

상지에서의 Ilizarov 방법에 의한 연장 및 변형 교정

연세대학교 의과대학 정형외과학교실

한수봉 · 박희완 · 유주형 · 하중원*

— Abstract —

Lengthening & Deformity Correction in Upper Extremities by the Ilizarov Method

Soo Bong Hahn M.D., Hui Wan Park M.D., Ju Hyung Yoo M.D. and Joong Won Ha M.D.*

*Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University College of Medicine,
Seoul, Korea*

We report our series of the Ilizarov surgery for lengthening and deformity correction in upper extremity at the Severance Hospital and the Yong-Dong Severance Hospital between February 1992 and October 1994. We performed the Ilizarov surgery in 12 limb segments, there were 3 humerus, 5 radius, 3 ulna and 1 metacarpal bone. The etiologies of the limb length discrepancies were 7 posttraumatic physeal injuries, 2 congenital deformities, 1 posttraumatic bone loss, 1 posttraumatic amputation and 1 postinfectious physeal injury. The goals of treatment were bone lengthening alone in 8 cases, bone lengthening and deformity correction including angular correction in 4 cases. The bone was lengthened between 1.0 cm and 9.2 cm (mean 3.7 cm) representing a 8.1 % to 63.0 % (mean 24.5 %) increase in length. The healing index varies from 1.0 mos/cm to 10.5 mos/cm (mean 3.4 mos/cm) except three cases which need additional procedures. These additional procedures included 2 cases of bone graft and one case of internal fixation with plate and screws add to wedge osteotomy. By radiologic appearance of the distraction callus, the straight type were 6 cases, the attenuated type were 4 cases and the pillar type were 2 cases. The healing indices of each type were 1.5 mos/cm, 7.7 mos/cm and 12.4 mos/cm, respectively. In conclusion, lengthening and deformity correction of the upper extremity can be successfully achieved by gradual mechanical distraction using the Ilizarov method. In case of pillar type, healing index was high and therefore control of the rate and the rhythm should be tried. If this control is of no use, early interventional procedure would be beneficial. The healing index of the straight type was much lower than that of the attenuated or the pillar type.

Key Words : Upper extremity, Lengthening, Deformity correction, Ilizarov method

* 통신저자 : 한 수 봉

서울특별시 서대문구 신촌동 134
연세대학교 의과대학 정형외과학교실

* 본 논문의 요지는 1995년 제 39차 추계 학술대회에서 구연되었음.

서 론

사지 연장술에 대해 Codivilla⁹⁾가 처음 보고한 이래 많은 연구자들에 의해 발전을 거듭해 왔으며 Ilizarov 술식의 도입으로 골 연장 및 교정의 적응을 대폭 확대 할 수 있었다^{16,17,18)}. 그후 De Bastiani 등¹⁰⁾에 의해 가골 신연 (callotasis, callus distraction) 개념이 도입되어 골 연장의 방법 또한 확대되어 왔다^{15,26,29)}. 그러나 이러한 사지 연장술은 주로 하지 연장에 대해 국한되어 왔으며, 이의 적응이 상지 연장에 대해서 이루어진 것은 최근의 일이다²³⁾.

사람에게 있어서 상지는 체중 부하 부위가 아니며, 어느 정도의 길이 단축은 기능상에 있어서 심각한 장애를 초래하지 않기 때문에 상지에서의 연장은 그 적응이 매우 제한 되어 있었다. 상완골에 있어서의 연장은 그 단축 정도가 매우 심하지 않을 경우에는 적응이 되지 않았으나 전완, 특히 동측 요척골간 길이 차이에 있어서는 그 장애가 다소 문제가 되는 경우가 많기에 최근 이의 연장에 대한 연구 및 보고는 많아지고 있다^{4,8,11,21)}.

방사선학적으로 신연골 생성 양상 및 가골 형성 양상을 분류 할때 이들의 생물학적 기전의 차이는 있지만 방사선 소견상으로 서로 연결시켜 보았다. 우선 신연골 생성 양상은 Catagni 등²⁾에 의해 적정 생성 (normotrophy), 과생성 (hypertrophy) 및 저생성 (hypotrophy)으로 분류 되었는데 Hamanishi 등¹⁴⁾에 의한 가골 형성 양상 (Fig.1) 으로 보면 각각 직선형 (straight type), 확장형 (external type) 그리고 함몰형 (attenuated type) 또는 세주형 (pillar type)등에 연관지어 볼 수 있겠다.

이에 저자들은 상지에 있어서의 연장 및 변형 교정에 대한 Ilizarov 술식의 유용성 평가 및 술식 적용 과정 중의 평가 및 술식 종결 후의 평가로서 방사선학적 양상에 따른 분류와 치유 지수 (healing index)에 대한 분석 및

이들간의 상관 관계에 대하여도 살펴보고자 하였으며 이의 결과를 문헌 고찰과 함께 보고하고자 한다.

연구 대상 및 방법

저자들은 1992년 2월 부터 1994년 10월까지 연세대학교 의과대학 세브란스 병원 정형외과에서 상지 단축 및 기형에 대해 Ilizarov 방법을 이용하여 치료 받은 환자 10명 12례를 분석하여 상지의 연장 및 변형교정에 있어서 Ilizarov술식의 유용성 및 치료과정 중에 고려해야 할 점등에 대하여 살펴보았다.

성별 분포로 남자 7명, 여자 3명이었으며, 연령은 12세에서 28세로 평균 18.1세였다. 수술이 적용된 부위는 요골이 5례로 가장 많았으며, 척골이 3례, 상완골이 3례였고 제1중수골도 1례가 있었다. 상지 길이 단축 및 변형의 원인으로는, 외상성 성장판 손상이 7례로 가장 많았으며 선천성 기형이 2례, 골관절 감염후 성장판 손상이 1례, 외상후 골소실 및 단축이 1례였으며 외상후 말단부 절단도 1례 있었다.

치료의 목적으로는 단순한 골연장에 중점을 두어서 단축 또는 단축 및 기형의 치료에 목적을 두었던 경우가 8례였고, 처음부터 골연장 및 각교정을 통한 단축 및 기형의 치료에 목적을 둔 경우가 4례가 있었다. 단순한 골연장 8례중 1례는 엄격한 의미에서 골 내부이동 (internal transportation)을 동반하

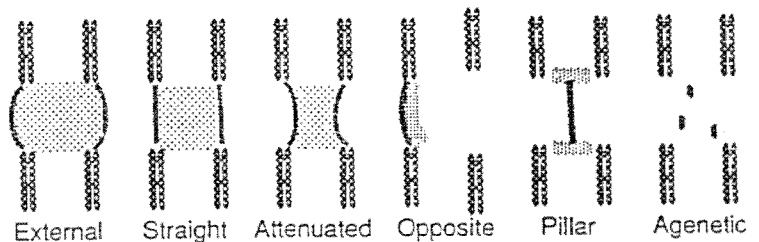


Fig. 1. Classification of the distraction callus. (by Hamanishi et al)

- External ; barrel-like fusiform callus wider than the original bone
- Straight ; homogeneous callus just as wide as the original bone
- Attenuated ; callus narrower than the original bone with attenuated mid portion
- Opposite ; callus formation or maturation mainly at the opposite side of the lengthener
- Pillar ; poor callus only in the central portion and looking like a central pillar
- Agenetic ; only sparse calcification in the lengthened gap

Table 1. Data on 12 Limbs Treated by Ilizarov Method

Case	Sex/Age	Diagnosis	Site	Length gain (cm)	%increase (%)	H.I. (mos/cm)	Distraction type	Problems or obstacles
1	M/14	PTPI	Humerus	7.5	37.0	1.1	Straight	
2	F/16	PTPI	Radius	2.2	13.8	3.2	Attenuated	Delayed consolidation
3	M/12	PTPI	Radius	2.1	13.6	2.1	Straight	
4	F/20	ACP	Humerus	9.2	63.0	1.0	Straight	Pin site infection
5	F/20	ACP	Humerus	9.0	60.0	1.1	Straight	
6	M/14	PTPI	Radius	2.8	13.8	2.1	Straight	Premature consolidation
7	M/28	PTBL	Ulna	2.3	12.0	8.7	Attenuated	Delayed consolidation
8	M/28	PTA	Metacarpal bone, 1st	1.3	36.0	13.8	Pillar	Delayed consolidation
9	M/26	PIPI	Radius	1.7	10.4	10.5	Attenuated	Premature consolidation
10	F/22	PTPI	Ulna	2.4	13.0	8.3	Attenuated	Transient ulnar n. palsy
11	M/17	PTPI	Radius	2.5	13.7	1.6	Straight	Pin site infection
12	M/12	PA	Ulna	1.0	8.1	14.7	Pillar	Delayed consolidation

PTPI : Posttraumatic physeal injury

ACP : Achondroplasia

PTBL : Posttraumatic bone loss

PTA : Posttraumatic amputation

PIPI : Postinfectious physeal injury

PA : Pseudoarthrosis with atrophy of distal fragment

였기 때문에 순수한 골 연장으로 보기는 어려웠지만 이에 포함시켰다.

상지 연장 및 변형교정에 있어서 치료중 및 치료 후 평가방법으로는 우선 치유지수 (healing index)를 계산하였고 이와 더불어 치료과정중의 골생성 양상 및 가골 양상에 따른 방사선학적 분류도 연관지어 보았다. 또한 이러한 Ilizarov 술식에 몇가지 술식들이 추가로 시행되었는데 이러한 추가 술식의 시행지침등을 결정해 보고자 하였다.

결 과

상지의 골연장 및 변형 교정 결과 골연장은 평균 3.7 cm (1.0 cm - 9.2 cm)이었으며 평균 연장율 (percentage increase, P.I.)은 평균 24.5 % (8.1 % - 63.0 %)이었다 (Table 1). 치유지수 (healing index)는 골 주위의 연부조직 불량으로 골의 혈류감소가 의심되며 연장 및 변형 교정 과정 중 심각한 방해점이 발생되어 추가적인 수술적 조작이 가해져서 상당 기간의 추가기간을 요했던 3례 (Fig. 2 & Fig. 3)를 제외하면 평균 3.4 mos/cm

(1.0 mos/cm - 10.5 mos/cm)이었다. 평균 치유지수를 산출하는데 있어서 제외하였던 3례를 각각 살펴보면 우선 Table 1의 case 7 과 case 8 로서 이는 같은 환자의 동측 전완 및 제 1 수장골에서의 연장으로서 이 환자에 있어서의 초기 손상이 압제 손상으로서 그 연부 조직의 상태가 반흔 구축등으로 매우 불량하였으며 단순한 연장 및 변형 교정 뿐 아니라 골 내부 이동도 포함하였기에 제외하였으며 또 다른 한례는 case 12 로서 이 환자의 경우 정상적인 상태의 골이 아닌 신경섬유종증 (neurofibromatosis)에서의 가관절증을 치료하기 위하여 우선 성장판 포함 유리 혈관 비골 이식술 (free vascularized fibular graft)을 시행한 상태에서 이식된 골의 연장을 시도하였던 예로서 이 경우 상당한 시간을 요하였으며 결국 평균 산출에 있어서 의미가 없기에 제외하였다.

신연골 생성 및 가골 생성 양상에 따른 분류상 직선형 (straight type, normotrophy, Fig. 4)이 6례로 가장 많았으며, 함몰형 (attenuated type, hypotrophy, Fig. 3)이 4례, 세주형 (pillar type, hypotrophy, Fig. 2)이 2례였다. 직선형인 경우 그

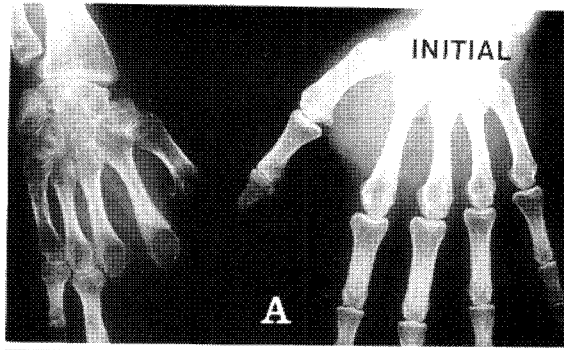
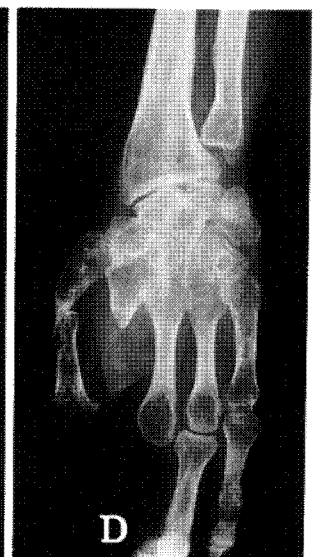
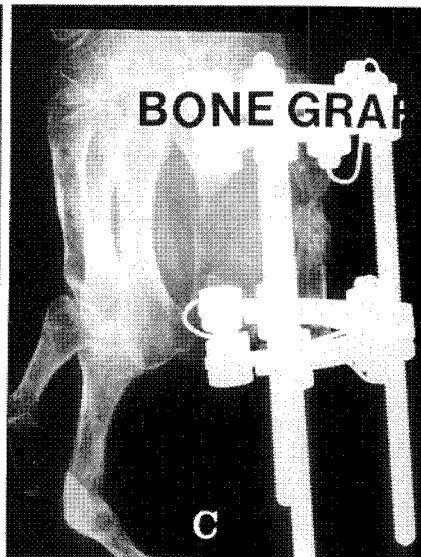
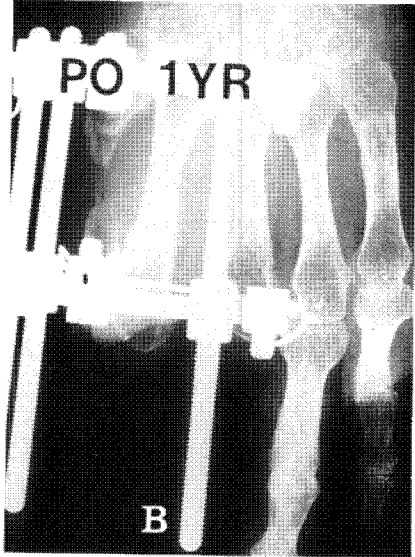


Fig. 2. A 28 year old male patient with posttraumatic amputation at MP joint of right thumb.
; Lengthening 1.3 cm, Healing Index 13.8 mos/cm, Pillar type of distraction.

- A) There was shortening of the thumb due to amputation at MP joint level.
- B) One year and five months postoperatively, there was no evidence of consolidation.
- C) The autogenous bone graft was performed.
- D) The Ilizarov apparatus was removed.



평균 치유 지수가 1.5 mos/cm (1.0 mos/cm -2.1 mos/cm)인 반면 함몰형인 경우는 7.7 mos/cm로 직선형에서 훨씬 낮은 수치의 치유지수를 보였으며 이는 전체 평균 치유지수인 3.4 mos/cm보다도 매우 낮은 수치를 보였다. 이중 2례의 Pillar type의 신연 양상을 보였던 경우에 있어서 그 신연율 (rhythm) 및 신연비(rate)를 달리 하여서 경화 (consolidation)을 유도하였으나 결국 목적인 연장을 Ilizarov 술식만으로는 성취할수 없었기에 동종골 이식을 시행 하였으며 (Fig. 2) 1례의 Attenuated type에서도 동종골 이식술을 포함한 쇄기 절골술과 금속판 및 금속못을 이용한 내고정술 등을 추가하여 목적인 연장 및 변형 교정을 이룰수 있었다 (Fig. 3).

고 찰

하지에서의 길이 단축은 기능상 큰 문제를 유발

하지만 상지는 체중부하 부위가 아님과 동시에 다소 간의 길이 차이는 기능상 심각한 장애를 초래하지 않는다는 점 때문에 연장술의 적용이 제한되어 왔다. 1990년에 들어서 Cattaneo 등^{6,7)}은 Ilizarov 술식을 이용한 상완골 연장에 대해 보고 한바있고 Villa 등²⁸⁾도 전반에 있어서의 요골 및 척골에 대한 연장에 대해 보고 하였으며 이후 여러 연구자들에 의해 연장 및 기형교정에 대한 시도들이 이루어지고 있다^{1,29)}.

현재 시행되고 있는 상완골 연장 및 기형 교정에 대한 적응증으로는 두가지로 나눌수 있는데 첫째는, 상완골 자체 문제에 의한 길이 단축 즉, 외상, 종양 또는 감염의 후유증으로 인한 성장판 손상으로 인한 단축이며 둘째는, 연골 무형성증 등에 있어서의 전체 신장에 비례하여 상지의 길이 단축등이 있는 선천성 기형 등이다. 상완골 단축 환자들은 실제로 장애를 느끼기 보다는 외형상 또는 심리적인 문제를

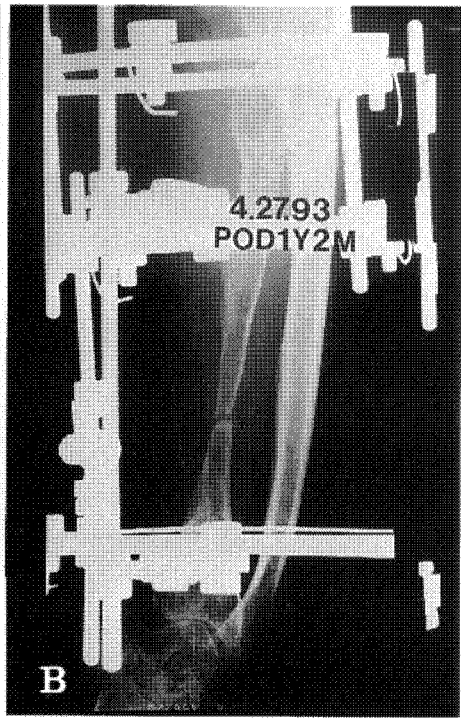
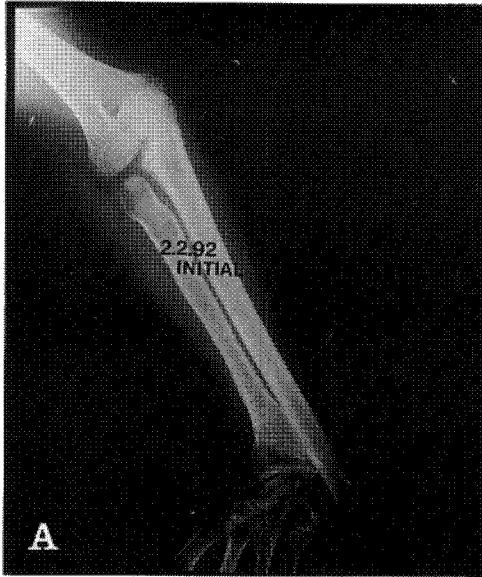
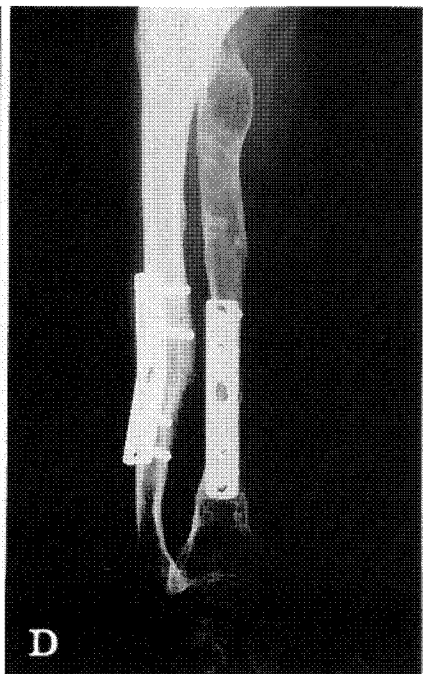
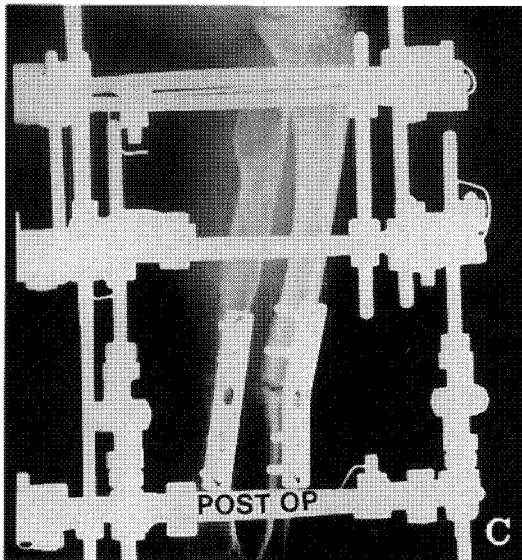


Fig. 3. A 26 year old male patient with postinfectious physeal injury on distal radius.
; Lengthening 1.7 cm, Healing index 10.5 mos/cm, Attenuated type of distraction

- A) There was shortening of the radius, radial deviation and positive ulnar variance.
- B) One year and two months postoperatively, there no evidence of consolidation.



- Fig. 3.**
- C) The wedge osteotomy of the ulna, internal fixation with plate and screws and bone graft were performed.
- D) The Ilizarov apparatus was removed.

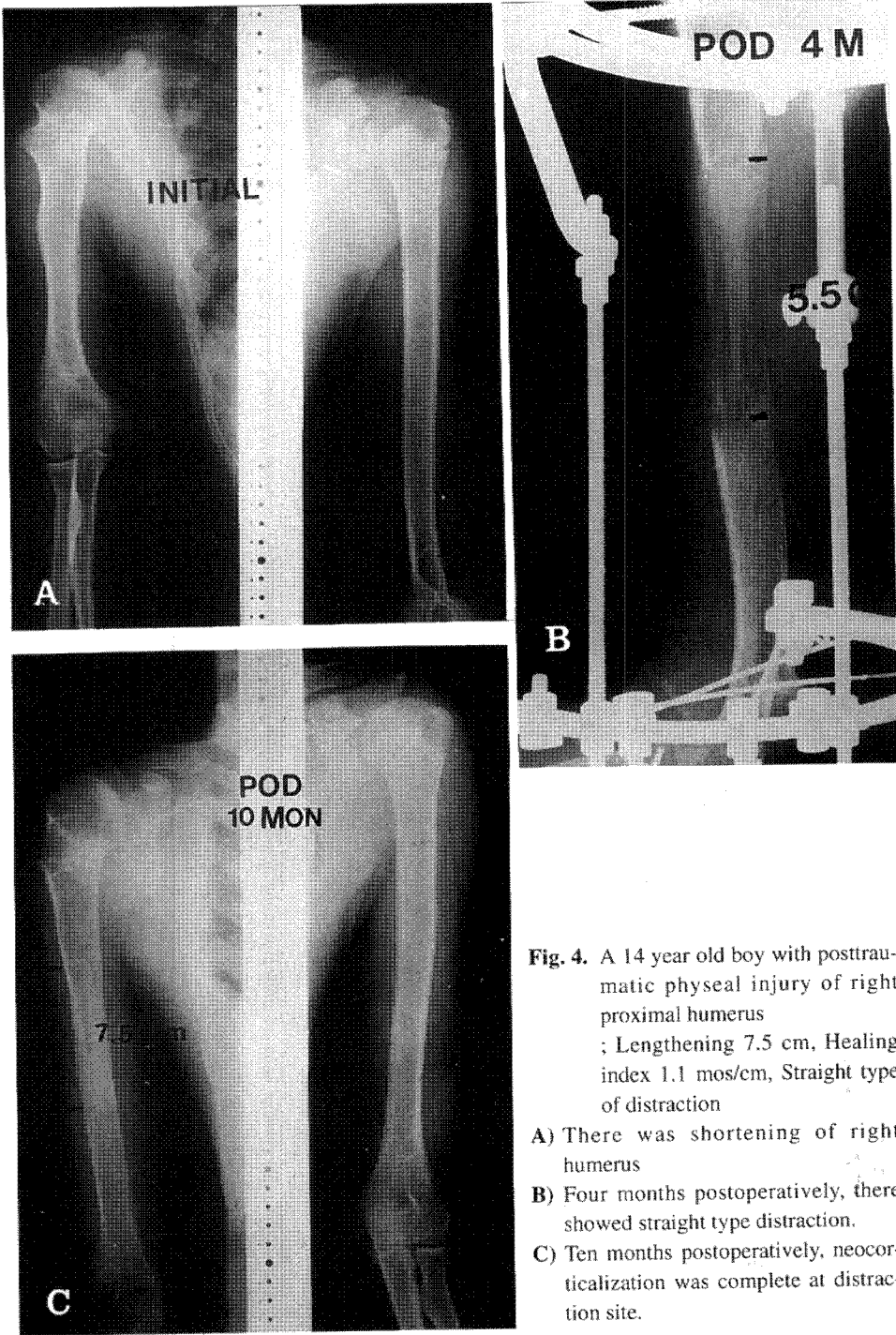


Fig. 4. A 14 year old boy with posttraumatic physal injury of right proximal humerus ; Lengthening 7.5 cm, Healing index 1.1 mos/cm, Straight type of distraction

- A) There was shortening of right humerus
- B) Four months postoperatively, there showed straight type distraction.
- C) Ten months postoperatively, neocorticalization was complete at distraction site.

극복하기 위해 수술적 치료의 대상이 되는 경우가 많다^{11, 26)}. 전완부 골 연장 및 기형교정 역시 외상 및 감염의 후유증으로 인한 원위부 성장판 손상에 기인

한 단축 및 선천성 요골 결손, Madelung씨 변형 등의 선천성 기형 등에 행해지고 있다^{3, 4, 5, 19, 24)}. 전완에 있어서 이러한 단축 및 기형은 Paley에 의해 5가

지로 잘 분류되어 졌다²⁰.

Fischgrund 등¹³은 사지연장시 골 치유에 관여하는 시간을 다각도로 분석해 보았다. 전체적인 사지연장에 필요한 기간을 휴지기(latency period), 신연기(distraction period) 및 골경화기(consolidation period)로 나누어 볼때 이들은 전체적인 외고정 시간을 계산하기 위해서는 고전적인 치유지수(healing index) 또는 연장지수(lengthening index)보다는 신연-골경화 지수(distraction-consolidation index, DCI), 즉, 신연간격(distraction gap, DG)에 대한 신연-골경화 시간(distraction-consolidation time, DCT)의 비율의 효율성을 보고했지만, 이들의 연구는 주로 대퇴골 및 경골 등에 이루어 졌으며 이를 상지에 적용시킨 결과 이 지수(DCI)의 특별한 의미를 찾을 수 없었기 때문에 저자들은 고전적인 치유지수(healing index)를 사용하였다.

서론에서 언급한 바와 같이 신연 신생골 형성(distraction osteogenesis)과 가골신연(callus distraction)에 의한 골 형성은 그 생물학적 기전은 다르지만 방사선학적으로는 그 일치점을 찾아 볼수 있었기 때문에 Hamanishi등에 의한 사지 연장시 나타나는 가골의 분류를 신연양상으로 연결하여 각 양상에 따른 치유지수와와의 관계를 살피고자 하였는데 Hamanishi 등¹⁴은 그들의 분류를 통하여 볼때 확장형(external type) 및 직선형(straight type)인 경우는 골막이 어느정도 유지된 상태에서의 신연 양상이라 하였으며 새주형(pillar type)인 경우는 매우 미세한 골내막(endosteum)이 가골형성에 관여하여 골 형성을 유도하는 것으로 표현하였다. 즉, 이런 방사선학적 신연 양상 분류를 통해 치유지수를 예측해 볼수 있고 이를 신연 속도를 조절해 나가는 지침으로 사용가능하다고 하였다. 또한 Hamanishi 등¹⁴이 연구한 결과 pillar type의 경우 결국 골 이식술 등의 추가 술식을 요하는 어떤 암시라고 보고하였는데 저자들의 결과도 pillar type 2례 모두에서 그리고 attenuated type 1례에서 같은 양상의 결과, 즉 추가 술식을 필요로 했던 것으로 나타났다. 물론, 이러한 방사선학적 양상을 보인다고 해서 반드시 어떠한 추가 술식을 요하는 것이라고는 결론 지을수는 없지만 이러한 양상일 경우 그 방법에 있어서 신연율(rhythm) 및 신연비(rate)등의 조절등

을 통하여도 그 치료 과정을 반전시킬수 없다고 판단될 경우 가능한 조기에 이러한 추가 술식을 시행하는 것이 유익하다고 할 수 있겠다.

상지에서의 연장 및 변형 교정시 방사선학적 양상과 치유지수와와의 연관성을 정립하는것 외에 이러한 높은 치유 지수를 초래하는 현상에 대한 원인을 살펴보면 이번 연구의 결과에서도 보여주는 것과 같이 우선 전완골 및 중수골에 있어서의 치유 지수가 상완골에서의 치유지수보다 높은 것으로 나타났는데 이는 혈류 공급이 근위부에서 원위부보다 상대적으로 풍부한데서 기인하는 것으로 사료되며 둘째로, 주위 연부 조직의 불안정성이 있는 경우 그 치유 지수가 상대적으로 월등히 높은것으로 나타났는데 이 역시 혈류 공급과도 관계가 있지만 반흔 조직 및 피부 결손 등의 불안정한 주위 연부조직 자체가 골 조직의 연장 및 변형 교정시의 장애물로 작용하리라 사료된다. 이 외에도 신연율(rhythm) 및 신연비(rate)의 조절에 있어서의 오류등도 이러한 높은 치유지수를 유발하는 원인으로 생각해 볼수 있겠다.

상지에 있어서 Ilizarov 외고정장치를 비롯한 여러 기기를 이용한 연장 및 기형 교정시 유발되는 합병증으로는 하지에서와 마찬가지로 골조직 및 연부조직의 문제로 나누어질 수 있고 수술중 또는 치료 과정 중의 문제로도 나누어진다^{13,20}. 물론 합병증은 진정한 의미의 합병증도 포함하지만 문제점(problem), 방해점(obstacles)등도 총괄하는 의미로 쓰이고 있으며 수술적 조작 또는 술후 연장 과정중에 불가피하게 나타나는 여러가지 문제점, 방해점 등을 극복하기 위한 많은 제안들이 제시되고 있다²². 수술중의 정확한 수기 및 해부학적 지식을 통한 신경 혈관 손상을 감소시키는 것과 술후 지속적인 핀 주위 관리로 핀 주위 염증을 감소시키는 것 및 술후 조기 관절운동의 시작 및 적절한 보조장치를 통하여 관절구축 또는 관절운동제한등을 감소 시키는 것들이 이에 포함된다 하겠다. 이외에도 골 자체에 생길 수 있는 합병증, 즉 조기 골경화, 지연성 골경화 및 재골절등에 대한 많은 대응책등이 제시되고 있다. 예를 들면 조기 골경화시에는 과도한 지속적 신연이나 일시적인 과다 신연 또는 재피절골절골술 등을 시도 할 수 있으며 지연성 골경화시에는 신연부위 압축후 신연시키는 과정을 반복하는 소위 아코디온법(accordion maneuver) 등을 시도 할수 있다.

결 론

저자들은 1992년 2월부터 1994년 10월까지 상지에 있어서 Ilizarov술식을 이용하여 연장 및 변형 교정을 시행받았던 10명 12례를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평균 골 연장은 3.7 cm(1.0 cm - 9.2 cm)이었으며 술전 골 길이에 대한 골 연장 비율, 즉 평균 연장률(percentage increase)은 평균 24.5 % (8.1% - 63.0 %) 이었다.

2. 치유지수(healing index)는 골 주위의 연부 조직 불량으로 골의 혈류 감소가 의심 되며 연장 및 변형 교정 과정 중 심각한 방해점이 발생되어 추가적인 수술적 조작이 가해져서 상당기간의 추가기간을 요했던 3례를 제외하면 평균 3.4 mos/cm(1.0 mos/cm - 10.5 mos/cm) 이었다.

3. 신연골 생성 및 가골 생성 양상에 따른 방사선 소견상의 분류상 총 12례중 직선형(straight type)이 6례로 가장 많았으며 함몰형(attenuated type)은 4례였으며 그의 세주형(pillar type)이 2례였다.

4. 직선형(straight type)의 방사선학적 신연 양상을 보인 경우는 그 치유지수가 평균 1.5 mos/cm(1.0 mos/cm - 2.1 mos/cm)인데 반해 함몰형(attenuated type)인 경우는 평균 치유지수 7.7 mos/cm(3.2 mos/cm - 10.5 mos/cm)으로 높은 치수를 보였다.

5. Pillar type 2례 및 attenuated type 1례에서 목적인 연장 또는 변형교정을 얻기 위해 추가술식이 행해졌으며 결국 이를 통하여 목적을 달성할 수 있었다.

결론적으로 Ilizarov 술식을 통한 연장 및 변형교정은 상지에 있어서도 유용한 방법이 될 수 있었으며, 그 술식 적용 중 평가로서 방사선학적 양상으로 pillar type 또는 attenuated type 일 경우 술후 평가 방법인 치유지수가 매우 높게 나타났으며 이때는 신연율 (rhythm) 및 신연비 (rate)의 조절 즉, rate를 줄이고 rhythm은 좀 더 빨리 하는 등의 시도가 선행되어야 하며 이를 통한 극복 또한 여의치 않을 경우 결국 조기에 추가 술식을 시행해야 하는 것으로 사료된다고 할 수 있겠다.

REFERENCES

- 1) 이덕용, 최인호, 정진엽, 박건영, 홍기정, 이상현 : Ilizarov 술식을 이용한 상지 변형의 교정. *대한정형외과학회지* 28(1) : 329-343, 1993.
- 2) ASAMI group, Cattaneo R, Catagni MA, et al : Operative Principles of Ilizarov. *Williams & Wilkins* 53-62, 1991
- 3) Atar D, Lehman WB, Grant AD, Strongwater A and Golyakhovsky V : Treatment of complex limb deformity in children with the Ilizarov technique. *Orthopedics* 14(9):961-967, 1991.
- 4) Burge P : Lengthening in the upper limb. *J Hand Surg(Br)* 18(2):141-3, 1993
- 5) Burgess RC : Use of the Ilizarov technique to treat radial nonunion with physeal arrest. *J Hand Surg* 16A:928-31, 1991
- 6) Cattaneo R, Catagni MA and Guerreschi F : Applications of the Ilizarov method in the humerus. *Hand Clin* 9(4):729-739, 1993
- 7) Cattaneo R, Villa A, Catagni MA and Bell D : Lengthening of the humerus using the Ilizarov technique. *Clin Orthop* 250: 117-124, 1990
- 8) Cheng JCY : Distraction lengthening of the forearm. *J Hand Surg* 16B:4:441-445, 1991
- 9) Codivilla A : On the means of lengthening in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. *Am J Orthop Surg* 2:353, 1905
- 10) De Bastiani G, Aldegheri R, Renzi-Brivio L and Trivella C : Limb lengthening by callus distraction(callotaxis). *J Pediatr Orthop* 7:129, 1987
- 11) Dick HM, Tietjen R : Humeral lengthening for septic neonatal growth arrest. *J Bone Joint Surg* 60A:1138-1139, 1978
- 12) Fischgrund J, Paley D and Suter C : Variables affecting time to bone healing during limb lengthening. *Clin Orthop* 301:31-37, 1994
- 13) Green SA : Complications of external skeletal fixation. *Clin Orthop* 180:109-116, 1983
- 14) Hamanishi C, Yasuwaki Y, Kikuchi H and Tanaka S : Classification of the callus in limb lengthening. *Acta Orthop Scand* 63(4):430-433 1992
- 15) Hood RW, Riseborough EJ : Lengthening of the lower extremity by the Wagner method. *J Bone Joint Surg* 63A:1122-1131, 1981.
- 16) Ilizarov GA : The tension-stress effect on the gene-

- sis and growth of tissues:Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clin Orthop* 238:249-281, 1989
- 17) **Ilizarov GA** : The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues:Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop* 239:263-285, 1989
 - 18) **Ilizarov GA** : Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop* 250:8-26, 1990.
 - 19) **Lamoureux J, Verkstreken L** : Progressive upper limb lengthening in children. A report of two cases. *J Pediatr Orthop* 6:481-485, 1986.
 - 20) **Mosca V, Moseley CF** : Complications of Wagner lengthenings and their avoidance. *Orthop Trans* 10:462, 1986.
 - 21) **Paley D** : Current techniques of limb lengthening. *J Pediatr Orthop* 8:73-92, 1988
 - 22) **Paley D** : Problems, obstacles and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop* 250:81-104, 1990
 - 23) **Paterson D** : Leg-lengthening procedures. A historical review. *Clin Orthop* 250:27-33, 1990
 - 24) **Price CT, Mills WL** : Radial lengthening for septic growth arrest. *J Pediatr Orthop* 3:88-91, 1983.
 - 25) **Schopler SA, Lawrence JF and Johnson MK** : Lengthening of the humerus for upper extremity limb length discrepancy. *J Pediatr Orthop* 6:477-480, 1986
 - 26) **Seitz WH Jr., Froimson AI** : Callotasis lengthening in the upper extremity: Indications, techniques and pitfalls. *J Hand Surg* 16A:932-939, 1991
 - 27) **Tesworth K., Krome J., Paley D** : Lengthening and deformity correction of the upper extremity by the Ilizarov technique. *Orthop Clin North Am* 22(4):689-713, 1991
 - 28) **Villa A, Paley D, Catagni MA, Bell D and Cattaneo R** : Lengthening of the forearm by the Ilizarov technique. *Clin Orthop* 250:125-137, 1990
 - 29) **Wagner H** : Operative lengthening of the femur. *Clin Orthop* 136:125-142, 1978