대한정형외과학회지 제20권 제 1 호
J. of Korean Orthop. Assoc.
Vol. 20, No. 1, February, 1985

경골 골절 치료에서 Hoffmann 외고정술

연세대학교 의과대학 정형외과학교실

강응식 · 한대용 · 김성재 · 김중선

=**Abstract**=

Hoffmann External Fixation in the Treatment of the Fractures of the Tibia

Eung Shick Kang, M.D., Dae Yong Han, M.D. Sung Jae Kim, M.D. and Jung Sun Kim, M.D.

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

External fixation was improved in its devices and techniques as a specific method of fracture treatment. It was possible to immobilize the fractures firmly with the use of Vidal modified Hoffmann external fixation and could be used effectively in difficult fractures with severe soft tissue injury.

From October 1981 to December 1983, 28 patients of tibial fracture who had been treated with Hoffman external fixation at Severence Hospital, Yonsei University College of Medicine were studied.

The results are summerized as follows:

1. The age of patients varied from 14 to 66 years old, the majority (53.6%) being between 20 to 39 years old and males comprized 89.3%.
2. Traffic accidents and machinary injuries comprized 96.4%.
3. Average duration with Hoffmann frame was 16.6 weeks and average time of bone union was 30.1 weeks.
4. Many complications were noticed but majority were related to personalities of the fractures, not due to Hoffmann external fixation itself.
5. Hoffmann device was relatively easy and quick to apply: sufficient stability was obtained: reasonable anatomic reduction of major fragments was possible: facilitated treatment and care of polytraumatized patients.
6. Secondary operations, e,g., bone grafting and even plastic surgery, had been possible without necessitating removal of the device.
7. It was useful in open fractures with severe soft tissue tissue injury and also in taking care of further necessary managements.

Key Word: Hoffmann external fixation, Tibial fracture

Ⅰ. 서 론

연부조직 손상이 심한 개방성 골절은 골절정복이나 정복상태의 유지가 어려워 감염, 불안정성, 연부조직의 합병증 등의 문제가 초래되어 이의 적절한 처치는 항상 정형외과 분야에서 문제로 취급되어 왔다[7,18].

1853년 Malgaigne[20]이 처음 슬개골 골절에 "claw"라는 장치를 사용 보고한 이래 1898년 Parkhill[24]은 경피핀을 사용하여 이를 외고정 장치에 연결하는 방법을, 1912년 Lambotte[17]는 threaded핀을 최초로 사용하였음을, 1931년 Pitkin와 Blackfield[26]는 양측 골피질을 통과하는 핀을 사용하는 등의 보고가 있었고 이후 Anderson[1], Stader[30] 및 Charney[4] 등에 의해 많은 기구와 방법의 발전이 있었다. 그러나 외고정 장치에 의한 골절치료는 핀주위 감염, 골절정복의 어려움 및 정복유지의 실패 등 많은 합병증으로 1950년대까지는 그리 많이 사용되지는 못하였다[13].

1938년 Roaul Hoffmann[12]에 의해 universal ball clamp, external bar, clamp로 구성되는 "osteotaxis"라는 외고정 장치가 개발된 후 Vidal[33]에 의해 개량되어 보다 견고한 고정이 가능해짐에 따라 개방성 골절, 관절유합술 및 불유합등에 많이 사용되었다. 그러나 외고정술에 의한 방법은 여전히 핀주위 감염, 지연유합등의 합병증이 문제로 보다 주의깊은 사용과 관찰이 요구되고 있다[8,11].

저자는 1981년 10월부터 1983년 12월까지 연세대학교부속 세브란스병원 정형외과에서 Hoffmann 외고정 장치를 이용하여 치료하였던 경골 골절 환자 28예를 대상으로 6개월이상 추시하여 이 장치의 장단점 및 합병증등에 대해 분석 연구하여 그 결과를 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

Table 1. Age and sex distribution

Age	Male	Female	Total(%)
10—19	4		3 (10.7)
20—29	7	1	8 (28.6)
30—39	6	1	7 (25.0)
40—49	4		4 (14.3)
50—59	3		3 (10.7)
60—69	2	1	3 (10.7)
Total	25	3	28 (100.0)

Table 2. Causes of fractures

Cause	No. of cases(%)
Out car accident	14 (50.0)
In car accident	2 (7.1)
Autobicycle accident	
driver	2 (7.1)
passenger	4 (14.3)
Machinary injury	5 (17.9)
Others	1 (3.6)
Total	28 (100.0)

Table 3. Associated injury

Site of injury	No. of cases(%)
Head	5 (17.9)
Thorax	5 (17.9)
Abdomen	2 (7.1)
Spine	1 (3.6)
Upper extremity	6 (21.4)
Lower extremity	8 (28.6)
Pelvis	2 (7.1)
Total	29

Ⅱ. 조사대상 및 방법

1981년 10월부터 1983년 12월까지 만 2년 3개월동안 연세대학교 의과대학 부속 세브란스병원에 입원하여 Hoffmann 외고정 장치를 이용하여 치료를 하였던 경골 골절 환자 28예를 대상으로 성별및 연령분포, 동반손상, 골절형태별에 따른 결과분석, 외고정 장치 착용기간 및 합병증등에 관하여 분석하였다.

개방창 여부는 Gustilo[10]의 분류에 따랐으며 결과분석에서 하지단축은 1cm 이상인 경우를, 부정유합은 5° 이상의 각변형이 있거나 5° 이상의 내회전 변형이나 20° 이상의 외회전 변형이 있을 때 혹은 경골 직경의 1/3이상 전위가 있는 경우로하였고 관절강직은 골유합후 최종 관찰시 반대측 족관절 및 슬관절의 운동범위보다 적은 것을 기준으로 하였다. 수상후 6개월이전에 아무 고정장치없이 전체중부하를 할 수 있는 경우를 정상 유합으로 하였고 6개월이후에도 골유합이 완성되지 않았을 경우를 지연유합 혹은 불유합으로 구분하였다.

Table 4. Precedures during external fixator application

Procedure	No. of cases	No. of patients
Debridement, decortication and sequestrectomy	16	11
Remanipulation	4	4
Skin graft	17	11
Rotational flap	1	1
Free vascular osteocutaneous flap	2	2
Electircal stimulation (semi-invasive)	2	2
Bone graft	13	12
Total	55	

Ⅲ. 증례 분석

1) 연령 및 성별분포

총 28예중 남녀의 비율은 8.3: 1로 남자에 많았고 연령별로는 14세부터 66세까지의 분포였으나 20세에서 39세까지가 15예(53.6%)로 가장 많았다(Table 1).

2) 발생 원인

수상 원인별로는 교통사고가 22예(78.6%)로 가장 높은 빈도를 보였고 산업재해가 5예(17.9%)를 차지하여 비교적 high energy injury로 인정되는 원인이 96.4%였다(Table 2).

3) 동반 손상

Hoffmann 외고정 장치를 착용치 아니한 부위의 손상으로 하지의 골절이 동반된 경우가 8예로 가장 많았고 그외 상지 두부 및 흉부손상 순이었다(Table 3). 동측 비골 골절이 동반된 경우는 26예였다.

Table 5. Types of tibial fractures

Type	No. of cases(%)
Closed oblique	2(7.1)
Open segmental	1(3.6)
Open comminuted	25 (89.3)
Total	28 (100.0)

4) 동반 치료

Hoffmann 외고정 장치를 착용중 많은 치료를 병행할 수 있었으며 피부이식술이 11예에서 17회등 환자당 평균 2회의 수술이 시행되었다(Table 4).

5) 골절형태와 평균 외고정 장치 착용기간 및 골유합기간

Hoffmann 외고정 장치는 주로(92.9%) 연부조직 손상이 있는 개방성 골절에 사용하였으며 대부분 분쇄골절 형태였다(Table 5). 수상후 평균 13.4일만에 Hoffmann 외고정 장치를 착용하였고 평균 유지기간은 16.6주, 평균 골유합기간은 30.1주였다.

연부조직 손상이 가장 심한 제 3 형의 개방성 골절 환자에서 Hoffmann 외고정 장치 착용기간 및 골유합기간이 가장 길었으며(Table 6), 골절부위 별로는 경골 원위 1/3부 골절시 가장 골유합이 지연되었다(Table 7).

정상유합된 군에서의 평균 외고정 장치 착용기간은 14.4주였고 골유합기간은 18.1주였으며 지연유합된 군에서는 각각 20.6주 및 40.9주였다.

6) 합병증

핀주위 감염은 총 6예(21.4%)였고 이중 핀제거 및 골소파술을 필요로한 중감염은 2예였다. 핀삽입후 1예에서 신비골신경 손상이 발생되었으나 핀제거후 1주일내에 회복이 있었다.

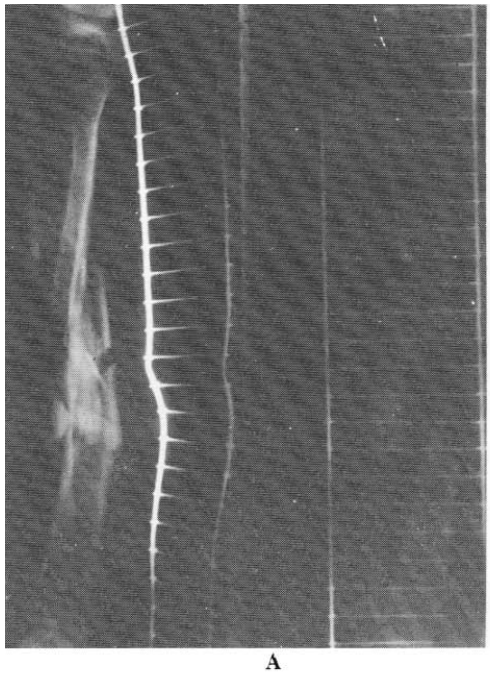
Table 6. Average duration with Hoffmann frame and average time of fracture healing according to the types of soft tissue injury

Type	No. of cases	Duration with fixator (weeks)	Fracture healing time (weeks)
Closed	2	14.3	26.9
Open			
type Ⅰ.	6	9.6	24.3
type Ⅱ.	7	13.7	15.3
type Ⅲ.	13	18.3	35.3
Total	28	16.6	30.1

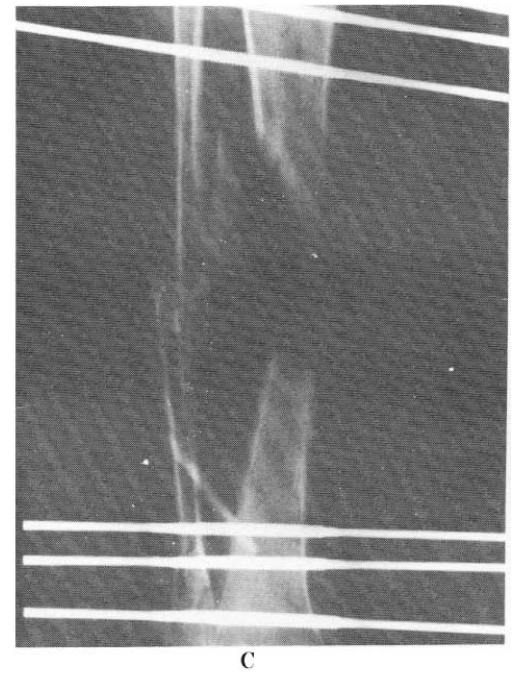
* Open fracture classification according to Gustilo's method.

Table 7. Average duration with Hoffmann frame and average time of fracture healing according to the locations of tibial fractures

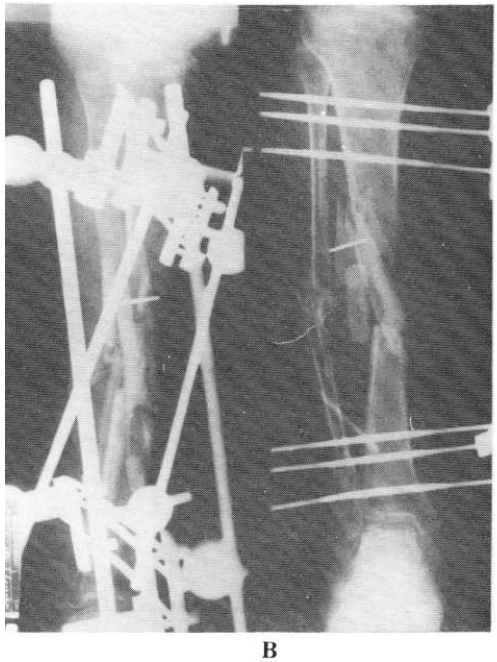
Location	No. of cases	Duration with fixator (weeks)	Fracture healing time (weeks)
Proximal 1/3	3	18.9	20.1
Middle 1/3	18	16.2	39.1
Distal 1/3	7	21.9	35.4



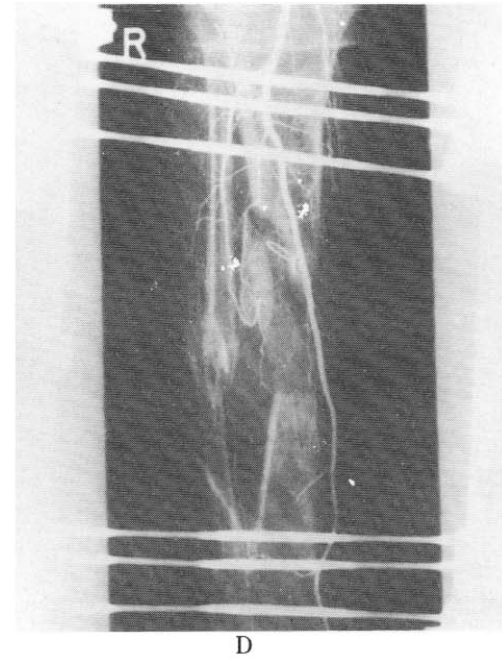
A



C



B



D

Fig. 1. Case 1. Fourty one years old man with open comminuted fracture of tibia & fibula. **A)** Preoperative appearance **B)** Just after application of Hoffmann external fixator **C)** After sequestrectomy, post-injury 3 months **D)** Appearance after free vascular osteocutaneous flap, post-injury 3 months.

주위 관절강직은 5예(17.9%)에서 관찰되었으나 5예중 관절을 포함하여 외고정하였던 예는 1예였다. 나머지 4예는 슬내장증, 족관절 골절등 직접적인 관절손상이 있었던 경우였으며 이중 2예에서

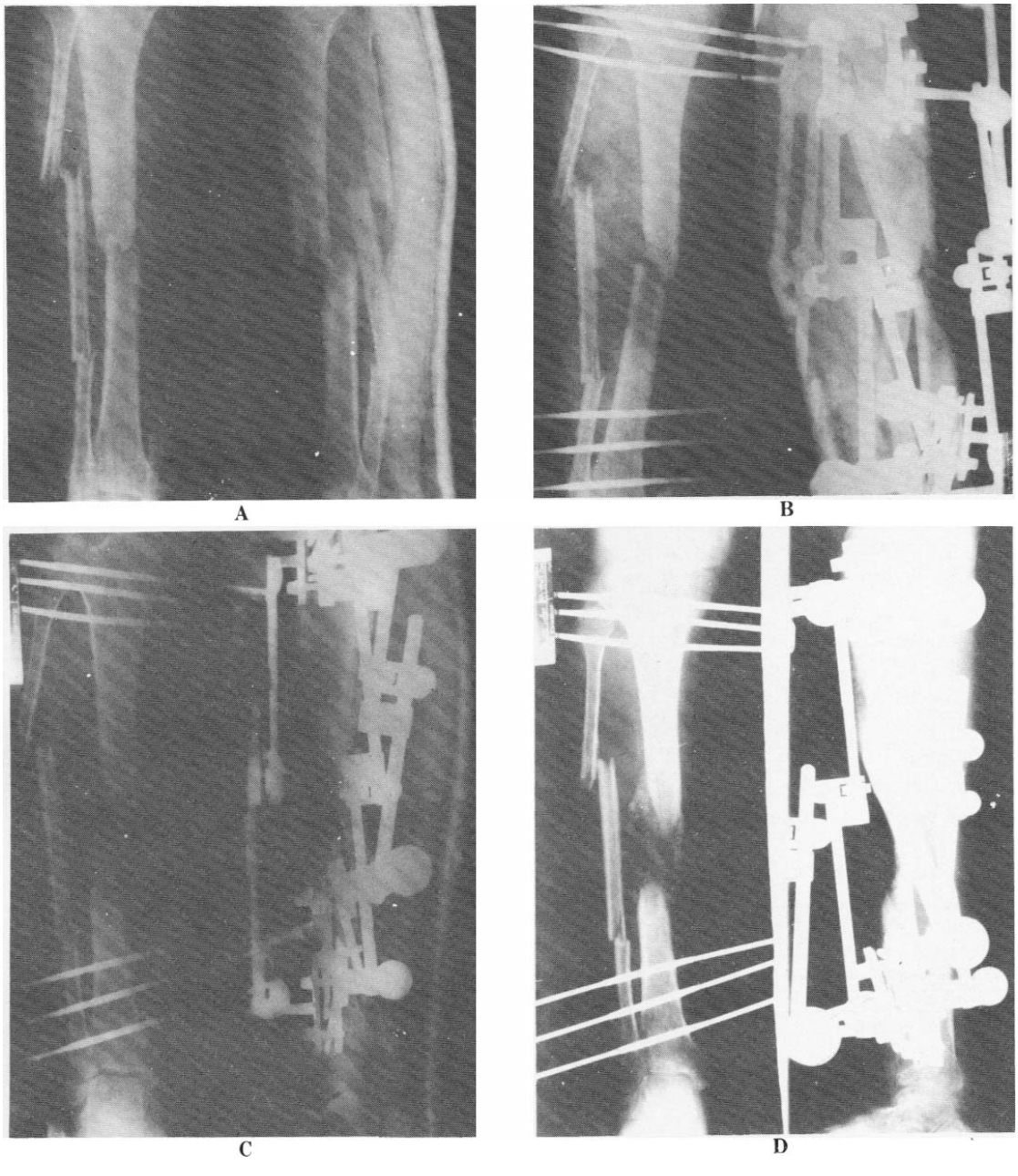


Fig. 2: Case 2. Thirty eight years old man with open fracture of tibia & fibula. **A)** Preoperative appearance **B)** Just after application of Hoffmann external fixator **C)** Post-curettage and sequestrectomy appearance, post-injury 2 months **D)** Appearance of bone graft with Papineau technique, post-injury 4 months.

연부조직 손상이 관절강직의 원인으로 인정되었고 외고정 장치 착용으로 인한 운동범위의 감소가 초래된 경우는 없었다.

하지단축은 압박을 가했던 2예에서 1~2cm의 단축이 관찰되었고 대부분의 경우 각 변형은 착용당시나 추후 재조정으로 교정이 가능하였으나 5~10°의 각변형이 있었던 2예와 골편의 전위(경골 직경의 약 2/3)가 있었던 1예가 있었다. 지연유합 및 불유합은 15예(53.6%)에서 관찰되었으나 많은 경우 골절의 정도가 심했던 것이 원인으로 작용하였다

(Table 8).

7) 지연유합 및 불유합의 추정원인

비교적 많은 수의 지연유합 및 불유합이 관찰되었고 이중 감염과 골소실이 원인이 되었던 경우가 각각 4예(26.7%)였으며 그외 신연, 연부조직 손상, 분쇄골절 및 분절골절 순이었다(Table 9).

Ⅳ. 고 찰

교통사고나 산업재해에 의한 high energy injury는 개방창을 동반하는 분쇄형의 경골 골절을 유발하는 경우가 많다[7]. 외고정 장치는 이러한 어려운 형태의 골절치료에 유용한 방법으로 발전되어 왔으나 1950년대까지는 핀주위 감염, 지연유합 및 불유합의 빈발등 여러 합병증으로 그리 널리 사용되지는 못하였다[13]. 그러나 Vidal[33]등이 Hoffmann 외고정 장치를 개량하여 견고한 고정이 가능케 된 이후 고식적 방법으로는 절단술이 불가피한 경우 등 주로 개방성 골절에 사용되어 좋은 결과가 보고되었다[3, 22, 34].

다발성 외상 환자에서 빠른 시간내에 간단히 착용하여 골절뿐아니라 타 손상부위에 대한 처치를용이케하여[16] 여러 합병증을 예방할 수 있었고 더우기 고정상태를 견고히 유지하면서 창상처치를 쉽게 할 수 있었고 여러 다른 수술을 병행할 수도 있어 본례에서도 환자당 평균 2회의 수술이 시행되었다. 술후 수상부위의 고위상태를 유지하여 부종을 감소시킬 수 있었고[23] 주위 관절운동을 조기에 허용하여 오랜 고정으로 인한 관절강직 예방이 가능하였다.

외고정 장치는 개방성 경골 골절에 많이 사용 보고되었으며 Karaharju와 Santavirta[14]에 의하면 전체적으로 경골 골절의 1~2%만이 외고정술의 적응이 된다 하였고 본례에서도 주로 개방성의 골절에 사용되었음을 관찰할 수 있었다.

Perren[25]에 의하면, 골유합은 정확한 골절 정복과 견고한 내고정시 일어나는 일차적 유합과 헐겁게 고정된 상태에서 가골형성에 의해 일어나는 이

Table 8. Complications

Complication	No. of cases(%)
Pin tract infection	
minor	4 (14.3)
major	2 (7.1)
Joint stiffness	5 (17.9)
Deep peroneal nerve injury	1 (3.6)
Mal-union	3 (10.7)
Limb shortening	2 (7.1)
Delayed and non-union	15 (53.6)

Table 9. Probable causes of delayed and non-union

Cause	No. of Cases(%)
Infection	4 (26.7)
Distraction	3 (20.0)
Bone loss with soft tissue injury	4 (26.7)
Severe soft tissue injury	2 (13.3)
Comminution and segmentation	2 (13.3)
Total	15 (100.0)

Table 10. Comparison of tibial fractures treated by the Hoffmann frame

	Karlstrom[15]	Velazco[32]	Author
No. of fractures	28	40	28
Fracture type)	Ⅱ (10)	Ⅱ (12)	Closed (2)
(Gustilo type)	Ⅲ (18)	Ⅲ (28)	Ⅰ (6)
			Ⅱ (7)
			Ⅲ (13)
Type of frame	Double	Double	Double
Cause, traffic accident	85.7%	90%	78.6%
Other injuries	75.0%	45%	89.0%
Associated surgery	—	105	55
Chronic infection	1 osteomyelitis	5 pin tract	2 pin tract(major)
Amputation	1	5	2
Average time with fixator	4.9 months	3.1 months	16.6 weeks
Fracture healing	7.9 months	93% at 18 months	30.1 weeks

차적 유합이 있다하여 골절편간 미세운동이 5μm 이하가 되어야 일차적 골유합이 가능하다 하였다.

Lawyer와 Lubbers[19]는 Hoffman 외고정 장치시 대부분 2~3개월만에 방사선 소견상 가골형성이 없이도 임상적 안정성을 얻을 수 있다하여 외고정시의 골유합은 일차적 유합에 의한다고 주장하였으나 Green[8]은 외고정술로는 5μm이하의 골절부위 미세운동을 얻기가 어려워 일차적 골유합은 일어나기 힘들다하여 지연유합등의 의심이 가는 경우는 수상 4~6주후 혹은 골절형태나 골소실의 정도로 보아 수상 즉시라도 골이식을 하는 것이 좋으며 이때 후방도달법에 의한 후외측부 골이식이 좋으나 손상받은 경골 전방부의 맥관재생이 전제조건이 된다하였다[19]. Green과 Dlabal[9]은 개방창이 있거나 감염이 있는 경우에도 Papineau 방법에 의한 골이식이 가능하며 더우기 감염의 치유에도 도움이 된다하였고 본례에서도 Papineau 방법에 의한 3예를 포함하여 총 13회의 골이식을 시행하였다.

외고정 장치의 견고성 증가는 연부조직 회복을 촉진하며[32] 보다 견고한 고정을 얻기위하여 Briggs와 Chao[3]는 핀의 수 증가, 큰 직경의 threaded핀 사용, connecting rod간 간격을 줄이며 각 핀간의 간격을 넓게하는 것이 좋다하였고 Karlström과 Olerud[15]는 실제적으로 clamp와 핀간의 간격을 2~3cm로 유지하는 것이 좋다 하였다. 그러나 외고정 장치로는 최대한의 견고성을 얻더라도 견고한 내고정의 방법보다는 그 견고성이 떨어진다 하여 골절편간 신연을 최대한 줄이며 가능한한 압박을 가하는 것이 좋다하였고[3] 필요하면 half extra pin이나 1~2개의 골절편간 나사(interfragmentary screw)를 사용한다 하였다[22].

Urist등[31]는 골절편간 간격이 0.5cm 벌어졌을 때 골유합이 12개월로 지연됨을 보고하였고 Lawyer와 Lubbers[19]는 25예의 경골 골절에서 압박을 가한 군과 그렇지 아니한 군과의 비교에서 평균 골유합기간이 각각 5.1개월 및 8.2개월이었음을 보고하여 압박이 중요하다 하였고 Olerud[23]는 외고정 장치 착용후 첫 1주일간은 계속 재조정하여 압박상태를 유지하는 것이 골절편간 간격을 줄이는 것 뿐 아니라 골절의 안정성 증가에도 도움이 된다하였다[32].

그러나 견고한 고정이 반드시 골유합에 필요한가에 대해서는 학자마다 의견이 분분하여 Rhinelander등[27]은 손상된 골과 주위조직에 맥관재생이 되어야 골유합이 이루어지는데 계속적인 골단부위 움직임은 이를 저해한다하여 견고한 고정이 필요하다 하였으나 Green[8]은 너무 견고한 고정은 생리적 골절운동을 제한하여 가골형성을 저해하므로 좋지않다하여 연부조직 손상만 회복되면 외고정 장치를 제거하거나[23] 6~8주 사이에 외고정 장치전부나 혹은 single bar unilateral fixation시에는 bar를 바깥쪽으로 이동시켜 견고성을 감소시킨다하였다[8, 32].

Heiser와 Jacobs[11]는 외고정 장치를 이용한 경골 및 요골 골절에서 약 55%의 지연유합을 보고하였고 지연유합된 군에서 평균 외고정 장치 착용기간이 정상유합된 군보다 약 2배정도 길었음을 보고한 바 있다.

Edwards[6]는 압박을 얻을 수 있는 골절 형태에서 조기에 석고붕대 고정법으로 전환하여 좋은 결과를 얻을 수 있다하였으나 아주 불안정한 제3형의 개방성 골절에서 석고붕대 고정법으로의 빠른 전환은 골절정복 소실의 위험성과 이차적인 내고정술에 의한 방법은 감염의 위험성이 있으며 만일 이차적인 내고정술을 시행하려면 외고정 장치 제거후 1~2개월에 하는 것이 좋다하였다[14]. 본례에서도 주로 심한 분쇄상태 및 연부조직 손상이 심했던 경우에 사용하여 53.6%의 지연유합 및 불유합이 발생되어 Heiser와 Jacobs[11]의 55%와 비슷한 양상을 보였고 특히 연부조직 손상이 심했던 제3형의 개방성 골절에서 연부조직 치유가 지연됨으로 인해 평균 외고정 장치 착용기간 및 골유합이 가장 지연되었고 역시 지연유합된 군에서 평균 외고정 장치 착용기간이 정상유합된 군보다 약 6.2주 더 지속되었다.

외고정 장치는 개방성 골절에 사용되어 창상처치를 용이케 하였고 피부이식술등 연부조직 손상회복을 위한 처치를 병행할 수 있었다. Rosental등[28]은 개방창의 일차봉합을 권하였고 Cinerny등[5]은 7일 후에 피부봉합된 군과의 비교에서 7일전에 피부봉합된 군에서 감염이나 골유합에 우수한 결과를 얻을 수 있었다고 하였으나 Ger[7] 등은 충분한 소파술후 개방상태로 두어 삼출물의 배출을 용이케하는 것이 감염을 줄일 수 있다하였고[10, 32] Benson등[2]은 일차봉합이나 지연봉합에서 감염율의 차이가 없었다하였다. 본례에서는 제2형의 개방성 골절까지는 모두 충분한 소파술후 일차봉합을 하였으나 골수염으로 진행된 경우는 없었고 제3형의 개방성 골절에서 4예의 감염을 포함하여 심한 연부조직 손상, 연부조직 손상이 동반된 골소실등 연부조직 손상이 관련된 경우가 지연유합된 15예중 10예를 차지하여 가장 중요한 인자였음을 관찰할 수 있었다.

핀주위 감염은 오래전부터 외고정술에 의한 골절치료시 문제가 되어온 합병증으로 Karlström과 Olerud[15]는 3.5%, Velazco와 Fleming[33]은 80%등 많은 변수가 있음이 보고되어 Green[8]은 봉와직염 정도의 경감염과 핀제거와 골소파술등이 필요한 중

감염으로 구분하였다. 본례에서도 이에 따라 총 6예의 핀주위 감염중 핀제거를 필요로한 중감염은 2예가 있었다. 핀주위 감염은 핀주위 조직의 괴사나 핀과 피부, 핀과 골사이의 운동이 원인으로[6,28] 핀주위 조직의 괴사는 핀삽입시 발생되는 열로 인한 수 있다하여[21] 반드시 hand drill을 사용해야 하며 Naden[22]은 이때 전혀 ring sequestra를 관찰할 수 없었다고 하였으나 Velazco와 Fleming[32]은 이때에도 ring sequestra를 볼 수 있어 self tapping pin에 의한 압력괴사가 원인으로 pre-drilling이 필요하다 하였다.

Schazker등[29]은 조직괴사시에도 체중부하만 피하면 골증식이 가능하다 하였으며 Karaharju와 Santavirta[14]는 감염이 있는 경우라도 안정된 고정상태가 유지되고 있으면 제거치않고 안정성을 잃었을 때에만 제거한다 하였다. 본례에서도 이에 준하였으며 Hoffmann 외고정 장치를 이용하여 치료한 경골 골절의 다른 연구가 대체로 비슷한 골절양상 및 골유합을 관찰할 수 있었다(Table 10).

V. 결 론

1981년 10월부터 1983년 12월까지 연세대학교 의과대학 부속 세브란스병원 정형외과에서 Hoffman 외고정 장치를 이용하여 치료하였던 경골 골절 환자 28예를 대상으로 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 성별로는 남자가 25예(89.3%), 연령별로는 20세에서 39세까지가 15예(53.6%)로 가장 많았다.

2. 발생원인으로는 교통사고 22예(78.6%) 산업재해 5예(17.9%)로 high energy injury로 인정되는 원인이 대부분이었다.

3. Hoffmann 외고정 장치 평균 착용기간은 16.6주였으며 평균 골유합기간은 30.1주였다.

4. 지연유합 및 불유합 15예(53.6%)등 많은 합병증이 있었으나 Hoffmann 외고정 장치 자체의 문제보다는 대부분 골절의 성격으로 인한 합병증으로 인정되었다.

5. Hoffmann 외고정 장치로 비교적 견고한 고정과 정확한 골절정복이 가능하였고 다발성 외상 환자에서 타 부위 손상에 대한 처치를 쉽게할 수 있었다.

6. Hoffmann 외고정 장치 착용중 많은 수술을 병행할 수 있어 환자당 평균 2회의 수술이 시행되었다.

7. Hoffmann 외고정 장치는 심한 연부조직 손상이 동반된 골절에 유용하게 사용되어 추후 창상처치등 연부조직 손상회복을 위한 처치를 쉽게 하였다.

REFERENCES

1) Anderson, R.: *An automatic method of sreatment for fractures of tibia and fibula. Surg. Gynecol. Obstet., 58: 639-646, 1934.*

2) Benson, D.R., Riggins, R.S., Lawrence, R.M., Hofrich, P.D., Huston, A.C. and Harrison, J. A.: *Treatment of open fractures. J. Trauma, 23: 25-30, 1983.*

3) Briggs, B.T. and Chao, E.Y.S.: *The mechanical performance of the standard Hoffmann-Vidal external fixation apparatus. J. Bone Joint Surg., 64A; 566-573, 1982.*

4) Charnley, J.C.: *Positive pressure in arthrodesis of the knee joint. J. Bone Joint Surg. 30B : 478-486, 1948.*

5) Cinerny, G. III., Bord, H.S. and Jones, R.E.: *Primary versus delayed soft tissue coverage for severe open tibial fractures. A comparison of results. Clin. Orthop., 178: 54-63, 1983.*

6) Edwards, C.C.: *Staged reconstruction of complex open tibial fractures using Hoffmann external fixation. Clinical decisions and dilemmas. Clin. Orthop., 178:130-161, 1983.*

7) Ger, R.:*The management of open fractures of the tibia with skin loss. J. Trauma, 10: 112-121, 1970.*

8) Green, S.A.: *Complications of external skeletal fixation. Clin. Orthop., 180:109-116, 1983.*

9) Green, S.A. and Dlabal, T.A.: *The open bone graft for septic non-union. Clin. Orthop., 180: 117-124, 1983.*

10) Gustilo, R.B. and Anderson, J.T.:*Prevension of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of the long bones. J. Bone Joint Surg., 58A: 453-458,1976.*

11) Heiser, T.M. and Jacobs, R.R.: *Complicated extremity fractures. The relation between external fixation and non-union. Clin. Orthop., 178: 89-95, 1983.*

12) Hoffmann, R.: *Rotules à os pour la rêduction dirigée non sanglante des fractures. Helv. Med. Acta. 5: 844, 1938(Quoted in Vidal, J. : External fixation. Clin. Orthop. 180: 7-14,*

1983.)

13) Johnson, J.E. and Stovall, S.L.: *External fixation of fractures. J. Bone Joint Surg., 32A: 466-467, 1950.*

14) Karaharju, E.O. and Santavirta, S.: *Treatment of complicated fractures of the lower leg by osteotaxis. J. Trauma, 19: 719-723, 1979.*

15) Karlström, G. and Olerud, S.: *Percutaneous pin fixation of open tibial fractures. J. Bone Joint Surg., 57A: 915-924, 1975.*

16) Karlström, G. and Olerud, S.: *External fixation of severe open tibial fractures with the Hoffmann frame. Clin. Orthop., 180:68- 77, 1983.*

17) Lambotte, A.: *The operative treatment of fractures. Br. Med. J., 2: 1530, 1912. (Quoted in Sisk, T.D.: External fixation. Clin. Orthop., 180: 15-22, 1983.)*

18) Larsson, K. and Van der Linden, W.: *Open tibial fractures. Clin. Orthop., 180:63-67,1983.*

19) Lawyer, R.B. and Lubbers, L.M.: *Use of Hoffmann apparatus in the treatment of unstable tibial fractures. J. Bone Joint Surg., 62A:1264 -1273, 1980.*

20) Malgaigne, J.F.: *Considerations cliniques sur les fractures de la roule et leur traitement par les griffes. J. Conn. Med. Prat., 16: 9-12, 1853.*

21) Matthews, L.Y. and Hirsch, C.: *Temperature measured in human cortical bone when drilling. J. Bone Joint Surg., 54A:297-308, 1972.*

22) Naden, J.R.: *External skeletal fixation in the treatment of fractures of the tibia. J. Bone Joint Surg., 31A: 586-598, 1949.*

23) Olerud, S.: *Treatment of fractures by the Vidal-Adrey method. Acta. Orthop. Scand., 44: 516-531, 1973.*

24) Parkhill, C.: *Further observations regarding the use of the bone-clamp in ununited fractures with malunion and recent fractures with a tendency to displacement. Ann. Surg., 27: 553, 1898. (Quoted in Sisk, T.D.: External fixation. Clin. Orthop., 180:15-22, 1983.)*

25) Perren, S.M.: *Physical and biological aspect of fracture healing with special reference to internal fixation. Clin. Orthop., 138:175-196, 1979.*

26) Pitkin, H.C. and Blackfield, H.M.: *Skeletal immobilization in difficulty fractures of the shaft of the long bones. J. Bone Joint Surg., 8 : 589, 1931. (Quoted in Sisk, T.D.: External fixation. Clin. Orthop., 180:15-22, 1983.)*

27) Rhinelander, F.W., Phillips, R.S. andSteel, W. M.: *Microangiography in bone healing. J. Bone Joint Surg., 50A:643-662, 1968.*

28) Rosental, R.E., Manphail, J. A. and Ortiz, J. E.: *Non-union in open tibial fractures. Analysis of reasons for failure of treatment. J. Bone Joint Surg., 59A: 244-248, 1977.*

29) Schazker, J., Sanderson, R. and Murnaghan, J.P.: *The holding power of orthopedic screws in vivo. Clin. Orthop., 108: 115- 126, 1975.*

30) Stader, O., Lewis, K.M. and Breidenbach, L.: *The stader reduction splint for treating for fractures of the shafts of the long bones. Ann. Surg., 116: 623- 636, 1942.*

31) Urist, M.R., Mazet, R. Jr. and Mc Lean, F. C.: *The pathogenesis and treatment of delayed union and non-union. A survey of eighty- five ununited fractures of the shaft of the tibia and one hundred control cases with similar injuries. J. Bone Joint Surg., 36A:931- 968, 1954.*

32) Velazco, A. and Fleming, L.L.: *Open fractures of the tibia treated by the Hoffmann external fixator. Clin. Orthop., 180: 125- 132, 1983.*

33) Vidal, J.: *External fixation. Yesterday, today and tomorrow. Clin. Orthop., 180: 7-14,1983.*

34) Weis, E.B. Jr., Roberts, J.B. and Curtiss, P. H.: *Salvage of complicated open fractures by transfixation. J. Trauma, 16: 266- 272, 1976.*