

골연장술에 따른 말초신경의 체성감각 유발전위의 변화 —가토 경골의 실험적 연구—

서울대학교 의과대학 정형외과학교실, 재활의학과학교실*

이덕용 · 한태훈* · 최인호 · 이춘기

=Abstract=

Changes of Somatosensory Evoked Potentials in Bone Lengthening —An Experimental Study on Rabbits' Tibiae—

Duk Yong Lee, M.D., Tai Ryoon Han, M.D.,* In Ho Choi, M.D. and Choon Ki Lee, M.D.

Department of Orthopedic Surgery and Rehabilitation Medicine, College of Medicine,
Seoul National University*

Limb lengthening is now an accepted form of correcting limb length inequality. It is, however, associated not infrequently with a variety of complications including peripheral nerve palsies. Such nerve dysfunction is obviously dependent on the velocity and amount of bone lengthening.

In this experiment, the author attempted to determine the safe limits of the velocity and amount of bone lengthening by measuring somatosensory evoked potential (SSEP).

The tibiae of 96 rabbits, weighing from 1.5 to 1.6kg, were osteotomized; in Group I, the tibiae were lengthened 0.35mm per day once daily; in Group II, 0.7mm per day; in Group III, 1.05mm per day; and in Group IV, 1.4mm per day. Several rabbits were subjected to the study weekly until, six weeks postoperatively in Group I, five weeks postoperatively in Group II, four weeks postoperatively in Group III, and three weeks postoperatively in Group IV.

The following results were obtained:

1. Preliminarily, in order to verify the possible difference between the right and left tibiae, PI latency and amplitude were measured in 18 rabbits. Paired t-test revealed no statistically significant difference between the two ($p > 0.05$). The amplitude manifested more individual variation than the PI latency.
2. As lengthening progressed, the PI latency gradually increased, whereas the amplitude decreased. The higher the percentage of lengthening to the original tibial length, the more marked the changes in both the PI latency and amplitude.
3. As lengthening progressed, significant changes were observed earlier in the amplitude than in the PI latency.
4. Significant changes in the amplitude were observed when lengthening reached 12.2% of the original tibial length in Group I (0.35mm/day) and 10.5% in Group IV (1.4mm/day). Significant changes in the PI latency were observed when lengthening reached 17.8% of the original length.

It is concluded that somatosensory evoked potential is an effective method of detecting early and preventing neurological complications in bone lengthening. Somatosensory evoked potential is a clinically feasible technique. It is expected that the finding of study may serve as a useful guideline for detecting the safe limits of velocity and amount of bone lengthening.

Key Words: Bone lengthening, Peripheral nerve injury, Somatosensory evoked potential.

본 논문은 1990년도 서울대학교병원 임상연구비 보조로 이루어졌음.

서 론

하지부동의 치료로 골연장술은 Codivilla가 대퇴골 절골술 및 종골견인술로 처음 시도한 이래로 많은 사람들이 새로운 기술 및 신연장치를 개발하였다. 골연장은 일반적으로 절골술 후에 외 고정을 한후 점차적으로 절골된 뼈를 신연시킴으로 얻어진다.

그러나 이러한 방법은 많은 기술적인 문제점 뿐만 아니라 합병증을 동반할 수 있다. Abbot 및 Saunders⁷⁾ Clozman등¹⁵⁾은 합병증으로 슬관절이나 족관절의 변형 및 운동제한, 족부 및 경골의 변화, 하지근육의 약화 순환장애, 신경의 합병증, 염증등을 초래할 수 있다고 하였으며, Alan⁸⁾은 이 합병증을 절골된 뼈로 가는 혈류의 차단으로 오는것, 절골술후 불충분한 고정으로 오는 것과 관신연으로 발생하는 것등으로 나누었다. 최근에는 혈류의 차단으로 오는 합병증은 피절골 절골술(corticotomy)이나 가골신연술(callus distraction, callotaxis)로, 불충분한 고정으로 오는 합병증은 De Bastiani의 Orthofix dynamic axial fixator나 Ilizarov apparatus등 보다 생역학적으로 합당한 골연장 장치(distraction apparatus)를 사용하여 예방하려고 있다.

골연장때의 연부조직의 저항을 줄이기 위하여 Wagner⁴⁵⁾는 골의 근막과 장경인대(iliotibial band)등의 절제술로 연부조직의 긴장(tension)을 줄여야 한다고 하였다. 그러나 과신연으로 오는 근육, 관절, 혈관 신경의 합병증에 대해서는 어느 정도의 신연으로 합병증이 오며 그 기전은 어떤 것 인가에 대하여 아직 충분한 규명이 되어있지 못하며, 특히 신경손상에 대해서는 임상적 보고는 많으나 그에 대한 체계적인 연구는 거의 없다. Kawamura²⁶⁾는 개에서 경골연장술 후 생화학적 검사와 근육의 활동전위(action potential)를 측정하여 뼈 길이가 10%이상 연장되면 근육과 신경의 이상이 온다 하였다. Ilizarov는 그가 창안한 가골신연술로 보다 적은 합병증으로 보다 많은 골연장을 얻었는데 271례의 경골연장술후 은 19례의 합병증중 4례의 신경손상과 237례의 대퇴골 연장술후 은 12례의 합병증중 6례의 신경손상을 보고하였는데 말초신경손상이 비교적 많은 비율을 차지한다고 하였다³⁷⁾.

저자들은 실험적으로 골연장시 말초신경의 장

에 대한 검사로 체성감각 유발전위(somatosensory evoked potential, SSEP)를 측정하였다. 체성감각 유발전위는 감각신경 전위의 일종으로 Dawson¹⁶⁾이 처음 말초신경을 자극하여 구심성(afferent)으로 두피에서 미세한 전압을 기록한 바 있다. 근래에서 다발성 경화증의 진단과 척추측만증의 신연 교정시 척수의 손상여부의 판단에 많이 이용되고 있다²⁾. 말초신경 손상의 경우 Desmedt등^{20, 21)}은 원심적(efferent)으로 감각신경 활동전위를 기록할 수 없을 때 체성감각 유발전위로 이를 측정할 수 있다고 하였으며, 이로써 말초신경의 포착성증후군(entrapment syndrome)이나 독성, 대사성 말초신경손상의 진단에 유용하다 하였다. Mulder³⁵⁾, Kline²⁷⁾, Assmus등¹²⁾은 체성감각 유발전위로 말초신경 손상의 정도 및 그예후를 판정할 수 있으며 특히 의식이 없는 환자나 협조를 못하는 히스테리아 환자, 소아, 실험동물 등에서 유용하다고 하였다. 특히 동물 실험에서의 말초신경 손상의 검사에서 needle electromyography 보다 직접적이며, 운동신경이나 감각신경의 전도속도(conduction velocity) 검사보다 재현성(reproducibility)과 정확도가 높아 적합한 방법이라 하였다⁵⁾.

따라서 본 실험에서는 가토의 경골에서 신연속도를 0.35mm/1일, 0.7mm/1일, 1.05mm/1일, 1.4mm/1일의 4군으로 나누고 유발될 것으로 예상되는 말초신경 손상을 체성감각 유발전위로 관찰하였다. 이 관찰로서 골연장시 말초신경 손상을 예방할 수 있는 적절한 신연속도 및 정도를 규명하고자 하였다.

연구재료 및 방법

1. 연구재료

실험재료로는 서울대학교병원 동물실험실에서 분양받은 체중 1.5-1.6kg의 New Zealand계 백색가토(Oryctolagus cuniculus)를 사용하였으며 자웅의 구별은 두지 않았다. 전 실험기간 중 사료로는 삼양식품제조 페레트형 고형 압축 사료(마우스용)를 사용하였으며 식수는 수도물을 사용하였다. 기타 사육 조건은 동일하게 유지하였다. 당초 118마리의 가토로 실험을 시작하였으나 실험 기간중 사망 등으로 인하여 소기의 관찰이 불가능한 경우가 있어 96마리만을 실험대상으로 하였다.

Table 1. Number of rabbits in each group

Group	Duration of lengthening						Total
	1 wk	2 wk	3 wk	4 wk	5 wk	6 wk	
I	6	6	5	5	5	5	32
II	7	5	6	5	5		28
III	5	6	5	5			21
IV	5	5	5				15

Note : Group I :lengthening 0.35mm/day, Group II :lengthening 0.7mm/day, Group III :lengthening 1.05mm/day, IV :lengthening 1.4mm/day.

Fig. 1. Somatosensory evoked potential was monitored with Cadweell 5200A electro-myography.

2. 연구방법

이들 96마리의 가토를 다음과 같은 4군으로 나누어 실험을 진행하였다.

제 I 군:신연 속도를 0.35mm/1일 로 늘리는 군
제 II 군:신연 속도를 0.7mm/1일 로 늘리는 군
제 III 군:신연 속도를 1.05mm/1일 로 늘리는 군
제 IV 군:신연 속도를 1.4mm/1일 로 늘리는 군

제 I 군은 신연을 1주, 2주, 3주, 4주, 5주, 6주간 시행한 6개의 소군으로 나누었으며, 제 II 군은 1주부터 5주간 시행한 5개의 소군으로, 제 III 군은 1주부터 4주간 시행한 4개의 소군으로, 제 IV 군은 1주부터 3주간 시행한 3개의 소군으로 각각 나누어 관찰하였다. 각 군당 가토의 수는 제 I 군의 1주, 2주, 3주, 4주, 5주, 6주가 각각 6, 6, 5, 5, 5, 5마리이고, 제 II 군의 1주, 2주, 3주, 4주, 5주가 각각 7, 5, 6, 5, 5마리이고, 제 III 군의 1주, 2주, 3주, 4주가 각각 5, 6, 5, 5마리이며, 제 IV 군의 1주, 2주, 3주가 각각 5, 5, 5마리이었다(Table 1).

각 실험 가토는 sodium pentobarbital 30mg (20mg/kg)을 가토의 귀 정맥에 주사하여 전신 마취를 한 후에 전기 삭모기로 약측 하퇴

Fig. 2. Active electrode was inserted to the crossing point between the lambdoid suture and midline and reference electrode was inserted about 3-4cm in front of the active electrodes.

부, 두부 및 우측 상박부의 털을 충분히 제거한 후 체성감각 유발전위를 측정하였다.

체성감각 유발전위의 측정은 Cadwell회사 Model 5200형의 근전도기를 사용하였다(Fig. 1). 측정방법은 보편적인 체성감각 유발 전위 검사 방법을 사용하였다. 즉 검사실의 실온은 22-26°C를 유지하였으며 불필요한 배경잡음(background noise)을 배제하기 위하여 수술등을 비롯한 기타 전원을 차단하였다. 기록 전극은 백금으로 된 E.E.G. 전극을 사용하였다. 고정위치는 능동 전극(active electrode)을 삼각붕합(lambdoid suture)과 정중선이 만나는 곳에, 기준전극(reference electrode)을 그보다 약 3cm전방에 삽입 하였는, 접지전극(ground electrode)은 상박부에 두었다(Fig. 2). 신경 자극은 족관절 부위에서 아킬레스 건과 내과사이에 경피 쌍극 전극을 사용하여 음극(cathode)을 근위부로 하여 후정골 신경부위에 고정하였다. 자극은 square electric pulse로서 그 지속시간은 0.1-0.2msec로 하였으며 자극의 강도는 10-30mA로서 족저근육의 수축이 눈으로 보이

SSEP1
G= 20 H= 500 L= 1.0
PW=100 S=10.00 RR= 2.82
AVE= 200/200 SC= 4

A= 6.75
T=21.63 0.00 DELTA=21.63
↓

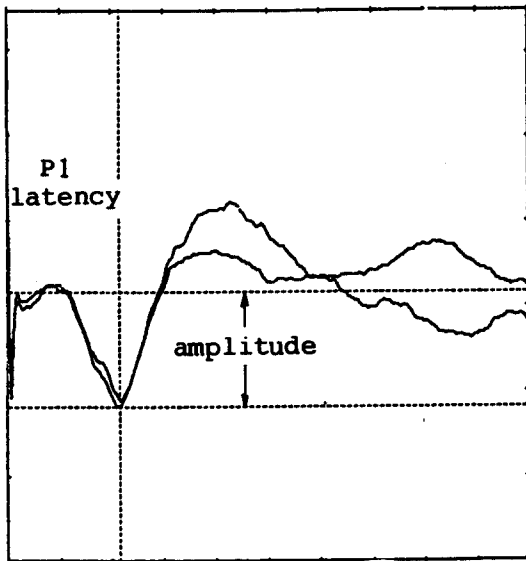


Fig. 3-A. SSEP was recorded if two consecutive potential waves were equal.

SSEP1
G= 20 H= 500 L= 1.0
PW=100 S=10.00 RR= 2.82
AVE= 200/200 SC= 4

T=24.96 22.04 DELTA= 2.91

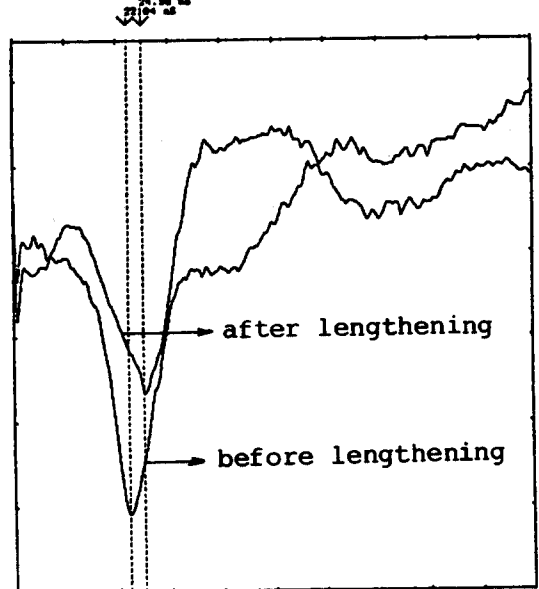


Fig. 3-B. After lengthening, P1 latency was delayed and amplitude was decreased.

는 정도로 하였다. 자극의 빈도는 1초에 2.82번으로 총 200회의 자극을 평균하였다. sensitivity(gain)를 20microvolt/division으로 하고 high frequency fil-ter는 500KHZ에, low frequency filter는 1KHZ에 고정하였다. monitor의 sweep speed는 10msec/division으로 하였다. 잠복기간은 (latency)처음 양성쪽으로 편향되는 PI까지의 시간을 측정하였고, 진폭 (amplitude)은 기준선에서 PI까지의 폭을 측정하였으며, 같은 측정을 2회 이상에 걸쳐 시행하여 그 파가 동일하다고 판단 되었을때 기록을 하였다(Fig. 3-a, b).

후경골 신경의 체성감각 유발전위의 측정후 무균 조작하에 저자가 minifixator를 개량하여 만든 신연기구를 우측 경골에 부착하였다(Fig. 4). 이 신연기구는 근위부의 고정된 부분으로 K-강선 2개가 뼈에 삽입되며, 원위부의 움직이는 부분으로 2개의 K-강선이 삽입되며 이 사이를 절골하여 늘리게 된다. 나사를 360°C 회전하면 0.7mm가 늘리도록 고안하였다.

절골술은 신연기구의 고정부분과 움직이는

Fig. 4. Setting of lengthening apparatus in place.

부분사이로 하퇴부 전내측에 약 1.5cm 정도의 피부절개를 하고 골막을 박리한 후 경골을 미세톱으로 절골하였으며 비골은 같은 절개를 통하여 절골하였다. 절골후 골막, 근육, 피부를 각기 6-0nylon으로 봉합하였다. 수술후 염증을 예방하기 위하여 3일간 kanamycin 50-100mg/kg/일을 근육 주사 하였다.

수술후 각군에 따라 신연기구를 180° (0.35mm), 360° (0.7mm) 540° (1.05mm), 720° (1.4mm)씩 매일 1회 늘렸다. 전 군에서 1주간격으로 방사선 촬영을 하였다. 방사선 촬영시 확대 요인을 제거하기 위하여 50mm되는 직선자를 대고 찍어 실제 늘어난 길이와 정상인 왼쪽 경골의 길이에 대한 비율을 구하였다. 방사선 사진상 경골의 길이는 종축(long axis)에 평행하게 경골내과 (medial condyle)의 가장 근위부에서 경골과 비골이 만나는 복합골 (lateral malleolus)의 가장 원위부 까지를 측정하였다.

그후 각군에서 무작위로 선정된 가토를 술후 1주부터 매주마다 sodium pentobarbital 마취하에 신연기구는 부착한 채로 후경골신경의 체성감각 유발전위를 측정하였다. 이때 연장된 뼈의 융합 여부는 무시하였다.

연구 성적

1. 골연장술로 늘어난 길이 및 정상경골에 대한 비율

방사선 사진상 확대요인을 제거하기 위해 50mm자를 대고 찍어 경골내과의 근위부에서 족관절 외과의 원위부까지 측정하여 경골의 실제 길이를 다음과 같이 구하였다.

True length (mm) =

$$\frac{\text{radiological length of tibia} \times 50}{\text{radiological length of ruler}}$$

골연장술을 시행한 우측 경골의 길이와 정상인 좌측 경골의 차이로 실제 늘어난 길이를 구하였으며, 또한 실제 늘어난 길이와 정상 길이의 비율을 구하였다. 제 I 군에서의 늘어난 비율은 1주, 2주, 3주, 4주, 5주, 6주에 각각 2.8%, 5.2%, 7.3%, 9.3%, 11.0%, 12.2%이었으며, 제 II 군에서는 1주부터 5주까지 각각 5.2%, 10.0%, 14.1%, 17.8%, 21.0%, 제 III 군에서는 1주부터 4주까지 각각 7.9%, 15.1%, 21.4%, 26.9%, 제 IV 군에서는 1주부터 3주까지 각각 10.5%, 19.9%, 28.1%이었다 (Table 2) (Fig. 5~8).

2. 실험가토의 체성감각 유발전위의 정상치

우선 실험가토의 P1 latency와 진폭의 정상치와 우측 및 좌측의 차이를 알기 위하여 술전에 18마리의 가토의 P1 latency와 진폭을 측정하였다. 우측의 P1 latency는 21.42 ± 1.96 msec, 좌측은 21.50 ± 2.06 msec이었으며, 우측의 진폭은 $5.92 \pm 1.69 \mu V$, 좌측은 $5.78 \pm 1.72 \mu V$ 이었다. 이 18마리의 가토의 좌, 우측 측정치를 paired t-test로 통계 검증을 하였으나 차이가 없었다 ($p > 0.05$). P1 latency의 변이계수 (coefficient of variation)는 우측이 9.15, 좌측이 9.58이며, 진폭의 변이 계수는 우측이 28.55, 좌측이 29.30으로 P1 latency에 비해 진폭의 개개 가토의 차이가 훨씬 심하였다 (Table 3-a, b).

3. 골연장에 따른 체성감각 유발전위의 변화

P1 latency와 진폭의 골연장을 한 우측과 정상인 좌측과의 차이의 정상측에 대한 백분율을

Table 2. Final lengthening of tibiae

Group	No. of rabbits	Actual lengthening(mm)* (percentage of lengthening (%)**)					
		1 wk	2 wk	3 wk	4 wk	5 wk	6 wk
I	32	2.5(2.8)	4.8(5.2)	7.0(7.3)	9.2(9.3)	11.2(11.0)	12.6(12.2)
II	28	4.7(5.2)	9.3(10.0)	13.6(14.1)	17.6(17.8)	21.4(21.0)	
III	21	7.1(7.9)	14.1(15.1)	20.6(21.4)	26.7(26.9)		
IV	15	9.4(10.5)	18.5(19.9)	27.1(28.1)			

Note : Group I :lengthening 0.35mm/day, Group II :lengthening 0.7mm/day, Group III :lengthening 1.05mm/day, IV :lengthening 1.4mm/day.

*Actual lengthening = elongated tibia - control tibia (mm)

**Percentage of lengthening = $\frac{\text{elongated tibia} - \text{control tibia}}{\text{control tibia}} \times 100 (\%)$

Fig. 5. Radiographs showing sequential changes of tibial lengthening in Group I .

Fig. 6. Radiographs showing sequential changes of tibial lengthening in Group II .

Fig. 7. Radiographs showing sequential changes of tibial lengthening in Group Ⅲ.

Fig. 8. Radiographs showing sequential changes of tibial lengthening in Group Ⅳ.

1주마다 구하여 기간 경과에 따른 변화의 통계
적 유의성을 ANOVA test와 Tukey's (H.S.D.)
test로 검정하였다. 즉 백분율을

$$\frac{\text{P1 latency of right limb-left limb}}{\text{P1 latency of left limb}} \times 100 (\%) \text{과}$$

amplitude of left limb-right limb

amplitude of left limb $\times 100(\%)$ 로 구했다
 술전 18마리 가토의 P1 latency의 백분율 값은 $0.30 \pm 2.16\%$ 이었고, 진폭의 그것은 $-0.83 \pm 6.91\%$ 이었다 (Table 4, 5).

제 I 군에서의 술후 시기별 P1 latency의 정상측과의 차이의 백분율은 1, 2, 3, 4, 5, 6주에서 각각 $0.19 \pm 2.96\%$, $0.40 \pm 1.94\%$, $1.24 \pm 2.00\%$, $1.34 \pm 1.54\%$, $1.62 \pm 1.25\%$, $1.77 \pm 2.54\%$ 이었고, 진폭의 정상측과의 차이의 백분율은 각각 $-0.96 \pm 13.79\%$, $3.55 \pm 19.18\%$, $7.49 \pm 4.82\%$, $10.50 \pm 7.25\%$, $12.75 \pm 9.11\%$, $15.51 \pm 10.75\%$ 이었다 (Table 4, 5).

제 II 군의 실험가토의 P1 latency의 정상측과의 차이의 백분율은 1, 2, 3, 4, 5주에 각기 $1.08 \pm 1.85\%$, $1.74 \pm 2.42\%$, $2.20 \pm 1.90\%$, $5.42 \pm 2.44\%$, $6.38 \pm 5.44\%$ 이었으며, 진폭의 정상측과의 차이의 백분율은 각기 $6.42 \pm 15.24\%$, $14.$

$38 \pm 16.81\%$, 18.01 ± 10.46 , $26.69 \pm 17.18\%$, $32.57 \pm 18.75\%$ 이었다 (Table 4, 5).

제 III 군의 실험가토의 P1 latency의 정상측과의 차이의 백분율은 1, 2, 3, 4주에 각기 $2.82 \pm 2.26\%$, $3.99 \pm 4.52\%$, $7.70 \pm 4.52\%$, $9.76 \pm 5.05\%$ 이었으며, 진폭의 정상측과의 차이의 백분율은 각기 $14.62 \pm 6.22\%$, $24.08 \pm 10.95\%$, $35.93 \pm 11.10\%$, $40.37 \pm 14.40\%$ 이었다 (Table 4, 5).

제 IV 군의 실험가토의 P1 latency의 정상측과의 백분율은 1, 2, 3주에 각기 $4.17 \pm 5.20\%$, $9.09 \pm 7.92\%$, $11.98 \pm 4.47\%$ 이었으며, 진폭의 정상측과의 차이의 백분율은 각기 $22.86 \pm 14.55\%$, $37.60 \pm 17.59\%$, $56.64 \pm 18.75\%$ 이었다 (Table 4, 5).

P1 latency는 각군에 있어서 기간 경과에 따라 증가하고 있으며, 진폭은 감소하고 있었다. 또한 각군 사이에서 경골의 연장이 비슷한 백분율로 감소하고 있었다. 또한 각군 사이에서 경골의 연장이 비슷한 백분율로 늘어난 경우를

Table 3-A. P1 latency of posterior tibial nerve SSEP in preop. rabbits

Side	latency	Min. (msec)	Mean (msec)	Max. (msec)	S.D.*	C.V.**
Right		17.88	21.42	24.12	1.96	9.15
Left		17.80	21.50	24.54	2.06	99.58

*:standard deviation, **:coefficient of variation=S.D./Mean $\times 100(\%)$

Table 3-B. Amplitude of posterior tibial nerve SSEP in preop. rabbits

Side	Ampl.	Min. (μV)	Mean (μV)	Max. (μV)	S.D.*	C.V.**
Right		3.58	5.92	9.48	1.69	28.55
Left		3.51	5.87	9.13	1.72	29.30

*:standard deviation, **:coefficient of variation=S.D./Mean $\times 100(\%)$

Table 4. Changes of percentage of P1 latency**

Preop. Group	Duration of lengthening					
	1 wk	2 wk	3 wk	4 wk	5 wk	6 wk
I	0.19 ± 2.96	0.40 ± 1.94	1.24 ± 2.00	1.34 ± 1.54	1.62 ± 1.25	1.77 ± 2.54
0.30 \pm 2.16	II	1.08 ± 1.85	1.74 ± 4.42	2.20 ± 1.90	$5.42 \pm 2.44^*$	$6.38 \pm 5.44^*$
	III	2.82 ± 2.26	3.99 ± 4.52	$7.70 \pm 4.52^*$	$9.76 \pm 5.05^*$	
	IV	4.17 ± 5.20	$9.90 \pm 7.92^*$	$11.98 \pm 4.47^*$		

Note : Group I :lengthening 0.35mm/day, Group II :lengthening 0.7mm/day, Group III :lengthening 1.05mm/day, IV :lengthening 1.4mm/day.

*significantly different from preop. ($p < 0.05$)

$$** = \frac{\text{P1 latency of right limb-left limb}}{\text{P1 latency of left limb}} \times 100(\%)$$

비교하면 보다 빨리 늘린 군에서의 P1 latency와 진폭이 모두 변화가 심하였다.

P1 latency가 정상측과의 차이에 대한 백분율중 골연장술 전에 비하여 통계학적으로 차이가 있는 것($P<0.05$)은 제Ⅱ군의 4주, 5주, 제Ⅲ군의 3주, 4주와 제Ⅳ군의 2주, 3주 이었다 (Table 4).

진폭의 정상측과의 차이에 대한 백분율중 골연장술 전에 비하여 통계학적으로 차이가 있는 것($P<0.05$)은 제Ⅰ군의 6주, 제Ⅱ군의 3주, 4주, 5주, 제Ⅲ군의 2주, 3주, 4주와 제Ⅳ군의 1주, 2주, 3주 이었다(Table 5).

골연장술로 늘어난 길이와 정상길이의 비율에 대한 P1 latency의 변화는 제Ⅱ군에서 4주 이상 즉 17.8%이상 늘어날때와, 제Ⅲ군에서 3주 이상 즉 21.4%이상 늘어날때, 그리고 제Ⅳ군에서 2주이상 즉 19.9% 이상 늘어날때 통계학적 의의가 있었다. 골연장술로 늘어난 길이와 정상길이의 비율에 대한 진폭의 변화는 제Ⅰ군에서 6주 즉 12.2%이상 늘어날때, 제Ⅱ군에서 2주 즉 14.1%이상 늘어날 때, 제Ⅲ군에

서 2주 즉 15.1%이상, 제Ⅳ군서 1주 즉 10.5% 이상 늘어날때 통계적 의의가 있었다 즉 P1 latency는 제Ⅱ군의 3주인 17.8%이상 늘어날 경우와 Ⅳ군의 2주인 19.9%이상 늘어날 경우를 포함하여 이 이상 늘어나면 의의 있는 변화를 보였으며, 진폭은 제Ⅳ군의 1주인 10.5% 이상 늘어날 경우와 제Ⅰ군의 6주 12.2%이상 늘어날 경우를 포함하여 이 이상 늘어나면 의의 있는 변화를 보였다(Table 6).

결국 가토의 경골을 0.35mm/1일 즉 약 0.39%/1일 늘린 제Ⅰ군에서는 12.2% 늘린 후 진폭의 변화가 왔으며, 1.4mm/1일 즉 1.56%/1일 늘린 제Ⅳ군에서는 10.5% 늘린 후 진폭의 변화가 왔으며 P1 latency는 제Ⅱ군의 17.8% 이상 늘린 경우를 포함하여 그 이상 경골이 신연되는 변화를 보였다. 즉 골연장술로 인한 체성감각 유발전유위의 변화는 P1 latency보다 진폭이 더 빨리 변화를 보였다(Table 6).

고 찰

Table 5. Changes of percentage of amplitude**

Preop. Group	Duration of lengthening					
	1 wk	2 wk	3 wk	4 wk	5 wk	6 wk
I	-0.96±13.75	3.55±19.18	7.49± 4.82	10.50±7.25	12.75± 9.11	15.51±10.75*
-85± II	6.42±15.24	14.38±16.81	18.01±10.46*	26.69±17.18*	32.57±18.75*	
6.91 III	14.62± 6.22	24.08±10.95*	35.93±11.10*	40.37±14.40*		
IV	22.86±14.55*	37.60±17.59*	56.64±18.75*			

Note : Group I :lengthening 0.35mm/day, Group II :lengthening 0.7mm/day, Group III :lengthening 1.05mm/day, IV :lengthening 1.4mm/day.

*significantly different from preop. ($p<0.05$)

$$** = \frac{\text{amplitude of left limb-right limb}}{\text{amplitude of left limb}} \times 100 (\%)$$

Table 6. Percentage of lengthening when significant changes in P1 latency and amplitude occurred

Group	Duration	Percentage of lengthening					
		1 wk	2 wk	3 wk	4 wk	5 wk	6 wk
I		2.8	5.2	7.3	9.3	11.0	12.2*
II		5.2	10.0	14.1*	17.8**	21.0*	
III		7.9	15.1*	21.4**	26.9**		
IV		10.5*	19.9**	28.1**			

*significantly different from preop. in P1 latency ($P<0.05$)

*significantly different from preop. in amplitued ($P<0.05$)

하지부동의 치료로 골연장술은 이제는 정형외과 영역에서 보편적으로 시행하는 술식이 되었다. 하지부동의 원인으로는 주로 성장기 소아에서 선천성 기형, 마비성 질환, 종양, 염증성 질환, 순환 장애, 골단판 손상 등 여러가지가 있다. Eyring²²⁾은 정상인의 약 10%에서도 측정할 수 있는 하지부동이 있다고 하였다, 이 경우 대부분 1cm이내의 차이이며 따라서 인식을 못하고 일상생활을 하며 치료를 요하지 않는다. 하지부동이 2cm이내의 shoe lift등의 보존적 치료를 시행하나 그 이상이 되면 수술적 교정이 필요하게 된다^{1,3,4)}. 수술적 요법은 장측하(長側, long limb)에서 골단축술(bone shortening)과 소아에서 성장을 억제하는 골단판 유합술(epiphysiodesis)이나 epiphyseal stapling이 있으며, 단측하(短側, short limb)에서는 골연장술(bone lengthening)이 있다.

골연장술은 Codivilla가 대퇴골 절골술 후 종골견인으로 처음 시도한 이래 Putti³⁸⁾와 Abott⁶⁾는 견인기구에 의한 침전적이고 계속적인 신연술을 고안하였다. 그 후 McCarroll³²⁾, Anderson¹⁰⁾, Bost and Larsen¹³⁾, Allan⁹⁾, Manning³¹⁾ 등에 의하여 많은 임상적 보고가 있었다. 그러나 Sofield⁴¹⁾ 등은 이골연장술의 기술상의 문제점과 심한 합병증 때문에 사용할 제한할것을 주장하여 이 경향은 1950년대와 1960년대를 지배하여 이시기에는 주로 골단판유합술과 골단축술로 하지 부동을 치료하였다^{1,3)}. 그러다가 독일의 Wagner⁴⁵⁾가 견고한 골신연 기구(distrac-tion apparatus)를 이용한 대퇴골 연장술로 보다 합병증이 적고 보다 많은 골의 연장을 보고한 이후 골연장술은 다시금 하지부동의 치료로 각광을 받으며 재등장하게 되었다.

이태리의 De Bastiani (1987)¹⁷⁾는 피질골 절골술(corticotomy)로 10-14일 후 골내 혈류가 재형성된 다음에 골연장을 서서히 시행하는 가골신연술(callus distraction, callotasis, callotasi)로 훨씬 합병증이 적고 만족할 골연장을 얻었다고 보고하였다. De Bastiani의 골연장에 대한 이런 개념은 러시아의 Ilizarov술식을 변형한 것으로, Ilizarov는 1951년 부터, 경피절골술(percutaneous osteotomy)을 골간단(metaphysis)과 골간(diaphysis)사이에서 시행하는 corticotomy와 골간단에서 시행하는 compatotomy를 행하여, 그가 개발한 원통형 외고정 기구(circular external fixator)로 고정한 후 술후 7일째부터 0.25mm씩 하루에 4회에 걸쳐 서서히

가골신연술(callus distraction)을 시행하여 골내 혹은 골막의 혈류가 차단됨이 없이 골연장을 얻을 수 있었다. 그의 기구는 가는 외고정핀을 사용하여 수술직후부터 체중부하 보행으로 골절부에 cyclic axial micromotion (dynamization)을 허용하여 골의 형성 및 재형성을 촉진시키고 있다. 그의 이러한 개념은 생리적으로나 생역학적으로 획기적인 것으로 뒤늦게서야 서방세계에 알려지게 된 것이다³⁷⁾.

그 밖의 연장술의 방법으로는 골단판 신연술(physeal distraction, distrac-tional epiphyseolysis)이 있는 데 이는 골단과 골간단에 핀을 삽입하여 이 핀을 골단판에 신연력을 가해 골연장을 얻는 방법으로서 이 역시 1965년 Ilizarov와 Zazjyalov가 시작하여 최근 서방세계에서 Sledge⁴⁰⁾, Monticelli와 Spinelli³⁴⁾, De Bastiani^{18,19)} 등에 의하여 시도되고 있다.

골연장술 후의 합병증 Wagner⁴⁵⁾, Hood²⁴⁾에 의하면 통틀어 35%에서 92%까지 되며 핀 삽입부의 감염, Schanz나사의 해리, 골절, 골수염, 지연유합, 신경손상 등을 보고하였다. Armour¹¹⁾은 부정열(malalignment) 및 핀 삽입부 감염이 가장 흔하다고 보고 하였으며, De Bastiani¹⁷⁾은 100예의 사지 장관골 연장에서 14%의 비교적 적은 합병증을 보고하였다. Ilizarov는 237례의 대퇴골연장술에서 12례(5.6%), 217례의 경골연장술에서 19례(8.7%)의 매우 적은 합병증을 보고하였는데 대퇴골 연장술의 합병증 12례중 6례와 경골연장술의 19례와 4례가 말초신경 마비로 합병증 중에서 가장 많았으며 기타 핀 삽입부의 감염, 관절의 굴곡 구축 등이 있었다고 하였다^{4,37)}.

술식 및 기구가 개선됨에 따라 더욱 적응의 범위가 넓어지고 더욱 길게 골연장을 얻을 수 있음에 따라 연부조직의 신연으로 인한 합병증이 주된 문제점으로 부각되고 있다. 또한 과거에는 골연장의 많은 대상이 소아마비 후유증으로 근육의 마비가 동반된 경우였으나, 근래에서 주로 선천성 기형, 발육이상, 성장판 손상으로 인한 하지 부동 뿐만 아니라 왜소증(dwarfism)에서도 시행되며 이 경우 근육과 신경은 비교적 정상 이어서 골연장에 따른 합병증이 더 많이 나타나게 된다.

일찍이 Putti³⁸⁾나 Abott⁶⁾는 절골술후 외고정 기구로 점차적으로 골연장을 하는 개념을 소개한 바 있는데 Wagner⁴⁵⁾, Stephens⁴²⁾는 절골술시 골연장에 앞서 심부근막, 중격(septum), 장

경인대 (iliotibial band) 등 광범위한 연부조직 절제를 시행하여 연부조직의 긴장 (tension) 으로 오는 관절의 강직을 막아야 한다고 하였으나 Malhis 등³⁰⁾은 점차적인 골연장과 적극적인 물리치료로 이러한 연부조직 절제술은 필요없다고 하였다.

Perot는 체성감각 유발전위를 사용하면 수술 중 척수 손상의 위험성을 예측할 수 있다고 보고한 바 있는데, 근래에는 Nash³⁶⁾, Mason³²⁾, La-Mont 등²⁸⁾에 의하여 척추 측만증의 수술시 척수의 손상을 예측하는 방법으로 널리 사용되고 있다.

말초신경의 기능 검사에는 운동신경 전도 속도 검사 (motor nerve conduction velocity)와 감각신경 전도 속도 검사 (sensory nerve conduction velocity), 그리고 체성감각 유발전위 등의 직접적인 검사 방법과, 근육의 활동전위 (action potential)를 통해 보는 간접적인 방법이 있다. 신경전도 속도 검사는 말초 신경 병변의 진단과 그 회복 과정을 추적할 수 있는 정확하고 간편한 검사이나 소아, 히스테리아 환자, 실험동물등에 있어서는 협조의 결여로 재현성과 정확도가 떨어지게 된다^{2,5)}.

후경골 신경의 감각신경 전도 속도 검사는 이 신경의 분지인 내측척신경 (medial plantar nerve)의 autonomous zone인 제1족지의 족척부나, 외측척신경 (lateral planter nerve)의 autonomous zone인 제5족지의 족척부에서 측정하며, 운동신경 전도 속도 검사는 일반적으로 무지의 전근 (abductor hallucis)에서 측정한다. 그러나 가토등의 실험동물에서의 내, 외, 족척신경의 autonomous zone이 확실하지 않고 변화가 심하고 족지의 분할 (division)이 확실하지 않아 감각신경 전도 속도 검사의 측정이 곤란하다. 또한 Bradom 등¹⁴⁾은 감각신경 전도 속도 측정시 기준 전극 (reference electrode)은 능동전극 (active electrode)으로 부터 최소한 4cm는 떨어져야 되며 이사이에 접지전극 (ground electrode)이 있어야 한다고 했는데, 가토등의 실험동물의 족부는 너무 좁아 측정이 곤란하다. 운동 신경전도 검사는 needle electrode으로 측정이 가능하나 Horning 등²⁵⁾은 이것은 surface electrode보다 재현성 (reproducibility)과 정확도가 많이 떨어지며 작은 진폭의 파를 놓치기 쉬워 surface electrode를 사용해야 한다고 하였다. 측정할 수 있는 근육의 조건으로는 단일 신경의 지배를 받아야 하며 표피에 있으며 근

육의 넓이가 최소한 electrode의 diameter보다 넓어야 한다고 했으나 가토의 족부근육은 너무 작아 측정이 곤란하다. Mulder 등³⁵⁾은 신경 전도 속도 검사는 손상이 있는 신경의 활동전위를 포착하는데 상당히 많은 시간과 주의가 필요하며 비정상적인 모양의 활동전위로 잠복기, 진폭, 기간등에 대한 해석이 까다롭고 검사자의 기술적인 면이 많은 영향을 미치며 특히 소아나 히스테리아 환자등 협조를 얻기 힘든 경우 더욱 두들어짐으로 이때는 체성감각 유발전위로 측정해야 한다고 하였다.

체성감각 유발전위는 말초 신경중 감각 신경이나 혼합신경, 특히 직경이 큰 IA 감각신경을 따라 전달되며 척수의 dorsal column을 따라가다가 반속핵 (nucleus gracilis)과 실상핵 (nucleus cuneatus)에서 연접 (synapsis)되고 반대편의 내모대 (medial lemniscus)를 따라가다 시상(thalamus)에서 연접된후 감각 영역인 posterior central gyrus에 도달한 것을 두피에서 기록하는 것이다²⁾.

이 유발전위는 단기, 중기, 장기의 잠복기로 나뉘는데 Tsumoto⁴⁴⁾는 후경골 신경을 자극하여 나온 전위중 장기 잠복기는 넓게 분포되며 단기 잠복기는 의식정도, 마취등에 비교적 영향이 적으므로 훨씬 안정되고 확실하게 유발된다 하였다. 본 실험에서도 단기 잠복기인 P1 latency를 측정하였으며 이에 대한 진폭도 구하였다. Lastimosa 등²⁹⁾은 체성감각 유발전위의 진폭은 개인차가 심해 임상적으로 이용하기가 어렵다고 하였다. 본 실험에서도 P1 latency의 변이계수 (coefficient of variation)가 10이하인 반면에 진폭의 변이계수는 대개 가토의 차이가 심하였다. 따라서 신경 손상의 유무를 측정하기 위해서는 P1 latency가 보다 유용하며 정확하리라 생각된다.

York 등⁴⁶⁾은 체성감각 유발전위가 2표준편차를 벗어나면 의의있는 변화로 보았으며 Eisen²³⁾은 3표준편차를 기준으로 하였다. 또한 Salzmann³⁹⁾은 P1 latency는 4%, 진폭은 50%의 변화가 있으면 의의가 있다고 하였다. 이렇게 변화의 의의는 여러 보고자에 따라 다르다. 따라서 본 실험에서 어느 한 기준을 정하는 것은 매우 어려우며 더우기 가토의 후경골 신경의 체성감각 유발전위의 정상치나 실험치는 아직 보고된 바가 없어 기준을 정할 수 없어 기간 경과에 따른 변화의 유의성을 two way ANOVA test와 Tukey's (H.S.D.) test를 사용하

여 긍정하였다.

본 실험에서는 빨리 늘린군에서 P1 latency와 진폭 모두 변화가 심하였으며 진폭은 10.5-12.2% 정도 늘어나면, 그리고 P1 latency는 17.8% 이상 늘어나면 유의있는 변화를 보였다.

일찌기 Kawamura²⁶⁾가 10% 이상 골연장하면 근육의 생화학적 변화와 더불어 활동전위에 변화가 오는 것을 관찰하여 간접적으로 신경의 기능변화를 유추한 바 있는데 이는 신경의 직접적인 기능 변화를 관찰한 본 실험 결과와 대체로 부합된다고 할 수 있겠다.

최근 임상에서는 Ilizarov나 De Bastiani의 가골 신연술의 개념에 따라 하루에 1mm를 4회에 나누어 신연하는 방법이 널리 사용되고 있는데 이로써 보다 적은 합병증으로 보다 많은 골연장을 얻고 있다. 본 실험은 1일 1회 신연을 한 관찰로 그와 같은 방법에 따른 신경손상의 변화를 규명하려면 다시 새로운 연구가 필요하리라 생각된다.

결 론

하지 부동의 치료로 보편적으로 시행되는 골연장술의 합병증으로 문제가 되는 말초신경 손상에 대하여 신연 속도 및 정도에 따른 체성감각 유발전위를 관찰하여 말초신경 손상을 피할 수 있는 안전한 신연한도를 규명하고자 하였다. 이에 저자는 무게 1.5kg-1.6kg의 96마리의 가토 경골을 매일 1회 0.35mm/일, 0.7mm/일, 1.05mm/일, 1.4mm/일 늘리는 4군으로 나누어 실험을 하여 체성감각 유발전위의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 우측 및 좌측의 차이를 알기 위하여 술전 18마리의 가토의 P1 latency와 진폭을 측정하여 좌, 우측 측정치를 paired t-test로 통계 검증을 하였으나 차이가 없었다($p < 0.05$). 또한 진폭이 P1 latency에 비해 훨씬 개개 가토의 차이가 심하였다.

2. P1 latency는 각군에 있어서 기간 경과에 따라 증가를 하고 있으며 진폭은 감소하고 있었다. 또한 경골의 연장이 같은 길이로 늘어난 경우를 비교하면 보다 빨리 늘린 군에서 P1 latency와 진폭이 모두에서 변화가 심하였다.

3. 신연에 따른 후경골신경 체성감각 유발전위의 유의있는 변화는 진폭이 P1 latency보다 먼저 왔다.

4. 가토의 경골을 0.35mm/1일, 즉 약 0.39%

/1일 이상 늘린 경우 12.2% 이상 늘렸을 때 진폭의 변화가 왔으며, 1.4mm/1일, 즉 1.56%/1일 늘린 경우 10.5% 이상 늘렸을 때 변화가 왔다 P1 latency는 17.8% 이상 늘렸을 때 변화를 보였다.

이상과 같은 실험결과로 보아 골연장술시 체성감각 유발전위는 말초신경의 합병증을 조기에 발견하여 예방할 수 있는 효과적인 방법이라 결론 지을 수 있다. 이 방법은 임상적용도 비교적 용이하며, 또한 이와 같은 소견은 골신연의 안전한 속도 및 정도를 예측하는데 유용한 지침이 될 수 있으리라 기대한다.

REFERENCES

- 1) 기정일, 이덕용: 하지부동 대한정형외과학 교실, 4:1-12, 1969.
- 2) 박시복, 이강목: 정상한국인 SEP의 연령별 신장별 분석. 대한재활의학회지, 12:39-46, 1988.
- 3) 이덕용, 이수용, 태석기, 외 1인: 소아마비 환자의 골단유합술의 최종추시. 대한정형외과학회지, 20:1026-1036, 1985.
- 4) 이덕용, 이춘기, 민학진, 외 1인: 대퇴골 연장술 - 25예치험 -. 대한정형외과학회지, 12:39-46, 1988.
- 5) 한태륜, 이덕용, 외 2인: 가토에서 체성감각 유발전위 (somatosensory evoked potential)를 이용한 말초신경 재생에 관한 실험적 연구. 대한재활의학회지, 9:57-71, 1985.
- 6) Abbott, L.C.: The operative lengthening of the tibia and fibula. J. Bone and Joint surg., 9:128-152, 1927.
- 7) Abbott L.C. and Saunders J.B.: The operative lengthening of the tibia and fibula. Preliminary report on further development of principles and technic. Ann. Surg., 100:961, 1939.
- 8) Allan, F.C.: Bone lengthening. J. Bone and Joint Surg., 30B:490, 1948.
- 9) Allan, F.G.: Simultaneous femoral and tibial lengthening. J. Bone and Joint Surg., 45B:206, 1963.
- 10) Anderson, W.V.: Leg lengthening. J. Bone and Joint Surg., 34B:150, 1952.
- 11) Armour, P.C. and Scott, J.: Equalization of leg length. J. Bone and Joint Surg., 63B:587

-592, 1981.

- 12) Assmus, H.: *Diagnostic value of the somatosensory evoked response in peripheral nerve lesions*. PP. 389-391, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1978.
- 13) Bost, F.C. and Larsen, L.J.: *Experiences with lengthening of the femur over an intramedullary rod*. J. Bone and Joint Surg., 38A:567-584, 1956.
- 14) Bradom, R.L. and Schuchmann, J.: *Practical electromyography*. pp. 20-25, Williams and Wilkins, Baltimore, 1981.
- 15) Coleman, S.S. and Stevens, P.M.: *Tibial lengthening*. Clin. Orthop., 136:92-103, 1978.
- 16) Dawson, G.D.: *Cerebral response to the electrical stimulation of peripheral nerve in man*. J. Neurol Neurosurg and Psychiatry, 10:137, 1947.
- 17) De Bastiani, G., Aldegheri, R. and Brivivio, L.R., et al.: *Chondrodystasia-controlled symmetrical distraction of the epiphyseal plate*. J. Bone and Joint Surg., 68B:550-556, 1986.
- 18) De Bastiani, G., Aldegheri, R. and Renzi-Brivio, L., et al.: *Limb lengthening by callus distraction (callotaxis)*. J. Ped. Orthop., 7: 129-134, 1987.
- 19) De Bastiani, G., Aldegheri, R. and Renzi-Brivio, L. et al.: *Limb lengthening by distraction of the epiphyseal plate. A comparison on two techniques in the rabbit*. J. Bone and Joint Surg., 68B:545-549, 1986.
- 20) Desmedt, J.E.: *Somatosensory cerebral potentials in man* in Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Vol. 9, pp. 55 Elsevier Pub. Co., Amsterdam, 1971.
- 21) Desmedt, J.E. and Cheorn, G.: *Spinal and far-field components of human somatosensory evoked potentials to posterior tibial nerve stimulation analyzed with oesophageal derivations and non-cephalic response recording*. Electroencephal and Clin. Neurol., 56:635-651, 1983.
- 22) Eyring, E.J.: *Staged femoral lengthening*. Clin Orthop., 136:83-91, 1978.
- 23) Goodgold, J. and Eisen A.: *Rehabilitation Medicine*. pp 30-31, C.V. Mosby, St. Louis, and Toronto, 1988.
- 24) Hood, R.W. and Riseborough, E.J.: *Lengthening of the lower extremity by the Wagner method*. J. Bone and Joint Surg., 63A:1121-1131, 1981.
- 25) Horning, M.R. and Kraft, G.H.: *Latencies recorded by intramuscular needle electrode in different portions of muscle: variation and comparison with surface electrode*. Arch. Phys. Med, Rehabil. 53:206, 1972.
- 26) Kawamura, B., Hosono, S. and Takahashi, T., et al.: *Limb lengthening by means of subcutaneous osteotomy*. J. Bone and Joint Surg., 50A:851-878, 1968.
- 27) Kline, D.G.: *Early evaluation of peripheral nerve lesions in continuity with a note on nerve recording*. Ann. Surg., 34:7, 1968.
- 28) Lamont, R.L., Wasson, S.L. and Green, M. A.: *Spinal cord monitoring during spinal surgery using somatosensory evoked potentials*. J. Ped. Orthop., 3:31, 1983.
- 29) Lastioma, A.B.C. Bass, N.H. and Stanback, K., et al.: *Lumbar cord and cortical evoked potential after tibial nerve stimulation: Effects of stature on normative data*. Electroencephalo. Clin. Neurol. 54:499-509, 1982.
- 30) Malhis, T.M. and Bowen, J.R.: *Tibial and femoral lengthening: A report of 54 cases*. J. Ped. Orthop., 2:487-491, 1982.
- 31) Manning, C.: *Leg lengthening*. Clin. Orthop., 136:105-110, 1978.
- 32) Mason, J.B. and Poletti, C.E.: *Conducted somatosensory evoked potential during spinal surgery*, J. Neurosurg., 57:349-353, 1982.
- 33) McCarroll, H.R.: *Trial and tribulations in attempted femoral lengthening*. J. Bone and Joint Surg., 32A:132, 1950.
- 34) Monticelli, G. and Spinelli R.: *Distraction epiphysiolysis as a method of limb lengthening. Part I, II and III*. Clin. Orthop., 154:254-285, 1981.
- 35) Mulder, D.W. Lambert, H.G. and Bastron, J.A., et al.: *The neuropathics associated with diabetes mellitus. A clinical and myographic study of 113 unselected diabetic patients*. Neurol., 11:275-284, 1961.

- 36) Nash, C.L. Jr., Lorig, R.A. and Schatzinger, L.A. et al.: *Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. Clin. Orthop.*, 126:100-105, 1977.
- 37) Paley, D.: *Current techniques of limb lengthening. J. Ped. Orthop.*, 8:73-92, 1988.
- 38) Putti, V.: *The operative lengthening of the femur. J.A.M.A.*, 77:934, 1921.
- 39) Salzman, S.K., Dabney, K.W. and Medez, A.A. et al.: *The somatosensory evoked potential predicts neurological deficit after spinal distraction injury in experimental scoliosis. 23rd Annual Meeting of Scoliosis Research Society*, 1988.
- 40) Sledge, C.B. and Noble, J.: *Experimental limb lengthening by epiphyseal distraction. Clin. Orthop.*, 136:111-119, 1978.
- 41) Sofield, H.A., Blair, S.T. and Millar, E.A.: *Leg lengthening: A personal follow-up of forty patients some twenty years after the operation. J. Bone and Joint Surg.*, 40A:311, 1958.
- 42) Stephens, D.C.: *Femoral and tibial lengthening. J. Ped. Orthop.*, 3:424-430, 1983.
- 43) Szalay, E.A., Carollo, J.J. and Roach, J.W.: *Sensitivity of spinal cord monitoring to intraoperative events. J. Ped. Orthop.*, 6:437-441, 1986.
- 44) Tsumoto, T. Hirose, N. and Momaka, N. et al.: *Analysis of somatosensory evoked potentials to lateral popliteal nerve stimulation in man. Electroencephalo. and Clin. Neurophysiol.*, 3:379-388, 1972.
- 45) Wagner, H.: *Operative lengthening of femur. Clin. Orthop.*, 136:125-142, 1978.
- 46) York, D.H., Chabot, R.J. and Gaines, R.W.: *Response variability of somatosensory evoked potentials during scoliosis surgery. Spine.*, 12:864-876, 1987.