

대퇴경부 골절의 유합판정에 실시한 골수강내 조영술의 의의

국립의료원 정형외과학교실

문성철 · 김영태 · 조덕연 · 김기용

= Abstract =

Intraosseous Venography for the Early Union Detection of the Femoral Neck Fracture

Seong Cheol Moon, M.D., Young Tae Kim, M.D., Duck Yun Cho, M.D. and Key Yong Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, National Medical Center, Seoul, Korea

In spite of highly advanced technology in orthopaedic field, management of femoral neck fracture presents difficult problems due to frequent non-union or avascular necrosis of femoral head even with adequate treatments.

Intracapsular fracture of the femoral neck heals in the same way as other intra-articular fractures only by endosteal and not by periosteal repair. Avascular necrosis occurred in one-third of displaced fractures with more than a two-year follow-up and is the most serious remaining factor affecting the result.

Many attempts have been made to achieve early diagnosis of nonunion and avascular necrosis of the femoral head.

Yet, there is still no reliable clinical method of early detection of the union of femoral neck fracture and the viability of the femoral head. For the early detection of union and viability of femoral head, we performed femoral trochanteric intra-osseous venographic technique. Intraosseous venography was performed in 19 cases of femoral neck fractures in the orthopaedic department of National Medical Center during the period from Jan. 1979 to Dec. 1981.

The results were as follows:

1. 19 patients of femoral neck fracture were performed osteomedullography.

Intra-osseous venous flow across the fracture line was seen in 11 cases from 19 patients.

2. Intra-osseous venous flow across the fracture line was seen between the 6th and 12th week following fracture treatment in rigid fixation and adequate reduction.

3. Osteomedullography is considered as very important study for the early diagnosis of the fracture healing and non-union.

Key Words : Intraosseous venography.

I. 서 론

고관절 골절은 날로 증가추세에 있으며 부전유합 및 무혈성괴사등 합병증이 빈발하여 치료에 어려움이 많다. 대퇴경부 골절의 유합은 내골막성 가골에 의존하므로 임상증세와 단순 방사선 촬영만으로는 골유합 상태 및 골

두의 생존성 여부를 조기에 판단하는 것이 극히 어렵다.

본 원에서는 1979년 1월부터 1981년 12월까지 입원 치료를 받은 대퇴경부 골절환자 53명중 대퇴골 대전자부에 시행한 골수강내 조영술 19례에서 골절유합 과정을 비교적 빠른 시기에 판정할 수 있었기에 문헌 고찰과 함께 보고하는 바이다.

II. 대상 및 방법

1. 대 상

본원에 입원 치료를 받았던 대퇴경부 골절 환자중 부전유합이 의심되거나 가능성이 높았던 환자 19례를 대상으로 하였다.

2. 방 법

A. 촬영 방법

환자를 투시대에 앙와위(supine position)로 눕힌 다음 동측 다리를 10° 정도 내회전(internal rotation) 시킨다. 고관절 부위를 소독하고 국소 마취후 X-선 영상 증폭장치를 이용하여 골수 천자침을 대전자부 1cm 하방에서 골수강을 향하여 골절선에 2cm 정도 떨어진 곳까지 밀어넣고 골수혈액이 유출되는 것을 확인하였다.

다음 천자침이 골수강내에 정확한 위치에 삽입되어 있는지를 확인 하기 위하여 60% Urograffin 1ml를 서서히 주입 관찰하였고 동시에 3분간 기다려서 조영제에 대한 과민반응(hypersensitivity)여부를 확인한후 25~30ml의 조영제를 빠른 속도로 주입하고 방사선 촬영을 하였다. 방사선 촬영은 주입즉시, 주입후 30초, 1분, 2분, 및 5분 간격으로 실시하였다.

B. 조영술의 판독방법 및 의의

고관절 주위의 혈관 분포는 동맥계와 같은 주행을 갖는 정맥계가 평행하게 존재한다는 Trueta 및 Harrison (1953)¹⁷⁾의 연구를 토대로 하여 골두 정맥계를 조영촬영함으로써 골유합 및 골두 생존성 여부를 판단할 수 있다고 하였다. 정상 골수강내 조영술시 고관절 주위에 나타나는 정맥계는 내대퇴 회선정맥(medial femoral circumflex vein) 외대퇴 회선정맥(lateral femoral circumflex vein) 둔부 정맥(gluteal vein) 골수 영양 정맥(nutrient vein) 대퇴 정맥(femoral vein) 대퇴골두 인대정맥(vein of ligamentum teres)상하피막 지대정맥(superior and inferior retinacular vein)을 관찰할 수 있다. 골절환자에 있어서는 이들 정맥외에도 골유합이 되었을 때는 조영제가 골절선을 통과하여 골두내로 확산 및 배출되는 것을 볼 수 있으며 불유합시에는 조영제가 골절선을 통과하지 못하고 골간단 울혈(diaphyseal pooling) 내지는 역류(regurgitation)하는 현상을 관찰 할 수 있다. 대퇴경부 골절 환자의 전자부 골수강내 조영술의 판독은 조영제가 골절선을 통과하여 골두내로 유입하고 다시 골두내에서 골외의 정맥계로 유출하는것이 확인되는 경우를 양성(positive venography)으로 판독하였으며 이는 골절

I: Gluteal vein, II: Medial femoral circomplex vein, III: Lateral femoral circumflex vein, IV: Nutrient vein, V: Femoral vein, VI: Vein of ligamentum teres.

Fig. Ib. Schematic illustration of intr-osseous venographic findings.

Fig. Ia. Intra-osseous venographic findings at different times in normal hip.

부위의 골유합이 잘 일어났거나 또는 일어날 가능성이 있음을 제시하고 반대로 조영제가 골절선을 통과하지 못할때는 음성(negative venography)으로 판독하였으며 이는 아직 골유합이 일어나지 않은 상태에 있음을 예측 할 수 있다.

III. 증례 분석

1. 성별 및 연령분포

총 19례중 여자 11례, 남자 8례로 여자가 많았으며, 50세 이상에서 7례, 30세 이하에서 6례가 있었다(Table 1).

2. 수상 원인

원인은 실족, 추락, 및 교통사고에 의한 것으로 실족이 10례(52.6%)로 가장 많았고 다음 추락이 6례(31.6%)이었다(Table 2).

3. 치료 방법

19례중 16례에서 수술을 하였고 3례에서는 비수술적 방법으로 치료하였다. 16례의 수술 가료 환자중 comp. hip screw를 사용한 예는 12례로 가장 많았고 타병원에서 Thornton nail를 사용하여 술후 본원으로 전원한 예가 1례 있었다. 골절 정복이 수월치 않아 고관절낭을 절개하였던 예도 2례 있었고 비수술적 방법에 의한 3례

는 모두 전신 상태가 불량한 예들이었다(Table 3).

4. 골절 분류에 따른 골수강내 조영술의 소견.

경부골절의 분류는 전위성 여부 및 Pauwel씨 분류에 따르면 총 19례중 비전위성 3례 전위성 16례였고 Pauwel씨 분류에 의하면 Type II 6례, Type III 13례였다. 전위성 골절 16례중 8례에서 양성 소견을 보였는데 4주에 1례, 6주에 7례에서 실시하여 그중 5례, 6개월 1례, 12개월 1례였고 비전위성 골절 3례중 6주에 2례에서 양성소견을 보였고 1례에서는 12주에 양성 소견을 보였다. Pauwel씨 분류와의 관계를 보면 Type 2 6례중 4례에서 양성 소견을 보였으며 4주에서 1례, 6주 2례, 12주 1례였다. Type 3은 13례중 7례가 양성 양성 소견이었으며 이중 6주에서 5례, 6개월 1례 12개월 1례였다(Table 4)

5. 수상후 처음 치료를 실시할 때 까지의 기간에 따른 골수강내 조영술 소견

19례중 24시간 이내에 치료를 하였던 예는 10례(52.6%)로 가장 많았고 3일 이내 7례, 10일 이후에 치료한 예가 2례 있었다. 24시간 이내에 치료를 시행한 10례중 8례에서 양성 소견을 보였는데 기간은 4주 1례, 6주 5례, 12주 1례, 6개월 1례였다. 3일 이내에 치료를 시행한 7례에서는 6주에서 2례, 12개월에서 1례에서 양성 소견을 보였고 10일 이후 치료를 시행한 2례는 6주, 12주에서 각각 음성 소견을 보였다(Table 5).

6. 치료 방법에 따른 골수강내 조영술의 소견.

19례중 수술적 가료한 환자는 16례였고 3례에서는 골절인 및 석고 외고정으로 치료하였다. 수술한 환자 16례중 12례에서 compression hip screw로 치료하였으며

Table 2. Mechanism of injury

Mechanism of injury	No. of cases
Slip down	10 (52.6)
Fall down	6 (31.6)
Direct blow	3 (15.8)
Total	19

Table 1. Age & Sex distribution

Sex	Male (%)	Female (%)	Total (%)
Age (yr)			
11 - 20	1		1
21 - 30	2	3	5 (26.3)
31 - 40	1	1	2
41 - 50	2	2	4 (21.0)
51 - 60	2	2	4 (21.0)
Over		3	
Total	8 (42.1)	11 (57.9)	19

Table 3. Type of treatment

Type of treatment	No. of cases (%)
Operation	
O/P + Comp. hip screw	2
O/R + Thornton nail	1
C/R + Comp. hip screw	10
C/R + Knowles' pinning	3
Non-Operation	
Single hip spica	1
Skeletal traction + 1 1/2 hip spica cast	2
Total	19

이중 9례에서 양성 소견을 보였다. 9례중 6주 이내에 양성 소견을 보인 예는 7례였다. Knowles' pin을 사용 치료한 3례에서는 1례에서만 6주 이내에 양성 소견을 보

였고, 골견인 및 석고 외고정 치료한 3례중 1례에서 12주에 양성 소견을 보였다(Table 6).

Table 4. Osteomedullographic findings related to Fx type

Osteomedullographic findings Fx. type	Positive/Negative						Total
	4wks	6wks	12wks	6Mo	12Mo	12Mo ↑	
Un-displaced Fx		2/	1/				3/0
Displaced Fx	1/	5/2	/2	1/1	1/	/3	8/8
Pauwels' I							
Pauwels' II	1/	2/1	1/1				4/2
Pauwels' III		5/1	/1	1/1	1/	/3	7/6

Table 5. Osteomedullographic findings related to the duration before operation

Osteomedullographic findings Duration before Tx (day)	Positive/Negative						Total
	4wks	6wks	12wks	6Mo	12Mo	12Mo ↑	
0 — 1	1/	5/	1/	1/1		/1	8/2
1 — 3		2/1	/1		1/	/2	3/4
Over 10		/1	/1				/2
Total	1/	7/2	1/2	1/1	1/	/3	11/8

Table 6. Osteomedullographic findings related to the methods of treatment

Osteomedullographic findings Methods of treatment	Positive/Negative						Total
	4wks	6wks	12wks	6Mo	12Mo	12Mo ↑	
O/R + Comp. hip screw		2/					2/
O/R + Thornton nail						/1	
C/R + Comp. hip screw	1/	4/1	/1	1/1	1/		7/3
C/R + Knowles pinning		1/1			/1		1/2
Single hip spica			1/				1/
Skeletal traction + 1½ hip spica			/1			/1	/2

Table 7. Venous findings related to the time

Time Vein	4wks	6wks	12wks	6Mo	12Mo	Total (%)
Intraosseous crossing vein	1	7	1	1	1	11(57.9)

Fig. 2. 수술후 4주에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선을 통과하지 않음.

Fig. 4. 수술후 12주에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선 전반에 통과함.

Fig. 3. 수술후 6주에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선을 부분적으로 통과함.

Fig. 5. 수술후 6개월에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선 통과와 대퇴골두에 확산됨.

Fig. 6. 수술후 12 개월에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선통과와 골두전반에 확산됨.

Fig. 8. 수술후 12 주에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선 전반에 통과함.

Fig. 7. 수술후 4 주에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선을 부분적으로 통과함.

Fig. 9. 수술후 6 개월에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선 통과와 골두에 확산됨.

고정술을 실시하였으며 수술후 4 주(Fig. 7), 12 주(Fig. 8), 6 개월(Fig. 9), 12 개월(Fig. 10)에 골수강내 조영술을 실시한 결과 수술후 4 주(Fig. 7)에서 조영제가 골절선을 부분적으로 통과하였으며 수술후 12 주에서는 조영제가 골절선 전반에 걸쳐 통과하였다. 골두 피사 유무를 확인하기 위하여 6 개월 및 12 개월에 시행한 조영술에는 조영제가 골두내로 잘 확산되고 저류없이 5 분 이내에 골외로 유출되어 소실되는 것을 알수있어 골두의 생존을 알 수 있었다.

IV. 고 찰

Santos(1938)¹⁰⁾가 인체 고관절에서 정맥 조영술을 처음 실시한 이래 Hulth(1953)⁷⁾가 대퇴경부 골절에서 골두 중심에 조영제를 주입한후 이 조영제가 골외로 제거되는 경로와 시간을 관찰하여 대퇴골두의 생존성과 골절의 치유과정을 예측할 수 있다고 하였다. Howard L.(1957)⁸⁾등은 어떤 특수한 질환 진단에 사용하기 보다는 오히려 골의 순환 상태를 연구 하는데 이용하였고 Harrison⁹⁾, Nagai 및 Takasuga(1969)¹¹⁾은 대퇴 경부 골절후 골두의 생존성을 평가하는데 대퇴골두의 정맥 조영술이 가치가 있다고 하였으며 Suramo(1974)¹⁶⁾등은 Hulth와는 달리 대퇴 경부의 골수강에서 골수 천자침을 주입하여 정맥 조영술을 실시하였으며 Phillips(1966)¹³⁾는 대퇴골두의 하내측 1/3지점에서 정맥 조영술을 실시한 바 있고 국내에서는 김, 문^{1,2,3)}등이 대퇴골 대전자부에서 골수강내 조영술을 실시하여 고관절 골절치유 평가에 임상적 의의를 제시하였다. 저자는 김, 문^{1,2,3)}등이 실시한바 있는 방법으로 대퇴골 대전자부에서 골수강내 조영술을 시행하였으며 이 방법의 장점은 관절의 주입법으로 화농성 관절염의 발생 위험이 적고 골두의 생존성 보다는 골절 치유 과정을 우선적으로 파악 하는데 있다. 대퇴골두 혈액 순환은 골두의 약2/3를 공급하는 외측 골단동맥(lateral epiphyseal artery), 하 골간단동맥(inferior metaphyseal artery) 대퇴골두 인대 동맥(artery of ligamentum teres)로 형성된다^{3,18)}. Hulth와 Johansson(1962)⁹⁾은 대퇴경부 골절 환자에서 골수강내 조영술을 실시한 결과 골절선이 내 대퇴 회선동맥 보다 내측에 있을시는 골두 순환이 장애가 생기나 외측에 있을 때는 골두 순환이 남아 있게 되며 Claffey(1960)⁴⁾는 외측 골단동맥이 골두 상외측단으로 내입함으로 골절선이 내입 지점 원위부에 있을때는 외측 골단 동맥이 posterior retinaculum에 포함되어 골절 됨으로 어느정도의 전이에서도 동맥 손상이 없다고 하였으며 이외에 대퇴 골두 인대동맥과 활액막 주위 혈관등도 골두순환에 기여한다 하였는데 대퇴골두의 무혈성 피사 및 불유합은 골절선에 따라 다른 것

Fig. 10. 수술후 12개월에 골수강내 조영술 결과 조영제가 골절선 통과와 골두전반에 확산됨.

7. 조영제가 골절선을 처음 통과한 기간

조영술을 시행한 19례중 조영제가 골절선을 통과한 소견을 보인 예는 11례였고 이중 8례에서(72.7) 6주 이내에 골절선을 통과하였으며 1년만에 통과한 예도 1례 있었다.(Table 7)

증례 1 : 김○자 28세 여자

우측 대퇴경부 골절 환자로서 Garden type II Pauwel' type II 골절로 골절후 24시간 내에 정복후 급속 내고정술을 실시하였으며 수술후 4 주(Fig. 2), 6 주(Fig. 3), 12 주(Fig. 4), 6 개월(Fig. 5), 12 개월(Fig. 6)에 골수강내 조영술을 실시한 결과 수술후 6 주(Fig. 3)에서 조영제가 골절선을 부분적으로 통과하였고 수술후 12 주(Fig. 4)에서 조영제가 골절선을 전반에 통과하였으며 골절이 유합된 것을 알 수 있었다. 골두 피사 유무를 확인하기 위하여 6 개월 및 12 개월에 시행한 조영술에는 조영제가 골두내로 잘 확산되고 골두내로 유입된 조영제가 골두내에서 저류없이 5 분 이내에 골외로 유출되어 소실되는 것을 알 수 있어 골두의 생존성을 확인하였다.

증례 2 : 김○순 32세 여자

우측 대퇴경부 골절 환자로서 Garden type III Pauwels' type II 골절로 골절후 24시간 내에 정복후 급속내

은 이미 알려져 있는 사실이다. (Pauwels' 1935) 저자들의 경우도 Pauwels' type II 6레 중 4레, Pauwels' type III 13레 중 7레에서 골유합을 예측할 수 있었고 전위성 골절 16레 중 8레에서 골유합을 예측할 수 있었는데 비해 비전위성 골절 3레 모두에서 골유합을 예측할 수 있었다. Woodhouse는 혈류차단후 골세포는 6시간 까지 생존하므로 골절선의 조기 정복을 권고하였고 Massei(1964)¹⁰⁾는 7일 이후에 정복한 전레에서 무혈성 골두괴사가 발생한다고 하였으며 Brown and Abran은 2일 이상 경과할 경우 골유합이 50% 이하로 감소한다고 하였다 저자들도 수상후 24시간 이내에 수술하였던 10레 중 8레에서 골유합을 예측할 수 있는 좋은 결과를 얻었다. Senn은 어떤 골절도 골절선이 견고한 정복과 골유합 소요기간 동안의 성공적인 고정은 부전유합을 일으키지 않는다고 하였고 Whitman(1904)은 외번과 내회선으로 골절선 정복후 석고 외고정을 권고하였으나 금속 공학의 발달로 많은 금속 내고정술이 소개 되었으며 1950년대 Richard와 Pugh의 sliding nail system이 소개되어 골절선의 impaction, nail or screw의 backing-out을 방지할 수 있고 골절선의 absorption 시에도 골두내로 관통을 방지할 수 있는 장점이 있어 각광을 받게 되었다. 저자들도 comp. hip screw를 사용한 12레 중 9레(75%)에서 골유합을 예측할 수 있는 결과를 얻었다. Wray(1963)¹⁹⁾는 골절후 골절 부위에 생긴 신생 혈관의 진입은 정상 상태에서는 골절후 약 3일부터 시작된다 하였으며 Olerud & Danckwardt-Lillieström(1968)¹²⁾은 동물 실험에서 골간부 골절시 압박내고정을 실시한 경우에서는 수상후 4주~5주에서 혈관 재생이 관찰된 사실을 보고하였다.

Puraneu 및 Kaski¹⁴⁾는 정상적인 경골 골절의 치유 과정에 있어서 골절후 12주 이내에 단절된 정맥의 연결이 골수강내 조영술상에 나타났다고 하였고 국내에서는 문, 조(1977)³⁾는 동물 실험상 대퇴경부 골절에서 해부학적 정복과 견고한 고정을 실시한 군에서 4주에서 부터 조영제가 골절면을 통과하는 것이 관찰 되었다. 저자는 19레 중 11레에서 조영제가 골절선을 통과하는 것을 관찰할 수 있었으며 이중 8레(72.7%)에서 6주 이내에 골절선을 통과하고 있었으며 12개월에서 통과한 1레도 있었다.

V. 결 론

1979년 1월부터 1981년 12월까지 본원에서 치료받은 대퇴경부 골절환자중 골수강내 조영술을 실시한 19례를 분석 검토 하였다.

I. Pauwels' type에 의하면 Type II 6레, Type III 13

레였고 Type II 6레 중 4레, Type III 13레 중 7레에서 각각 양성이었다.

II. 19레 중 전위성 골절은 16레였고 이중 8레에서 양성 소견을 보였고 비전위성 3레 모두에서 양성이었다.

III. 24시간 이내에 수술하였던 10레 중 8레에서 양성 소견을 보였고 24시간 이후에 수술한 9레에서는 3레만 양성 소견을 보여 경부골절 치료는 응급을 요한다는 것을 알 수 있었다.

IV. 치료방법에 따른 결과를 보면 comp. hip screw 12레 중 9레(75%)에서 양성 소견을 보여 보다 견고한 고정이 골절 치유에 도움을 준다는 것을 알 수 있었다.

V. 조영제가 골절선을 통과할뿐 아니라 골두내 전반에 걸쳐 확산이 일어난 예가 2레 있었으며 따라서 골두의 생존성 판정에 도움을 주었다.

VI. 19레 중 양성 소견이 11레였고 이중 8레(72.7%)에서 6주 이내에 양성이었다. 따라서 대전자부 골수강내 조영술은 대퇴경부 골절 유합 조기 판정에 유용한 방법이라고 생각되었다.

REFERENCES

- 1) 김덕정, 문명상: 골수강내 정맥조영술에 의한 각종 고정법의 평가 가톨릭대학 의학부 논문집, 29:541-553, 1976.
- 2) 문명상, 김인, 김병기, 박화현: 고관절 골절에 대한 골수강내 조영술의 임상적의의. 대한정형외과학회지. Vol.12,23-32, 1977.
- 3) 조덕연, 문명상: 골수정맥 조영술에 의한 개의 대퇴경부 골절의 치유평가. 가톨릭대학 의학부 논문집. 제 30, 제 4호, 633-643, 1977.
- 4) Claffey, T.J.: *Avascular necrosis of the femoral head. J. Bone & Joint Surg., Vol. 42B, 1960.*
- 5) Harrison, M.H.M.: *A preliminary report of vascular assay in prognosis of the fracture femoral neck. J. Bone & Joint Surg., 44-B, 858-868, 1962.*
- 6) Howard, L., Steinbach, M.D. and Floyd Jergesen, M.D.: *Osseous phlebography, Surg., Gynecol. Obst. 104, 215-226, 1957.*
- 7) Hulth, A.: *Injection of contrast medium in the head of intracapsular fractures of the neck of the femur. Acta. Soc. Med. Upsula 59, 41, 1953.*
- 8) Hulth, A.: *Intraosseous venographies of medial fractures of the femoral neck. The residual vascularity of the head fragment in different types of fractures and its relation to the prognosis. Acta. Chir. Scand. Sup-*

plementum No.214, 427-429, 1956.

- 9) Hulth, A., Johansson, S.H. : *Femoral-Head venography in the prognosis of fractures of the femoral neck. Acta. Chir. Scand.* 123:287-297, 1962.
- 10) Massei, W.K. : *Fractures of the hip. J. Bone & Joint Surg.*, 46A:658, 1964.
- 11) Nagai, S. & Takasuga, R. : *Circulation of the femoral head in femoral neck fractures. The Journal of the Western Pacific Orthopaedic Association* Vol.6, No.2, 121-126, 1969.
- 12) Olerud, S. & Danckwardt-Lillieström, G. : *Fracture healing in compression osteosynthesis in the dog. J. Bone & Joint Surg.*, 50-B, 844-851, 1968.
- 13) Phillips, R.S. : *Phlebography in osteoarthritis of the hip. J. Bone & Joint Surgery*, 48B:280, 1966.
- 14) Puraneu J. and Kaski P. : *The Clinical significance of osteomedullography in fractures of the tibial shaft. J. Bone & Joint Surg.*, Vol.56-A, 759-776, 1974.
- 15) Dos Santos, J.C. : *Quoted from Phillips H.S. : Phlebography in osteoarthritis of the hip. J. Bone & Joint Surg.* 48B:280, 1966.
- 16) Suramo, I., Puranen, J. and Heikkinen, E. : *Disturbed patterns of venous drainage of femoral neck in perthes' disease. J. Bone & Joint Surg.*, Vol.56B, 448-453, 1974.
- 17) Trueta, J. and Harrison, M.H.M. : *The normal vascular anatomy of the femoral head in adult man. J. Bone & Joint Surg.*, Vol.35B, 442-461, 1953.
- 18) Joseph Trueta : *The normal vascular anatomy of the human femoral head during growth. J. Bone & Joint Surg.*, Vol.39B, 358-393, 1957.
- 19) Wray, J.B., M.D. : *Fractures in the pathogenesis of non-union. J. Bone & Joint Surg.*, Vol.46, 168, 1965.