전순영

= Abstract =

A Study of Trauma to the Epiphyseal Plate in Immature Rabbits

Se Il Suk, M.D. and Soon Young Chun, M.D.

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

The important role of the epiphyseal cartilage in the longitudinal growth of long bones is universally accepted. Injury to the epiphyseal plate caused by surgically produced defects or trauma has been observed clinically and in experimental investigations. These growth retarding effect of defects seem to be proportional to the size of the defect, and are caused by the formation of a bone bridge connecting the epiphysis to the metaphysis. This investigation provides an explanation for the intimate relationship between the size of the defect and growth retarding effect.

Central destruction of the distal femoral epiphyseal plates on 81 immature rabbits were performed by four different sized drills. Free flaps of vastus lateralis were inserted into the defect of the epiphyseal plate. Left limbs were used as the experimental group, and right limbs as the control. After 8 weeks of operation, animals were sacrificed, and roentgenological and histological observations were made.

The results were observed as follows.

1. The amount of bony bridge connecting epiphysis and metaphysis was proportional to the size of the epiphyseal defect.
2. The amount of growth retardation at the distal femoral epiphyseal plate was proportional to the size of the defect produced in the epiphyseal plate.
3. Compensatory overgrowth at the proximal femoral epiphysis seems to be proportional to the size of the defect made in the epiphyseal plate.
4. Insertion of the free flap of vastus lateralis into the epiphyseal defect diminished the formation of the bony bridge.

Key Words: Trauma, Epiphyseal Plate

I. 서 론

장관골의 길이성장은 주로 골단연골에서 이루어진다는 것은 주지의 사실이다. Stephen Hales(1727)는 동물실험 결과 골성장은 골단부에서 일어난다고 처음 발표하였고¹⁴⁾, Gatewood와 Müllen(1927)은 가토장골의 길이성장은 모두 골단에서 이루어진다고 하였다⁸⁾. 골단연골의 성장은 잘 알려지지 않은 생리적 기전에 의하여 조절된다고

하나 유전인자, 호르몬, 개체의 영양 및 건강상태 등에 의하여 좌우되며, 국소적으로는 손상, 감염, 혈액순환 및 골단판에 가해지는 생리적이고 역학적인 힘의 영향을 받는다고 하였다⁴⁾.

손상이 골단판에 미치는 영향에 관한 임상 및 실험적 연구는 매우 많다.

Arkin과 Katz, Siffert, Strobino 등은 실험적으로 골단판에 압박을 가하여 성장의 정지 또는 억제 초래하였다 하고^{1, 30, 33)} 외과적절개^{8, 10)}, 천공^{6, 17)} 등의 작은 손상은 일반적으로 성장억제를 일으키지 않는다고 하였다. 외상

* 본 논문의 요지는 1981년 10월 대한정형외과학회 제25차 학술대회에서 발표되었음.

이나 수술적 방법에 의한 성장지연효과는 골단과 골간단을 연결하는 골의 형성에 기인하고, 손상의 크기에 비례하는 것으로 여겨져 왔다^{5,6,24,29,30}). 저자는 유약가토의 대퇴원위골단판 중심부에 여러 크기의 천공을 시행하여 손상의 크기와 성장억제효과간의 관계, 손상이 대퇴근위골단성장에 미치는 영향, 골단판상부위에 근육을 삽입함으로 골단과 골간단을 연결하는 골의 형성을 방지할 수 있나를 규명하기 위하여 다음과 같은 실험을 시행하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험동물로는 체중 1.0-2.0Kg의 잡종 유약가토를 자웅구별없이 사용하였다. 실험기간중 동일한 사료로 같은 조건하의 사육실에서 사육하였다.

2. 실험방법

유약가토를 Urethane과 Ketamine을 복합하여 전신마취를 시행하고 무균조작으로 양측 대퇴원위부와 슬관절에 5cm 가량의 전외측방절개를 가한후 슬개골을 내측으로 전위시켜 대퇴원위부와 슬관절부를 노출시켰다. 우측은 대조군, 좌측은 실험군으로 정하였고, 우측은 천공기를 사용하여 대퇴원위부과관절혼의 중심부의 관절연골만을 파괴하였고, 좌측은 동일한 크기의 천공기를 사용하여 과관절혼 중심부에서 대퇴골상부를 향하여 관절연골, 골단 및 골단판을 통과하여 파괴시킨후 생리적 식염수로 세척하였다.

그후 골단판에서 15mm 상방에 양측을 동일하게 금속핀(1.0mm 직경)을 관통시킨 후 세척하고 창상을 봉합하였고 외고정은 실시하지 않았다. 실험후 5일간 콜로람페니콜을 1일 60mg씩 근육주사를 실시하였고, 수술직후 양측 대퇴골의 방사선 촬영을 실시하였다.

수술후 4주 및 8주만에 같은 방법으로 방사선 촬영을 하고 8주만에 가토를 희생시켜 대퇴골 전체의 연부조직을 제거한 후 10% 포르마린용액에 고정한 후 전기탈회기를 사용하여 탈회하고 파라핀에 고정하여 조직표본을 만들어서 Hematoxylin-Eosin 염색법으로 염색한 후 현미경으로 관찰하였다.

실험은 하기의 5 개군으로 나누어 실시하였다.

A군; 직경 2.0mm (5/64) 천공

B군; 직경 3.2mm (1/8 인치) 천공

C군; 직경 4.8mm (3/16인치) 천공

D군; 직경 5.6mm (7/32인치) 천공

E군; 직경 5.6mm 천공 실시후 외측고근의 일부를 삽입.

본 실험에서는 총 102마리의 가토를 사용하여 그중 21마리는 마취과다, 대퇴골 골절 및 감염등으로 사망하였고 수술후 8주간의 인격검사기간동안 생존한 가토는 A군 10마리, B군 14마리, C군 18마리, D군 20마리, E군 19마리로 총 81마리이었다. 방사선상 대퇴골의 길이는 대퇴골두상단으로부터 대퇴골내과 하단까지로 측정하였으며, 대퇴골 전후방 촬영상에서 대퇴원위골단선의 상단을 연결하는 선 d를 측정하였다(Fig. 1).

실험시 천공에 의하여 파괴되는 골단판의 면적을 측정하기 위하여 실험가토와 동일한 조건의 가토 21마리(42대퇴골)를 방사선촬영후 d를 측정하고 대퇴골을 d에 부합되는 부위에서 횡절단한 뒤 모눈종이를 사용하여 단면적을 구하고 이를 임의의 골단판 면적으로 간주하였다. 단면적을 A라 할 때 $A=dK$ 라고 가정하면 $K=\frac{A}{d}$ 의 공식으로 42대퇴골에서 $K=8.5$ 의 평균치를 얻었다. 이 K를 사용하여 모든 실험가토의 수술직전 대퇴원위골단판의 면적을 측정한 후 천공에 의하여 파괴된 부분을 대퇴원위골단판 면적에 대한 백분율로 나타내었는 바, A군은 평균 3.2%, B군 8.1%, C군 17.9%, D군 25.3%, E군 25.1%의 골단판손상을 나타내었다.

손상을 받은 대퇴원위골단부 성장은 방사선상 대퇴원위골단선하단으로부터 금속핀이 외측 골피질과 교차하는 점 사이의 거리를 측정하여 수술직후와 8주후를 비교하였고, 근위골단부성장은 대퇴골 전체성장에서 원위골단부성장을 감하면 쉽게 측정할 수 있었다.

III. 실험 성적

1. 방사선 검사

가. A군(10마리, 2.0mm 직경천공)

10마리중 3마리에서 대조군에 비하여 실험군의 대퇴원위골단부에서 오히려 약간의 과성장을 보였다. 변형은 없었고 수술 8주후 전예에서 골단선은 분명하고 대조군과 차이없음을 보였다(Fig. 2).

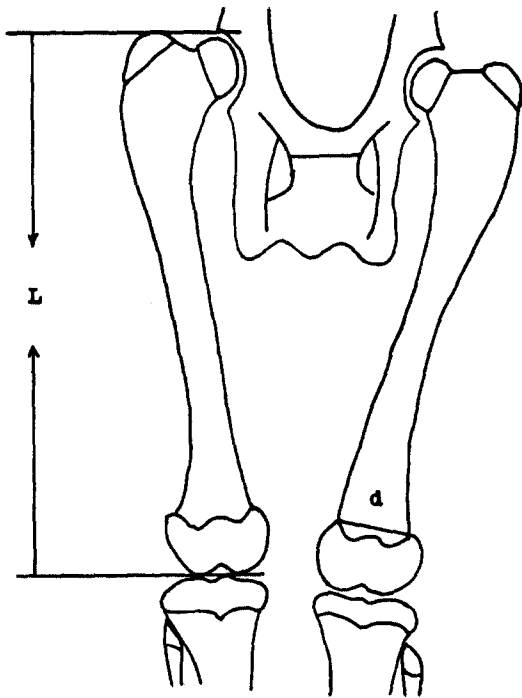
나. B군(14마리, 3.2mm 직경천공)

모든 실험군에서 대조군에 비하여 대퇴원위골단부에서 약간의 성장억제를 보였다. 실험대퇴골의 단축이외의 큰 변형은 발견되지 않았으나, 8예에서 대퇴골하부의 팽창 및 골단선의 경화를 보였다(Fig. 3).

다. C군(18마리, 4.8mm 직경천공)

실험군 전예에서 성장억제를 보였고, 실험군의 단축이외의 대퇴골하부의 팽창, 골단선의 경화 및 불규칙성을 모든 실험군에서 관찰하였고, 1예에서 골단선의 완전소실의 소견을 보였다(Fig. 4).

라. D군(20마리, 5.6mm 직경천공)



L: Total Length of Femur
d: Distance between Upper Margin of Epiphyseal Line
Fig. 1. Radiological Measurement.

Fig. 3. Roentgenogram of the Group B taken 8 weeks after operation.

Fig. 2. Roentgenogram of the Group A taken 8 weeks after operation.

Fig. 4. Roentgenogram of the Group C taken 8 weeks after operation.

Fig. 5. Roentgenogram of the Group D taken 4 weeks after operation.

Fig. 7. Roentgenogram of the Group E taken 4 weeks after operation.

Fig. 6. Roentgenogram of the Group D taken 8 weeks after operation.

Fig. 8. Roentgenogram of the Group E taken 8 weeks after operation.

Fig. 9. Photomicrography (44) of the Group B shown in Fig. 3.

Fig. 10. Photomicrography ($\times 4$) of the experimental side of the Group A shown in Fig. 2.

Table 1. Difference in gain between experimental and control (% of Control)

Group	Destroyed epiphyseal plate (%)	Total gain (%)	Gain at distal epiphysis (%)
A	3.2	1.1	2.9
B	8.1	13.2	29.7
C	17.9	26.1	50.2
D	25.3	66.3	80.1
E	25.1	10.3	63.8

실험군 전예에서 대퇴골의 단축을 보였고, 실험 4 주 후 10예에서 방사선상에 골단선의 불규칙성 및 경화, 부분소실의 소견을 나타내었고, 실험 8 주 후 11예에서 골단과 골간단을 연결하는 골의 형성 및 골단선의 소실을 볼 수 있었다. 실험군 4 예에서 방사선 계측상 대퇴원 위골단부성장의 정지를 보였다(Fig. 5, Fig. 6).

마. E군(19마리, 5.6mm 직경천공 후 외측고근의 일부 삽입)

실험군 전예에서 대퇴골의 단축이 관찰되었으며, 실험 4 주 후 5 예에서 골단선의 불규칙성 및 경화를 보였으나 전예에서 골단선은 분명하였고, 실험 8 주 후 3예에서 골단과 골간단을 연결하는 골의 형성 및 골단선의 소실을 관찰하였다. 실험 8 주 후 8예에서 골단선의 분명함을 관찰하였다. 1 예에서 방사선계측상 대퇴원위골

단부성장의 정지를 보였다(Fig. 7, Fig. 8).

2. 현미경적 소견

가. 대조군

파괴된 관절연골은 섬유조직으로 대체되었고, 골단판은 일정한 두께와 모양을 유지하고 있었다(Fig. 9).

나. 실험군

1) A군(2.0mm 직경천공)

파괴된 관절연골은 섬유조직으로 대체되어 있었고, 전반적인 골단판의 모양은 일정해 보이나 손상부위에 골단과 골간단을 연결하는 미세한 골형성을 보였고, 골단판이 골간단속으로 함몰되어 있음을 관찰하였다. 골단판은 손상부위에 접근할 수록 얇아짐을 나타내었다(Fig.

Fig. 11. Photomicrography ($\times 4$) of the experimental side of the Group B shown in Fig. 3.

Fig. 13. Photomicrography ($\times 4$) of the experimental side of the Group D shown in Fig. 6.

Fig. 12. Photomicrography ($\times 4$) of the experimental side of the Group C shown in Fig. 4.

Fig. 14. Photomicrography ($\times 4$) of the experimental side of the Group E shown in Fig. 8.

10).

2) B군(3.2mm 직경천공)

관절연골결손부위는 섬유조직으로 대체되었고, 전반적으로 골단판은 유지되어 있으나 외관상 불규칙성을 보였고, 골단과 골간단을 연결하는 골형성을 보였다. 손상부위의 골단판이 골간단속으로 함몰되어 있음을 관찰하였다(Fig. 11).

3) C군(4.8mm 직경천공)

관절연골결손부위는 섬유조직으로 대체되었고, 골단판은 심한 손상으로 주변부에 부분적으로 존재하였고, 골단과 골간단을 연결하는 큰골 형성을 볼 수 있었다(Fig. 12).

4) D군(5.6mm 직경천공)

C군보다 골단과 골간단을 연결하는 골의 크기가 크고, 주변부에서 골단판의 잔여가 관찰되었다(Fig. 13).

5) E군(5.6mm 직경천공실험후 외측고근의 일부 삽입)

골단과 골간단을 연결하는 골의 형성은 현저하나 주변부의 골단판이 비교적 유지되어 있었고 손상부위에 접

근할수록 얇아짐을 보였다. 골단판의 골간단내로의 함몰은 관찰되지 않았다(Fig. 14).

3. 골단판손상의 넓이와 성장간의 관계

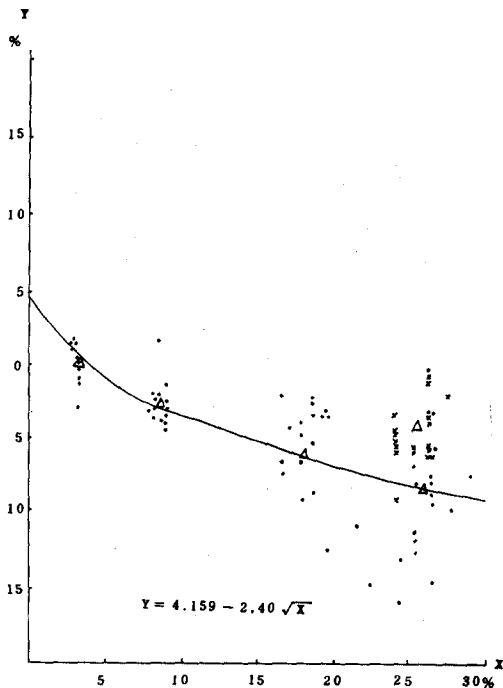
대퇴원위골단판의 중심부손상이 성장에 미치는 영향을 가. 대퇴원위골단부성장

나. 대퇴골 전체성장

다. 대퇴근위골단부성장의 3가지 측면에서 분석하였다. 골단판 손상이 실험군 성장에 미치는 영향을 대조군과 비교하여 $\frac{\text{대조군성장} - \text{실험군성장}}{\text{대조군성장}} \times 100$ 으로 표현하면

Table 1과 같았다.

Table 1에서 골단판손상의 넓이가 증가할수록 대퇴골 전체 및 대퇴원위골단부성장의 억제이 심하여 진다는 것을 알 수 있었다. D군과 E군을 비교하여 볼 때 천공부위에 외측고근의 일부를 E군에서 대퇴골 전체 및 대퇴원위골단부 성장의 억제가 완화되었다는 것을 알 수 있었다. 그러나 수술전 실험가토의 정확한 연령측정이 불가



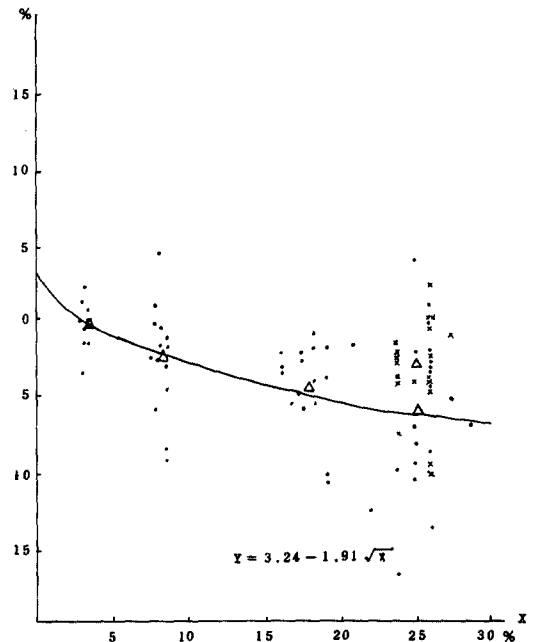
Y: Difference in total gain length/preoperative length of femur between control and experimental side.

X: distal femoral epiphyseal plate, % destroyed.

x: Group E (drilling with muscle insertion)

: Mean value

Fig. 15. Correlation between size of epiphyseal plate destroyed and growth from distal femoral epiphyseal plate.



Y: Difference in total gain in length/preoperative length of femur between control and experimental side.

X: Distal femoral epiphyseal plate, % destroyed.

x: Group E (drilling with muscle insertion)

: Mean value

Fig. 16. Correlation between size of epiphyseal plate destroyed and total growth of femur.

능하여 잠재되어 있는 성장력의 차이가 있고, 좌우 대퇴골의 다소간의 길이차이가 있음을 고려해 볼 때 실험군과 대조군에서 $\frac{\text{길이성장}}{\text{수술전 대퇴골 길이}} \times 100$ 을 각각 구하여 비교함이 좀 더 합당할 것으로 생각되어 상기방법으로 실험군과 대조군의 성장차이를 구하고, 회기분석에 있어서 TID 59 Programmable Calculator에 의하여 Curve Fitting (9 개식)을 한 후 r 값이 가장 높게 나오는 곡선을 선택하였다.

가. 대퇴원위골단부성장에 미치는 영향

대퇴원위골단판손상이 대퇴원위골단부 성장에 미치는 영향을 규명하기 위하여 실험군과 대조군의

$\frac{\text{대퇴원위골단부길이성장}}{\text{수술전 대퇴골 길이}} \times 100$ 을 계산하여 차이를 구하였고 (Table 2), Curve Fitting 한 결과 Y는 실험군과 대조

군의 $\frac{\text{대퇴원위골단부 길이성장}}{\text{수술전 대퇴골 길이}} \times 100$ 의 차이, X는 파괴된 대퇴원위 골단판면적의 비율을 뜻할 때 $Y = 4.159 - 2.40\sqrt{X}$ ($r^2 = 0.478$)의 식으로 나타내어졌고 이때 $t = 7.3$ 으로 $P < 0.0001$ 이었다 (Fig. 15).

Fig. 15의 결과 대퇴원위골단판손상의 넓이에 비례하여 실험군의 대퇴원위골단부성장온 억제됨을 알 수 있었다.

나. 대퇴골전체성장에 미치는 영향

대퇴원위골단판손상이 대퇴골전체 성장에 미치는 영향을 규명하기 위하여 실험군과 대조군의 $\frac{\text{대퇴골전체길이성장}}{\text{수술전 대퇴골 길이}} \times 100$ 을 계산하여 차이를 구하였고 (Table 3), Curve Fitting 한 결과 Y는 실험군과 대조군의 $\frac{\text{대퇴골전체 길이성장}}{\text{수술전 대퇴골 길이}} \times 100$ 의 차이, X는 파괴된 대퇴원위골단판면적의 비율

Table 2. Difference in gain at distal epiphyseal plate between control and experimental side.
(As a Per Cent of Preoperative Length of Femur)

Group Case	A		B		C		D		E	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	3.3	-1.47	8.1	1.48	17.4	-4.01	23.7	-16.06	23.7	•4.97
2	3.2	0.29	8.1	-3.79	19.0	-3.79	19.0	-3.40	25.9	-14.60
3	3.3	1.19	8.5	-2.74	17.4	-4.87	24.8	-6.76	23.7	-9.15
4	2.9	1.15	7.8	-2.40	16.1	-2.22	24.8	-5.84	24.8	-5.70
5	3.2	-2.98	7.5	-3.14	18.2	-2.64	24.8	-11.27	25.9	-6.25
6	3.0	1.37	7.8	-3.05	18.2	-8.55	21.9	-14.08	25.9	-1.20
7	3.3	0	8.5	-4.40	18.2	-2.40	24.8	-12.87	25.9	-6.34
8	3.0	0.81	7.8	-3.60	20.9	-10.86	27.1	-9.93	25.9	-3.66
9	3.2	1.27	8.5	-3.97	16.7	-4.34	24.8	-11.92	25.9	-5.88
10	3.3	-0.58	8.5	-3.22	17.4	-9.11	25.9	-7.69	25.9	-4.82
11			8.1	-2.14	17.4	-6.65	25.9	-3.72	25.9	-4.90
12			8.5	-3.05	16.1	-6.55	25.9	-5.85	25.9	-5.61
13			7.8	-2.36	16.1	-7.44	25.9	-8.85	23.7	-4.83
14			8.5	-1.47	19.0	-3.53	25.9	-8.09	23.7	-3.59
15					19.0	-3.53	28.5	-7.75	27.1	-2.45
16					18.2	-5.19	25.9	-3.61	25.9	-1.27
17					18.2	-3.56	25.9	-9.46	23.7	-4.82
18					19.0	-12.45	24.8	-5.30	23.7	-5.62
19							24.8	-8.20	25.9	-4.17
20							25.9	-4.65		
Mean	3.2	-0.13	8.1	-2.70	17.9	-5.63	25.3	-8.63	25.1	-4.84
±S.D.	±0.14	±1.34	±0.90	±1.38	±2.73	±2.53	±1.97	±4.00	±1.00	±1.81

x : Distal femoral epiphyseal plate, % destroyed.

y : Difference in gain at distal epiphyseal plate between control and experimental side.

(As a percent of preoperative length of femur)

을 뜻할 때 $Y=3.24-1.91\sqrt{X}$ ($r^2=0.293$)의 식으로 나타내어졌고 이 때 $t=4.9$ 으로 $P<0.0001$ 이었다 (Fig. 16).

Fig. 16의 결과 대퇴원위골단판손상의 넓이에 비례하여 실험군의 대퇴골 전체성장이 억제됨을 알 수 있었다.

다. 대퇴근위골단부성장에 미치는 영향

대퇴원위골단판 손상이 대퇴근위골단성장에 미치는 영향을 규명하기 위하여 실험군과 대조군의

$\frac{\text{대퇴근위골단부길이성장}}{\text{수술전 대퇴골 길이}} \times 100$ 의 차이를 구하였고 (Table

4), Curve Fitting한 결과 Y는 실험군과 대조군의

$\frac{\text{대퇴근위골단부길이성장}}{\text{수술전 대퇴골 길이}} \times 100$ 의 차이, X는 파괴된 대퇴

원위골단판면적의 비율을 뜻할 때 $Y=0.1446X-0.877$ ($r^2=0.109$)의 직선으로 나타내어졌고 이 때 $t=2.67$ 로 $P<0.05$ 임을 알 수 있었다 (Fig. 17).

Fig. 17의 결과 대퇴원위골단판손상의 넓이에 비례하여 대퇴근위골단부성장이 증가됨을 알 수 있었다. 상기

3 가지 측면에서 분석한 결과 대퇴원위골단판 손상의 넓이와 대퇴골성장과는 직접적으로 연관되어 있음을 알 수 있었다. 골단판 손상부위의 골형성을 방지할 목적으로 5.6mm 직경천공을 가한 후 외측고근의 일부를 삽입한 E군과 5.6mm 직경천공만을 시행한 D군을 비교해 보면 골단판 천공부위에 근육을 삽입한 E군에서 D군에 비하여 대퇴원위골단부 및 대퇴골 전체성장의 억제를 완화시키고 대퇴근위골단부의 대상성 성장증가를 감소시킨 것을 알 수 있었다 (Fig. 15,16, 17).

이는 골단판 손상부위에 근육을 삽입함으로 골단과 골간단을 연결하는 골의 형성을 억제시킨 결과로 사료되었다.

IV. 고 찰

장관골의 길이성장은 주로 골단판에서 이루어지고 극소부분이 골단자체의 연골내골화(enochondral ossification)

Table 3. Difference in total gain between control and experimental side (As a per cent of preoperative length of femur)

Group Case	A		B		C		D		E	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	3.3	-1.51	8.1	-1.81	17.4	-2.67	23.7	-16.79	23.7	-2.54
2	3.2	-0.54	8.1	4.34	19.0	-3.88	25.9	-3.65	23.7	-1.59
3	3.3	0	8.5	-1.81	17.4	-2.15	24.8	3.75	23.7	-7.58
4	2.9	0	7.8	-0.27	16.1	-2.22	24.8	-10.52	24.8	-4.25
5	3.2	-1.49	7.5	-2.45	18.2	-1.09	24.8	-2.12	25.9	-10.25
6	3.0	1.18	7.8	-5.76	18.2	-5.66	21.9	-12.67	25.9	2.27
7	3.3	-0.26	8.5	-8.48	18.2	-4.91	24.8	-8.24	25.9	-9.54
8	3.0	-3.48	7.8	1.03	20.9	-1.70	27.1	-5.30	25.9	0
9	3.2	2.27	8.5	-9.27	16.7	-5.67	24.8	-7.15	25.9	0
10	3.3	0.56	8.6	-4.63	17.4	-4.91	25.9	-3.12	25.9	-4.82
11			8.1	-0.54	17.4	-5.99	25.9	-0.12	25.9	-4.29
12			8.5	-1.02	16.1	-3.22	25.9	0.92	25.9	-3.90
13			7.8	-2.63	16.1	-3.43	25.9	-8.83	23.7	-2.78
14			8.5	-2.94	19.0	-1.96	25.9	-4.48	23.7	-4.19
15					19.0	-10.49	28.5	-7.04	27.1	-1.10
16					18.2	-1.97	25.9	-2.92	25.9	-0.61
17					18.2	-4.20	25.9	-13.85	23.7	-2.26
18					19.0	-10.33	23.7	-9.93	23.7	-3.91
19							24.8	-9.53	25.9	-2.38
20							25.9	-2.24		
Mean	3.2	-0.30	8.1	-2.59	17.9	-4.25	25.3	-6.03	25.1	-3.55
±S.D.	±0.14	±1.51	0.90	±3.70	2.73	±4.76	±1.97	±5.628	±1.00	±4.65

x : Distal femoral epiphyseal plate, % destroyed.

y : Difference in total gain between control and experimental side.
(As a per cent of preoperative length of femur)

Table 4. Difference in gain at proximal epiphyseal plate between control and experimental side.
(As a per cent of preoperative length of femur)

Group Case	A		B		C		D		E	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	3.3	-0.04	8.1	-3.29	17.4	1.34	23.7	-0.73	23.7	3.43
2	3.2	-0.83	8.1	8.13	19.0	-0.48	25.9	10.95	23.7	4.09
3	3.3	1.19	8.5	0.93	17.4	2.72	24.8	10.51	23.7	1.57
4	2.9	-1.15	7.8	3.58	16.1	0	24.8	-4.68	24.8	1.45
5	3.2	1.49	7.5	0.69	18.2	1.55	24.8	9.15	25.9	-4.00
6	3.0	-0.19	7.8	-2.71	18.2	2.89	21.9	2.11	25.9	3.47
7	3.3	-0.26	8.5	-4.08	18.2	-0.38	24.8	4.63	25.9	-0.2
8	3.0	-4.29	7.8	4.63	20.9	4.93	27.1	4.63	25.9	3.66
9	3.2	0	8.5	-5.30	16.7	-1.33	24.8	4.77	25.9	6.88
10	3.3	0.02	8.5	-1.41	17.4	1.25	25.9	4.57	25.9	0
11			8.1	1.60	17.4	0.66	25.9	3.51	25.9	0.61
12			8.5	2.03	16.1	3.33	25.9	6.77	25.9	1.71
13			7.8	-0.27	16.1	45.01	25.9	0.02	23.7	2.05
14			8.5	-1.47	19.0	1.58	25.9	3.61	23.7	3.4
15					19.0	-6.96	28.5	0.71	27.1	1.35
16					18.2	3.22	25.9	-0.51	25.9	0.66
17					18.2	-0.64	25.9	11.31	23.7	7.08
18					19.0	2.12	23.7	-4.63	23.7	1.71
19							24.8	-1.33	25.9	1.79
20							25.9	-1.59		
Mean	3.2	-0.41	8.1	0.22	17.9	1.10	25.3	3.19	25.1	2.14
±S.D.	±0.14	±1.50	±0.90	±3.53	±2.73	±2.36	±1.97	±4.74	±1.00	±2.43

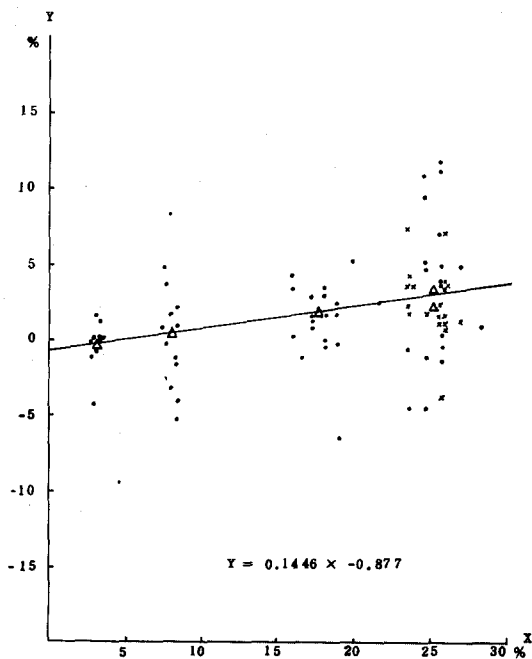
x : Distal femoral epiphyseal plate, % destroyed.

y : Difference in gain at proximal epiphyseal plate between control and experimental side.
(As a per cent of preoperative length of femur)

에 의하여 일어난다. Phemister에 의하면 Stephen Hales (1727)는 성숙중인 병아리의 하퇴에 일정거리 떨어진 두 개의 천공을 가하고 원격추시결과 골성장에도 불구하고 두 천공사이의 거리가 변하지 않은 현상을 관찰하고 골 성장은 골단부에서 일어난다고 처음으로 발표하였다¹⁴⁾. 이후 Hunter (1837), Dubreuil (1913), Haas (1926), Payton (1932), Lacroix (1949) 등은 골에 금속표적을 부착시키거나, 골단연골에 선택적으로 정착되는 염료의 사용, 또는 성장정지선의 경로를 추적하는 방법으로 장관골의 길이 성장은 대부분 골단판에서 이루어짐을 밝혔다^{11, 21, 26)}. Siffert (1966)는 골단판의 성장은 주로 개개의 연령 및 개개의 골단판의 본래부터의 성장 잠재력에 의하여 좌우되고, 영양상태, 호르몬, 건강상태 및 질병등에 의하여 영향을 받는다고 하였다³¹⁾. Brighton (1974)은 골단판 성장에 영향을 주는 국소적조건으로 외상, 감염, 순환장

에 및 골단판에 가해지는 생리적인 역학적 힘을 열거하였다⁴⁾.

손상이 골단연골에 미치는 영향에 관한 연구는 매우 많다. Ollier (1867)는 가토와 고양이의 골단판에 표재성 절개를 가할 경우 성장억제를 일으키지 않았으나, 심부 절개시 성장억제를 초래하였다고 처음 발표하였고⁵⁾, Haas (1917, 1919)는 개의 중수골 및 족척골 골단판에 외과적 절개, 좌열상 및 소파를 각각 시행한 후 성장장애를 초래하였다고 한다^{9, 10)}. Haas (1945, 1948)는 또한 골단판을 금속사로 포위하여 골단의 전방진행을 방해하여 골성장 지연을 초래하였고, 이를 제거하여 성장이 재현되었다고 하였다^{12, 13)}. Imbert (1951)와 Ford (1956)는 골단판에 작은 천공을 가진 경우 극소의 성장장애를 가져오지만 큰 천공의 시행으로 현저한 성장억제를 초래하며, 주변 또는 중심부의 완전한 파괴로 성장이 정지되고 중심의



Y: Difference in gain at proximal epiphyseal plate/preoperative length of femur between control and experimental side.

X: Distal femoral epiphyseal plate, % destroyed.

x: Group E (drilling with muscle insertion)

: Mean value

Fig. 17. Correlation between size of epiphyseal plate destroyed and growth from proximal femoral epiphyseal plate. *

결손(eccentric defect)에 의하여 골단변형을 가져온다고 하였다^{6,17}. Siffert(1956)는 손상에 의한 골단부 결손은 골로 치환되고 골단변형 및 단축의 정도는 골단유합이 일어나는 장소와 범위에 관계된다고 하였다³⁰. Frieden-berg(1957)는 Phemister 술식에 의한 골단유합 실험에서 초래되는 단축 및 변형은 손상되지 않은 골단판의 길이 및 골단판을 건너가는 골형성의 정도와 유관하다고 하였고⁷, Campbell(1959) 등은 골단판 손상에 의한 성장억제량은 대체로 골단과 골간단을 연결하는 골의 규모와 비례한다고 하였다⁵. 이외에 골단판 손상에 관한 임상 및 실험적 연구발표가 매우 많으나 대부분 저자들의 연구 결과를 볼 때, 골단판 손상이 클수록 성장지연 효과가 커지고, 성장지연 효과는 골단과 골간단을 연결하는 골형성의 규모에 비례한다고 요약할 수 있겠다. 임상에서 하지부동의 치료시 Phemister 술식에 의한 골단유합술이 빈번히 시행되고 있으나 어느정도의 골단판 손상으로 성장정지가 일어나는가에 대한 상세한 보고는 아직 미흡

한 것으로 생각되어 저자는 손상의 크기와 성장과의 직접적인 관계를 규명하기 위하여 본 실험을 하였다. 저자의 실험에서 유약가토를 사용한 것은 구하기 쉽고, 성장이 빠르고, 방사선상 골단선의 소실시 실제성장장이 정지된다는 점을 들 수 있었다. 대퇴원위골단판손상의 방법으로 천공에 의한 중심부 손상을 가한 것은 Siffert³⁰가 언급한 바와 같이 주변부의 중심내성장(concentric growth)에 의하여 육안적인 골단변형을 초래하지 않아 성장량의 정확한 측정을 기대할 수 있다고 하겠다. 저자는 본 실험에서 골단판에 가해지는 손상의 크기를 쉽게 측정하기 위하여 4가지 크기의 임상에서 사용하는 천공기를 이용하였는데, 이중 5.6mm 직경(7/32인치) 천공은 저자의 실험가토 대퇴골간직경에 접근하는 크기로 이는 대퇴골절을 일으키지 않고 골단판의 중심성 손상을 가할 수 있는 최대의 천공으로 생각되었다. 파괴된 골단판의 면적(%)을 측정하기 위하여 대퇴원위골단판 면적의 측정을 요하나 가토의 원위골단판의 입체적인 구조로 정확한 측정은 불가능하여, 저자는 방사선상 대퇴원위골단판의 상단을 연결하는 선 d를 측정, 이에 일치되는 평면에서 대퇴골을 횡절단하여 모눈종이에 의한 단면적을 구하고 이를 임의의 골단판면적으로 간주하였으나 이는 실제보다 훨씬 적은 것으로 생각된다. Johnson과 Southwick(1960)은 2.8mm 직경천공을 가한 경우 500-600gm 체중가토의 대퇴원위골단판의 1/9이 파괴된다고 하였고¹⁸, Ford와 Key(1956)은 생후 3~4주된 유약가토에 가한 3.2mm 직경천공은 실제골간직경의 1/2에 해당된다고 하였다⁹. 저자의 방법으로 파괴된 골단판의 면적(%)을 구하였을 때, 5.6mm 직경천공 시행시 평균 25.3%의 파괴를 보였지만 실체는 이보다 적을 것으로 생각된다. Campbell(1959) 등은 성장억제의 정량분석은 개개 골단의 성장 잠재력의 차이가 있고, 실험동물의 정확한 연령측정이 되지않아 불가능하다 하였고⁵, 저자의 경우 골단판의 성장측정자체도 정확을 기하기 어려웠다. 손상이 성장에 미치는 영향을 실험군과 대조군에서 비교할 때 많은 저자들이^{6,7,15,16} $\frac{\text{대조군성장} - \text{실험군성장}}{\text{대조군성장}} \times 100$ 의 값

으로 비교하였고, 저자의 경우 같은 방법으로 비교할 때 Table 1과 같이 손상의 크기가 클수록 대퇴골전체 및 원위골단부성장의 억제가 심하다는 것을 알 수 있었으나, 수술전 실험가토의 연령측정이 불가능하여 잔존하는 성장잠재력의 차이를 인정하여야 하며, 좌우 대퇴골의 길이 차이가 있으므로 합당한 방법이 아닐 것으로 생각되어 저자의 경우 수술전 대퇴골길이에 대한 성장량(%)을 비교하여 볼 때, 실험군의 손상받은 대퇴원위골단부 성장의 억제는 손상의 넓이에 비례한다는 것을 Fig. 15에서 알 수 있고 이때 47.8%의 설명력을 갖는다. 대퇴골

전체성장의 억제제는 Fig. 16에서 보는 바와 같이 원위골단판손상의 넓이에 비례하는 것으로 생각되며, 이때 29.3%의 설명력을 갖는다. 손상받지 않은 대퇴근위골단부성장은 원위골단판손상의 넓이에 비례하여 대상성 증가를 보이며, 이때 10.9%의 설명력을 갖는다. 저자의 실험의 경우 골단판 면적의 임의 측정 실험가토의 연령측정불가능 등의 여건으로 이와 같은 결과를 가져 왔다고 생각되나, 좀더 정확한 골단판면적 측정방법의 도입, 실험동물의 조건이 균일하여진다면 더 높은 설명력을 갖는 곡선을 제시할 수 있겠다. 손상받지 않은 근위골단으로부터의 성장증가를 나타내는 직선은 10.9%의 가장 낮은 설명력을 갖는데 이는 Hall-Craggs (1968, 1969) 등이 지적한 바와 같이^{15,16)}, 외상자체가 대상성증가를 전적으로 설명할 수 있는 것은 아니지 않을까 생각된다.

저자의 실험에서 현미경소견상 실험군 전예에서 골단과 골간단을 연결하는 골의 형성을 관찰할 수 있었고, 골단판 손상범위가 좁은 A군과 B군에서는 파괴된 골단판의 일부가 골간단내로 함몰되어 있는 것을 관찰할 수 있었는데 이는 골단판 손상부위의 골형성에도 불구하고 손상받지 않은 주변부골단판으로부터의 중심내 성장(concentric growth)에 기인한다고 하겠으며 이는 Barash와 Siffert (1966) 등이 언급한 바²⁾와 같이 dip deformity에 일치하는 것이라 하겠다. 골단연골손상후 형성되는 골단과 골간단을 연결하는 골에 의하여 성장의 지연 또는 정지가 초래된다는 것은 주지의 사실이며, Simmons (1963)는 골단혈액순환이 골형성에 가장 중요한 결정소가 된다고 하였고³²⁾, Nordentoft (1969)는 골간단을 부분적으로 횡절단하여 골간단으로부터의 혈액순환을 감소시켜 골형성을 저하시켰다 한다²³⁾. 이러한 골형성을 방지하기 위하여 Gelfoam^{6,128)}, Bone-wax¹⁹⁾, 지방²⁵⁾, 연골²⁵⁾, 근육판, Methylmethacrylate²⁰⁾를 사용하였다는 보고가 많고, Bright (1974)는 이중 동종연골 및 자가지방이 결과가 양호하다고 하였다³⁾. Langenskiöld (1975)는 골단판손상후 골단과 골간단을 연결하는 골형성을 방지하면 손상된 연골은 주위로부터의 재생으로 치환된다고 하였다²²⁾. 저자는 실험시 비교적 적출이 용이한 외측근의 일부를 손상된 골단판에 삽입한 E군과 같은 크기의 천공만을 실시한 D군을 비교한 결과 방사선상 골단선소실이 늦어짐을 관찰하였고, 현미경소견상 골단과 골간단을 연결하는 골형성의 규모가 작아짐을 볼 수 있었다. 골단판손상부위에 근육삽입이 성장억제효과에 미치는 영향을 살펴보면 Table 1과 Fig. 15, 16, 17에서 보는 바와 같이 근육의 삽입으로 대퇴원위골단부 및 전체성장의 억제가 완화된 근위골단부의 대상성성장 증가량이 감소됨을 알 수 있었다. 즉, 골단판손상부위내 근육삽입은 골단과 골간단을 연결하는 골형성방지에 유의하다 하겠다.

V. 결 론

골단판의 부분파괴가 골성장에 주는 영향을 규명하기 위하여 81마리의 성장기 유약가토의 대퇴원위골단판에 크기가 다른 중심성천공을 가한 후 8주간의 원격추시를 하여 방사선 및 현미경적 소견을 비교 관찰하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 대퇴원위골단판손상이 넓을수록 골단과 골간단을 연결하는 골형성은 컸다.
2. 골단판손상의 넓이에 비례하여 원위골단부성장의 억제제가 더 많이 이루어졌다.
3. 골단판손상은 대퇴근위골단부성장을 오히려 촉진하며, 손상이 클수록 대상성성장이 증가되었다.
4. 골단판손상부위에 외측근의 일부를 삽입하였을 때에는 골단과 골간단을 연결하는 골형성을 감소시켜 성장억제의 완화를 초래하였다.

REFERENCES

- 1) Arkin, A.M. and Katz, J.F. : *The Effects of Pressure on Epiphyseal Growth. The Mechanism of Plasticity of Growing Bone*, *J. Bone and Joint Surg.*, 38-A:1056-1076, 1956.
- 2) Barash, E.S. and Siffert, R.S. : *The Potential for Growth of Experimentally Produced Hemiepiphysis*, *J. Bone and Joint Surg.*, 48-A:1548-1553, 1966.
- 3) Bright, R.W. : *Operative Correction of Partial Epiphyseal Plate Closure by Osseous-Bridge Resection and Silicon Rubber Implant*, *J. Bone and Joint Surg.*, 56-A:655-664, 1974.
- 4) Brighton, C.T. : *Clinical Problems of Epiphyseal Plate Growth and Development*, *Instructional Course Lect.*, 105-122, Vol. 23, 1974.
- 5) Campbell, C.J., Grisolia, A. and Zanconato, G. : *The Effects Produced in the Cartilaginous Epiphyseal Plate of Immature Dogs by Experimental Surgical Traumatism*, *J. Bone and Joint Surg.*, 41-A:1221-1242, 1959.
- 6) Ford, L.T. and Key, J.A. : *A Study of Experimental Trauma to the Distal Femoral Epiphysis in Rabbits*, *J. Bone and Joint Surg.*, 38-A:84-92, 1956.
- 7) Friedenberg, Z.B. : *Reaction of the Epiphysis to Partial Surgical Resection*, *J. Bone and Joint Surg.*, 39-A:332-340, 1957.
- 8) Catwood and Müllen, B.P. : *Experimental Observation on the Growth of Long Bone*, *Arch. Surg.*, 15:215-221, 1927.

- 9) Haas, S.L. : *The Relation of the Blood Supply to the Longitudinal Growth of Bone* J. Orthop. Surg., 15:157-171, 305-316, 1917.
- 10) Haas, S.L. : *The Changes Produced in the Growing Bone after Injury to the Epiphyseal Cartilage Plate*, J. Orthop. Surg., 1:67-69, 1919.
- 11) Haas, S.L. : *Interstitial Growth in Growing Long Bone*, Arch. Surg., 12:887, 1926.
- 12) Haas, S.L. : *Retardation of Bone Growth by a Wire Loop*, J. Bone and Joint Surg., 27:25-36, 1945.
- 13) Haas, S.L. : *Mechanical Retardation of Bone Growth*, J. Bone and Joint Surg., 30-A:506—512, 1948.
- 14) Hales, S. : *Statistical Essays*, London, 1721, Innys, p.339, Cited by Phemister 27.
- 15) Hall-Craggs, E.C.B. : *The Effect of Experimental Epiphysiodesis on Growth in Length of the Rabbit's Tibia*. J. Bone and Joint Surg., 50-B:392-400, 1968.
- 16) Hall-Craggs, E.C.B. and Lawrence, C.A. : *The Effect of Epiphyseal Stapling on Growth in Length of the Rabbit's Tibia and Femur*, J. Bone and Joint Surg., 51-B:359-365, 1969.
- 17) Imbert, R. : *Pathologie experimentale de l'appareil de Croissance des os Longs*, Marseille Chir., 3:581-599, 1951.
- 18) Johnson, J.T.H. and Southwick, W.O. : *Growth following Transepiphyseal Bone Grafts*, J. Bone and Joint Surg., 42-A:1381-1395, 1960.
- 19) Key, J.A. and Ford, L.T. : *A Study of Experimental Trauma to the Distal Femoral Epiphysis in Rabbits — II*, J. Bone and Joint Surg., 40-A:887-896, 1958.
- 20) Kleiger, B. and Mankin, H.J. : *Fracture of the Lateral Portion of the Distal Tibial Epiphysis*, J. Bone and Joint Surg., 46-A:25-32, 1964.
- 21) Lacroix, P. : *Le role du cartilage de conjugasion dans l'allongement des os*, Acta Orthop. Scand., 18:373, 1849.
- 22) Langenskiold, A. : *Operation for Partial Closure of an Epiphyseal Plate in Children and its Experimental Basis*, J. Bone and Joint Surg., 57-B:325-300, 1975.
- 23) Nordentoft, E.L. : *Experimental Epiphyseal Injuries, Grading of Traumas and Attempts at Treating Traumatic Epiphyseal Arrest in Animals*, Acta Orthop. Scand. 40:176-192, 1969.
- 24) Nunnemacher, R.F. : *Experimental Studies on the Cartilage Plates in the Long Bones of the Rat*. Amer. J. Anat., 65:253-289, 1939.
- 25) Osterman, K. : *Operative Elimination of Partial Premature Epiphyseal Closure, An Experimental Study*, Acta Orthop. Scand., Suppl. No.147, 1972.
- 26) Payton, C. : *Growth of Epiphysis of Long Bones in Maderfed Pigs*, J. Anat. 67:371-381, 1933.
- 27) Phemister, D.B. : *Operative Arrestment of Longitudinal Growth of Bones in the Treatment of Deformities*, J. Bone and Joint Surg., 15:1-15, 1933.
- 28) Reynold, F.D. and Ford, L.T. : *Experimental Use of Gelfoam to Fill Defects in Bones*, J. Bone and Joint Surg., 35-A:980-982, 1953.
- 29) Salter, R.B. and Harris, R. : *Injuries Involving the Epiphyseal plate*, J. Bone and Joint Surg., 45-A:587-622, 1963.
- 30) Siffert, R.S. : *The Effect of Staples and Longitudinal Wires on Epiphyseal Growth, An Experimental Study*, J. Bone and Joint Surg., 38-A:1077-1088, 1956.
- 31) Siffert, R.S. : *The Growth Plate and its Affection*, J. Bone and Joint Surg., 48-A:546-563, 1966.
- 32) Simmons, D.J. and Nunemacher, R.F. : *Growth of the Rat Epiphyseal Cartilage Plate Following Partial Amputation*, Amer. J. Anat., 117:232, 1965.
- 33) Strobino, L.J., Colonna, P.O., Brody, R.S. and Leinback, T. : *The Effect of Compression on the Growth of the Epiphyseal Bone*, Surg. Gynec. Obstet., 103:85-93, 1956.