

골절치료에서의 외고정의 치료 원칙과 최신 지견 (The Treatment Principles and Latest Knowledge of External Fixator in the Treatment of Fractures)

한승범 · 신영수

고려대학교 의과대학 안암병원 정형외과

서 론

외고정 장치의 최초의 문헌적 기술로서 2400여 년 전 히포크라테스에 의해 기술된 것을 들 수가 있다. 그는 경골을 움직이지 못하게 고정하면서, 동시에 연부조직 상태를 관찰할 수 있도록 고안했는데, 이는 경골의 근위부와 원위부를 가죽으로 싸매는 방식을 통해 가능하게 했다. 기술된 내용을 보면, ‘고정되어 있는 기간 동안 위와 같은 가죽싸개를 입히고, 싸맨 부위는 두터우면서도 꼭 맞게 속이 잘 채워져서 발목 위 부위와 무릎 아래 부위에 위치해야 한다.’ ‘산딸나무를 이용하여 만든 같은 길이의 네 개의 유연한 막대를 무릎과 발목의 싸맨 곳 위에 위치시키게 되면 막대의 직선 축을 따라서 적절하고 균일한 신전이 생긴다. 또한 막대는 발목의 양쪽 면으로 널찍하게 배열하여 다리를 위치시키는 데 방해가 없도록 하고, 상처부위를 쉽게 확인하고, 처치할 수 있도록 한다.’라고 기술되어 있다.

현대 외고정 장치의 역사는 19세기에 Malgaigne에 의해서, 4개의 경피적 금속 고정핀으로 구성된 조임쇠를 이용하여 슬개골 골절을 정복하고 유지한 것을 기술한 것이 그 시초라고 할 수 있으며, 이는 1843년에 기술되었고, 처음으로 석고붕대를 소개한 것보다 12년 전의 일이다¹⁰⁾. 그 이후 1940년대 스위스의 Hoffmann은 외고정 장치의 다양한 사용 방법을 기술한 바 있다. 본 중설에서는 골절 치료에 있어서 외고정 장치 이용의 최신 경향과 적응증 및 치료 원칙들을 살펴보고자 한다.

외고정 장치의 구성 및 치료 원칙

외고정 장치의 구성 요소는 크게 핀(pin), 조임쇠(clamp),

프레임(frame)/connecting rod로 나눌 수 있으며 각 요소들 역할과 사용 원칙은 아래와 같다.

1. 핀

뼈와 프레임을 연결하는 가장 중요한 요소로 2 mm에서 6 mm까지 다양한 직경과 여러 가지 형태의 핀이 존재한다. 핀의 직경에 대하여 알아야 할 사항은 핀의 굽힘 저항성(bending stiffness)이 직경의 4제곱에 비례한다는 것으로 5 mm 핀은 4 mm 핀보다 약 144% 강하다(stiff). 하지만 골절의 위험 때문에 핀의 직경은 고정하고자 하는 뼈 직경의 1/3을 초과하여서는 안된다. 핀 첨단부의 모양은 drill tip, straight, conical type 등이 있으나 오랜 시간 고정을 요하는 핀의 고정을 위해서는 self drilling형보다는 핀고정 전에 먼저 drilling을 한 후 pin을 고정하는 방식이 유리하다. 또한 길이에 따라 경피적 고정핀(half pin)과 뼈를 완전히 관통하여 고정하는 transfixation pin으로 나눌 수 있으며 후자의 경우 pin-bone interface에 부하는 적으나 신경 혈관 손상의 위험이 있어 해부학적 제한이 있다. 핀과 프레임으로 고정된 전체 구조의 강성(stiffness)을 증가시키기 위해서는 한 골편에 고정된 두 핀 사이의 거리는 멀수록 유리하다.

2. 조임쇠

한 개의 핀만을 방에 고정하는 형태와 여러 개의 핀을 고정하는 형태의 것이 있으며, 조임쇠의 위치는 고정하려는 뼈와 가까울수록 외고정 장치의 강성이 증가한다.

통신저자 : 한 승 범

서울시 성북구 인촌로 73, 고려대학교 안암병원 정형외과
Tel : 02-920-5924 · Fax : 02-924-2471
E-mail : oshan@korea.ac.kr

Address reprint requests to : Seung-Beom Han, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Korea University Anam Hospital,
73 Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-705, Korea
Tel : 82-2-920-5924 · Fax : 82-2-924-2471
E-mail : oshan@korea.ac.kr

3. 프레임

단순한 rod형과, 관절이 있는 것(articulated), 연장이 가능한 형태(telescopic)가 존재하며 재질로는 금속제와 방사선 투과가 가능한 탄소 재질로 크게 나눌 수 있다.

프레임은 직경이 클수록 강도가 강하며 두 개의 rod를 사용하는 경우 한 개를 사용하는 것에 비해 강도가 강해진다. 프레임의 선택은 외고정 장치가 얼마만큼의 기간 동안 고정에 필요한지를 고려하여 선택하여야 한다

4. 환형 고정 장치(Ring fixator)

Ring과 가느다란 tension wire를 사용하여 고정하는 장치로 장점으로는 피질골이 얇은 골간단부의 고정에 유리하며, dynamic axial loading을 줄 수 있고 경우에 따라 관절 운동을 허용할 수 있다. 뼈와 외고정 장치 간의 고정의 강성을 증가시키기 위해서는 wire의 직경을 크게 하고 장력(tension)을 강하게 하며 wire 개수를 늘이고 두 개의 wire를 교차시킬 때는 90도에 가까울수록 강한 강성을 얻을 수 있다. 또한 ring의 직경이 작아 뼈와의 거리가 가까울수록 강성이 증가하며 고정하려는 뼈가 ring의 중심에 위치할수록 강한 강성을 얻을 수 있다.

5. 혼성 고정 장치(Hybrid fixator)

관절 주위에서 환형 고정 장치의 장점과 골간부에서 경피적 고정핀 고정 장치의 단순함의 장점을 취한 고정 장치

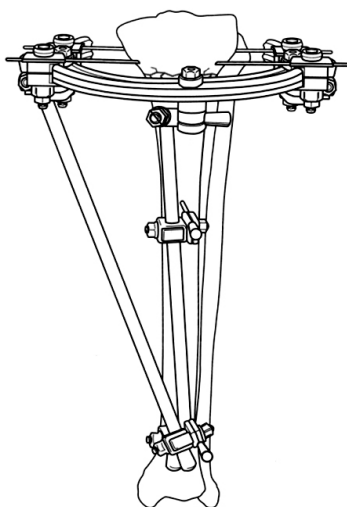


Fig. 1. Proximal tibia fracture fixed with hybrid external fixator.

이나, 구조적 강성은 환형 고정 장치에 비해 부족하다. 따라서 장기간의 고정을 요하거나 골결손이 존재하는 경우는 환형 고정 장치를 이용하는 것이 보다 유리하다. 주로 사용되는 부위는 경골 근위부와 원위부의 관절을 침범한 골절의 치료이며 이때 결과에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 관절면의 정복이며 이는 주로 최소 도달법을 통한 직접 정복을 통해 얻어진다(Fig. 1).

외고정 장치 치료의 최신 이용 경향과 적응증

1. 손상 조절 외고정 장치(Damage control external fixator)

전통적으로 외고정 장치는 분쇄 골절이나 중증 이상의 개방성 골절을 포함한 다발성 손상 등에 있어 일시적인 고정 또는 골유합을 얻기까지 확정적인 고정을 얻기 위한 중심적인 치료 방법이다. 이러한 술기는 경피적 고정핀을 손상 받은 부위를 피하여 위치시킴으로써, 추가적인 수술적 연부조직 손상을 최소화하는 것을 일반적으로 포함한다. 이는 또한 상처 부위의 소독이나 지속적인 관찰이 가능하도록 하는 데 있어 매우 효과적이며, 외고정 장치를 위한 프레임은 빠르게 장착이 가능한 monolateral frame이 주로 사용되고, 골절이 있는 경우 클램프를 조이기 전에 다양한 평면에서 정복을 시도할 수도 있다.

복잡한 관절 손상을 위한 일시적인 관절 가교 외고정의 개념은 널리 알려져 있다. 초기의 지속적인 장축 방향의 힘을 주어 정복을 얻는 것은 큰 골절 간격을 줄임으로써 손상과 관련된 부기와 부종의 양을 상당히 감소시키며 조기의 ligamentotaxis를 통하여 본 수술에서 관절의 정복을 용이하게 할 수 있다. 조기에 관절 내 골편의 정복을 얻는 것은 매우 중요하여 감입된 골절의 경우 수일만 경과하여도 정복이 어려운 경우가 많다^{17,20,22,23)}. 또한 임시적인 고정으로 효과적인 당김이 유지되고 연부조직이 가라앉게 되는 동안 환자는 다른 종류의 시술 혹은 검사를 받을 수 있게 된다. 이러한 외고정 기술의 적용은 다발성 손상을 입은 환자들에서 유용한데 상, 하지에서 빠른 안정이 필요한 경우이며, 이를 손상 관리 외고정(damage control external fixation)이라고 부른다. 간단한 단선외측(monolateral) 고정은 장골의 손상을 가로질러 빨리 적용될 수 있어 여러 부위의 손상을 입은 환자에서 신속하게 적절한 안정을 제공함으로써 환자의 관리 및 소생을 촉진시킨다. 관절 가교 외고정을 적용할 때는 과도한 견인은 피해야 하는데 과도한 견인은 근육 구획이 당겨지고 이는 구획을 압박하여 구획증후군을 초래할 수 있기 때문이다⁷⁾. 관절주위의 골절의 경우 최종 안정화로의 전환은 연부조직의 상태에 달려 있

다. 안전한 내 고정을 위해서는 적어도 10일에서 14일의 연부조직의 회복 기간이 필요하며 많은 경우에 조기의 외고정을 통한 안정화 이후 단계적인 접근이 좋은 결과를 나타내었다. 이것은 수술 전 컴퓨터 단층촬영 사진을 통한 주의 깊은 술 전 계획과 내고정을 하기에 앞서 연부조직의 손상상태에 대한 신중한 임상적 평가에 따른 결과이며, 외고정기를 골수강 내 고정으로 바꾸기 위한 시점은 연부조직의 상태 및 안정성 여부에 달려 있다. 장골 골절의 임시적인 안정화와 함께 골수강 내 금속정으로의 변환은 특히 정골의 경우 다양한 정도의 성공률을 보이고 있다. 대부분의 저자들은 프레임 적용 후 2주에서 3주 이내에 골수강 고정으로 변환하기를 추천하고 있는데 이는 외고정 핀에 의한 골수강 내 균집화(bacterial colonization)를 피하기 위한 것이며, 외고정 2주 이후 변환한 경우 감염률이 증가함이 보고되었다. 외고정을 오랫동안 할수록 골수강 내 기구로 변환 후 합병증 발생의 위험성이 증가하는 것으로 나타났는데 특히 외고정 핀이 제거된 곳을 같은 수술 세팅하에 금속정으로 교체하는 경우 높은 것으로 나타났다¹⁵⁾. 또한 손상 조절 외고정 시 핀의 위치는 후에 최종 내고정을 위한 절개를 미리 생각하여 이를 피하여 고정하는 것이 감염률을 낮추는 데 중요하겠다.

불안정한 골반 골절의 혈액역학적 및 골반 자체의 안정화는 즉각적인 소생의 기간 동안 간단한 외고정의 빠른 적용으로 얻을 수 있으며 외고정 프레임의 적용은 true pelvis를 정복하게 해주며 동시에 골반환의 후측 면을 따라 해면골 표면의 움직임은 안정화시켜 준다. 안정화를 제공해 주고 골반 볼륨을 감소시켜 주는 능력은 골반 내 출혈을 줄이고 따라서 낮은 사망률에 기여한다. 골반 전방의 외고정 기구는 적절한 고정을 시켜 주며 기존의 구조는 각 장골

crest의 여러 위치에서 단일 및 복수 핀 배치를 포함한다. 전방 프레임 특히 전방 위쪽의 장골 crest 핀 적용은 문제가 될 수 있는데 이러한 프레임은 크고 비만인 환자에서는 적용이 어려울 수 있다¹¹⁾. 또한 이러한 핀은 해면골에서 다양한 핀의 위치로 인해 빠르게 헐거워질 수 있다. 골반 환 고정에 있어 생역학적 연구들은 핀의 위치를 골반 아래쪽, 특히 비구 위쪽 지역에 두는 것에 초점을 맞추고 있다. 이 위치의 핀은 생역학적으로 더욱 안정적인데 골반 후주의 단단한 피질골을 붙잡는 능력이 더 낮기 때문이다. 뿐만 골반 아래쪽 고정하는 경우 동시 또는 후속 개복술 절차를 용이하게 할 수 있다.

골반 프레임은 수직으로 안정한 골절에서 가장 유용하며¹⁴⁾, 전후방 압박형태 혹은 외측 압박형태에 의한 골절처럼 회전 불안정성이 있는 골절의 경우 전방 골반 프레임의 적용이 가장 적절하다. 때때로 전방 프레임의 적용은 복잡하고 다루기 힘들며 시간이 필요하기 때문에 응급상황에서 적용이 어려울 수 있어 골반 외고정 기구의 변형인 C-clamp가 심한 골반환 손상 및 대량의 출혈이 있는 환자에서 후방의 안정성을 제공하기 위한 도구로 사용될 수 있다(Fig. 2).

2. 최종 고정 장치로서의 외고정(External fixator as a definitive fracture management)

외고정기 유형의 선택은 골절의 위치와 복잡성에 달려 있으며, 개방성 창상을 치료할 경우에는 창상의 유형 또한 고려해야 한다. 불안정한 골절 유형일 경우 좀 더 복잡한 형태의 프레임이 필요하며, 가능하다면 체중부하도 고려해야 한다. 만약 관절주위로 골절이 연장되어 있거나 포함하고 있다면, 관절을 가교(bridge)하는 프레임이 뼈와 연부조직 모두에 만족스러운 안정성을 제공할 것이다. 프레임은 차후의 연부조직 재건이 가능하도록 제작되어야 하는 것이 중요하다. 이를 위해 고정핀은 수술부위의 고정핀 부분 감염을 피하기 위해 창상 부위로부터 떨어져서 위치하여야 한다.

환형 외고정기는 골절 부위 고정 후 즉각적인 체중부하가 가능하다는 점과 변형 및 부정렬의 점진적인 교정이 가능하고 또한 골절 부위에 능동적인 압축과 신연을 가능하게 한다는 점에서 관절 외 골절 치료에도 결정적인 장점을 가지고 있다.

1) 단측성 외고정(Monolateral frame)

골절치료법으로 단측성 외고정기를 사용하는 가장 큰 적응증은 원위 요골 골절과 경골 간부 골절이다. 그 다음으로 복잡한 대퇴골이나 상완골 간부의 골절에 일시적인 고정을 위해 사용된다. 드물게 전완부 골절에도 사용된다.



Fig. 2. Pelvic external fixation for hemodynamically unstable pelvic ring injury.

(1) **손목관절 외고정**: 특별한 고정기가 원위 요골 골절을 치료하기 위해 제작되었으며 관절 가교 또는 관절 보존하는 방법으로 제작되었다. 도수 정복술로 palmar tilt를 회복한 후, 손목 관절의 위치는 지관절 강직과 골절 정복을 해하지 않는 상태로 수근관 증후군을 피하는 중립 또는 신전의 형태로 조정할 수 있다⁶⁾. 불안정 골절에서 인대신연(ligamentotaxis)으로 유지하기 힘든 골절을 다수의 배측과 요골쪽 표면 고정핀이 배면 경사를 교정하고 도수 정복을 유지한다.

손목관절의 역동적인 외고정기의 사용은 다양한 결과를 나타내며, 이것의 원리는 인대신연을 이용한 도수 정복 후 외고정기 장치의 uncoupling을 통한 조기의 운동범위를 시작하는 것을 포함한다. 골간단 전위를 동반하지만 관절은 유지되는 원위 요골 골절에서의 좀더 우수한 기능적, 임상적, 방사선학적인 결과를 위해 즉각적인 외고정과 부가적인 K-강선 고정으로 치료하는 경향이 있다. 좀더 나은 기능적 결과를 확인하기에는 부족한 면이 있음에도 불구하고 외고정은 재전위를 감소시키고 개선된 해부학적인 결과를 제공하며, 고정핀을 삽입하는 기술과 관련된 수술적인 합병증이 미미하다고 보고되고 있다¹²⁾. 하지만 최근에는 내고정 기구의 발전과 함께 내고정 치료에서 보다 우월한 임상적 결과가 보고되고 있어 점차 내고정으로 대체되는 경향을 보이고 있다.

(2) **대퇴골 외고정**: 급성의 대퇴골 골절의 치료로 외고정기의 사용은 우선적으로 소아의 골절이나 과도한 연부조직 및 신경혈관계 손상을 동반하고 있거나 수술을 건디기 어려울 정도로 심하게 손상을 입은 환자에 한해서 적용될 수 있다. 대퇴골의 외고정 적용은 대퇴골 간부의 전외측을 따라서 최소한 4개의 고정핀을 사용하는 것을 포함한다. 이러한 단순 단축성 외고정 프레임은 대부분의 복잡한 대퇴골 골절 유형에서 일시적으로 적절한 안정화를 제공한다³⁾. 대퇴골 간부 골절의 외고정은 종종 최종적인 치료법일 수 있다. 단축성 또는 단관 고정기는 4개 또는 6개의 고정핀과 함께 사용되며, 중간중간 고정핀의 느슨함을 동반한 고정핀 주변 감염은 가장 흔한 합병증의 하나이고 흔하게 발생함에도 불구하고 주된 문제는 되지 않고 국소적인 상처 치료와 항생제 대부분 치료로 치료가 가능하다. 가장 흔한 합병증은 슬관절의 운동범위 제한이며 이것은 만족스럽게 치료되기 어렵고 다른 치료법이 가능할 경우 외고정을 일반적인 치료법으로 시행하는 데 있어 가장 큰 단점이 된다. 다른 합병증으로는 프레임을 제거 후 재골절의 높은 발생(특히 소아의 대퇴골 간부 골절의 최종적인 치료로 외고정을 사용할 경우)을 들 수 있다.

(3) **슬관절 탈구**: 슬관절 탈구에서 동맥 봉합이나 구획 압박술 후 가교 외고정은 슬관절을 올바른 정복위치로 유지해 줄 수 있는 적절한 치료 선택으로, 단순 슬관절 단축

성 또는 단관 외고정은 원위 대퇴골에 2개의 고정핀과 경골 간부 중간에 두 개의 고정핀을 이용하여 쉽게 적용할 수 있다. 전반적으로 불안정한 무릎에서 초기의 수술적 재건술(대부분 후방십자인대 또는 급성 후외방 재건술)을 한 뒤 몇몇의 연구자들은 이러한 광범위한 재건을 보호하기 위한 즉각적인 articulated hinged knee fixator의 적용을 지지한다²¹⁾. Articulated external fixation은 다발성인대 재건술 후 십자인대의 긴장을 감소시켜 줄 수 있고 십자인대가 손상된 무릎에서 전후방 전위를 감소시켜줄 수 있다.

(4) **상완골 외고정**: 급성 상완골 간부 골절의 치료법으로 외고정은 흔하지 않은 치료법이다. 외고정기의 경피적 고정핀을 경골 피하의 내측면에 수직으로 고정시킬 수 있는 경골과는 다르게 상완골의 외고정은 중요한 근육과 건의 횡단 고정이 필요하여 외고정 후 합병증으로는 고정핀 주변 부 후유증과 견관절, 주관절 운동범위 제한 등이 있다. 그러나 현재의 외고정기는 상완골 부위 골절 사용에 점점 확대되고 있으며 간부 골절에 대한 사용에 더하여 현재는 상완골 과상골절, 근위부 상완골 골절 등에 monolateral, circular, hinge fixator 등이 사용되기도 한다. 상완골의 가장 흔한 적응증은 심하게 오염된 개방성 골절 또는 혈관계 손상을 동반한 총상 환자의 골절 안정화를 위해 사용된다. 단순히 4개의 고정핀을 이용한 외고정기의 빠른 적용이 훌륭한 안정성을 제공하고 차후의 동맥 봉합하는 동안 안정성의 방해 없이 조작이 가능하게 한다. 외고정 후 연부 조직이나 골재건을 위한 이차적인 수술은 용이하며 고정핀 주변 감염은 상대적으로 낮은 것으로 보고된다⁸⁾. 다발성 외상 환자 또는 복합 골절(복합 간부 골절, 상완골 과상골절, 과관 골절 및 주관절 골절과 탈구 등)을 치료할 때, 일시적으로 provisional elbow-spanning fixator를 사용할 수 있으며 환자의 상태가 호전되거나 연부조직이 복원되면 확정적인 치료가 안전하게 이루어질 수 있다. 내고정을 받은 심한 주관절 골절은 hinge-type elbow fixator나 static elbow-spanning fixator 등으로 보강될 수 있으며, 원위 상완골 골절에서 추가적인 고정을 위한 hinged external fixator는 분쇄성 골절이나 골결손 등으로 내고정이 심하게 불안하거나 주관절이 불안정한 경우 효과적이다. Hinge fixator를 사용한 많은 연구자들은 안정성의 회복과 만성 주관절 탈구의 재배치 후 훌륭한 운동을 보고하였으며, 급/만성 주관절 불안정성이나 골절-탈구 후 생긴 불안정성의 치료에도 좋은 결과들이 보고되었다⁴⁾.

(5) **경골 골절**: 개방성 경골 간부 골절은 비관혈 골수강 내 고정술의 일차적 적용이 된다. 그러나 외고정술은 심각한 오염이 있거나 심한 연부조직 손상, 혹은 골절의 양상이 골간단/골간 이행부 혹은 관절 자체로 연장되어 골수강 내 고정술이 어려운 경우에 선택적으로 사용될 수 있다.

단축성 외고정술은 신속한 비관혈 정복을 가능케 하여 수술 시간을 줄이고 출혈량을 줄일 수 있다. 이는 다발성 손상을 받은 환자나 오랜 시간 마취를 하기 어려운 상태의 환자에게 유용하며 간단한 단, 혹은 이중 외고정 바(bar) 시스템은 개별적으로 핀을 고정할 수 있고, 대형 모노튜브(monotube)형 프레임은 핀의 위치는 정해져 있지만 더욱 신속한 설치가 가능하다⁵⁾. 대부분의 모노튜브 본체는 매우 큰 직경을 가져 고정구조 자체의 전단력, 비틀림 및 굽힘 이동 정도를 제한하며 텔레스코핑 메커니즘을 느슨히 하여 축방향 압축력을 얻을 수도 있다. Telescopic body는 축방향으로 동적인 움직임을 허용하는데, 이는 조기의 골막 회복에 긍정적 자극이 된다¹⁾. 외고정기가 골절편 주위를 능동적으로 압축하는 능력을 제공하기 때문에, 분쇄골절로 인한 골절틈과 미량의 골소실은 이 조치를 통하여 회복될 수 있다. 외고정기를 이용한 폐쇄성 경골 골절치료는 평균 4-5개월 안에 회복되며, 이를 촉진하기 위해 대부분의 외고정술 선호자들은 골절부위에 체중전달 효과를 주고 이차적 부골 형성을 도모하기 위해 조기 동적화 혹은 점진적 프레임 해체가 필요하다고 믿는다. 그러나 연구와 임상 결과에서는 수동적 동적화(dynamization)의 장점에 대해 이렇다 할 결과가 나오지는 않았다. 동적화는 골절 후 6-8주 내에 이뤄지는 경우 골유합을 촉진시키는 것처럼 보이며, Kenwright와 Gardner¹³⁾는 능동적 동적화를 한 경우 골유합까지 걸리는 시간이 단축된다고 보고하였다. 하지만 만약 골절부위에 중대한 골결손이 존재한다면, 동적화는 영구적 단축을 초래할 수도 있다. 만약 1.5에서 2 cm 이상의 길이 차이가 난다면 동적화가 시행하여서는 안 된다. 대부분의 외고정기는 골 이동술이 가능하도록 디자인되어 있어 사지 길이와 골 연속성을 회복하는 데 도움이 될 수 있다.

2) 외고정기를 이용한 최소 침습적 관혈적 정복술(Limited open reduction internal fixation with external fixation)

관절 주위 골절에서 외고정 장치의 이용은 최소 침습적 골절 치료의 대표적 예로 관절 골편은 해부학적 정복과 압박 고정을 통한 일차적 골절 치유(primary bone healing)를 얻어야 하며, 정복된 관절 골편과 골간단 또는 골간부와의 연결은 외고정 장치를 이용한 유연성 고정을 통하여 이차적 골유합(secondary bone healing)을 얻을 수 있다. 장관골의 손상은 경피적 고정핀 시술을 통해 가장 잘 치료할 수 있다. 이 방법은 골절부가 장골의 중간부에 있을 때 적용하기 쉬운데, 그 이유는 경피적 고정핀으로 고정하기에 충분한 공간을 골절부위, 그리고 아래에 확보할 수 있기 때문이다. 그러나 많은 고에너지 손상 골절의 경우 경골 골간단부도 침범하게 되는데, 이 부위는 작은 텐션 wire를

사용하여 관통시키는 술식이 이상적이다. 이 방법은 전통적인 경피적 고정핀 술식에 비교했을 때 피질골이 얇은 골간단부에서 더 나은 역학적 안정성과 지속성을 보였다. 장력이 관절주위 wire에 가해지기 때문에, 이 방식은 정복을 유지하기 위해 족관절이나 슬관절을 고정해야 할 수고를 피할 수 있다. 작은 텐션 wire는 만약 필요하다면 제한적인 관혈적 정복술과 병행할 수도 있으며 olive wire는 작은 lag screw를 사용한 효과처럼, 작은 골간단부의 조각들 사이를 ‘장력 압축력 고정(tension compression fixation)’ 해 놓을 수도 있다. 그러므로, smooth wire와 olive wire를 조합하여 골절선에 가해지는 변형력을 중화시키고 골절선에 적절한 압박력을 얻고 또한 유지하는 데 도움을 줄 수 있다. 하이브리드 술식에 비해서, 완전 원형의 프레임을 사용하는 것은 더 나은 적응력을 제공하며, 캔틸레버 굽힘 효과(cantilever bending)와 같은 해로운 역학력이 생기는 것을 막아주는 역할을 한다. 이 유해한 외력들은 주로 고전적인 하이브리드 술식들이 잘못 사용되었을 경우에 생긴다. 전체 링 고정술은 캔틸레버(cantilever) 부하가 더욱 증가될 수 있는 단외측 축 고정술보다 더 선호된다. 특히 근위 경골의 경우에서 하이브리드 프레임 모양은 마치 다이빙 보드와 비슷한 기능을 하게 되고 골간단부와 골간부 간의 접합부에 엄청난 부하를 초래하게 되어 불유합이나 이상유합을 가져올 수 있다. 만일 단외측 고정을 사용하게 된다면, 관절주위 링에 최소한 세 개 이상의 다른 방향을 향하는 연결 바를 부착할 것을 권고한다. 바들은 반드시 최소 270도 이상의 분리를 갖는 방향으로 정렬하여 캔틸레버 부하를 피할 수 있도록 한다. 표준의 ‘하이브리드’ 구조가 갖는 또 하나의 단점은 고정기를 쉽게 동적화할 수가 없다는 점이다²⁴⁾. 원형 또는 하이브리드 관절주위 외고정기를 설치하는 것은 환자를 골절테이블이나 방사선 투과성 테이블 위에서 종골이나 원위 경골에 pin을 고정한 후 견인하는 방식으로 시행할 수 있다. 골간단부 골절편의 인대 신연 정복 이후에 olive wire나 경피적 소골절편 스크류를 사용하여 골간단부 골절편 간의 압축력을 얻을 수 있다. 만약 필요하다면 제한적인 피부절개를 하여 가라앉은 관절의 조각을 들어올려도 되고, 연골하 손실부위에 골이식을 해도 된다. 최소한 세 개 이상의 관절주위 wire가 이러한 손상을 고정하는 데 필요하다고 여겨져 왔으며 대부분의 저자들은 고정력을 극대화하려면 small wire 술식을 사용하여 최대한 많은 수의 wire를 안전하게 삽입할 것을 권고한다²⁵⁾. 관통 wire를 사용하였을 경우에는 원위 족관절이나 근위 경골 관절 낭반사(capsular reflexion)를 피하여 시술 하도록 유의해야 하며, 관절이 매여 있지 않도록 해야 한다. 이는 wire를 관절 밖에 위치시켜서 관절의 이차적인 오염을 막아 슬관절 혹은 족관절 감염을 방지하기 위함이다⁹⁾.

3) 링 고정을 통한 골 이동술(Ring fixator-bone transport)

심한 경골 골간 골절 이후 발생한 급성 골소실의 치료는 복잡한 reconstructive problem이며 많은 술식이 bone stock 재건, 골유합, 안정된 기능적 사지를 얻는 데에 고안되어 왔다. 결손부위에 직접적으로 위치시키던지, 후외측 접근을 통한 Cancellous grafting이 가장 흔한 방법이나 때때로 이러한 기술은 많은 양의 이식골을 필요로 한다. 따라서 Fibular bypass, tibial fibular synostosis, 동측 direct fibular transfer, free vascularized fibular transfer가 이러한 큰 결손부위를 재건하기 위해 사용되어 왔다. Internal bone transport는 골소실을 동반한 급성 경골 골절에서 골재건의 일차적 방법으로 개발되었으며 4 cm 이상의 결손을 재건할 때에 적용이 된다. Bone transport는 bone segment를 이동시키는 데에 intercalary sliding mechanism을 이용한 modified monotube monolateral fixator를 이용하여 행해질 수 있으며, ring fixator 또한 성공적인 intercalary bone transport에 사용될 수 있다. Ring fixator를 이용한 기본적인 transport frame은 4개 또는 5개의 ring으로 구성되어 있으며 안정된 근위부와 원위부 ring은 슬관절, 족관절 level에 위치하게 된다. Docking site가 나란하게 되고, 골유합이 일어나기 위해 충분한 cortical contact이 필요하며 이를 위해 limb에서의 frame의 방향은 중요하다. Intercalary transport component는 transfixion wire나 half pin technique을 이용하여 bone에 부착된다.

연부조직 수복을 위해 유리 피판술이 필요하다면 골이동술은 피판술 후 최소 3주 뒤로 연기되어야 한다. 피판이 사용되지 않았다면 피질골 절골술(corticotomy)과 골이동이

상처 봉합 시 즉시 시행된다. 이 3주의 연기는 뼈의 결손 부위의 피판의 치유를 가능케 하고, 또한 상처 부위에 조기 neovascularization을 가능하게 한다. 또한 이 ‘연기’는 유리 피판 연결부위를 충분히 상피화되게 하며, 이것은 골 이동 과정에서 수반되는 피할 수 없는 장력에 견디게 한다. Schanz pin들을 삽입하는 위치는 transport segment의 원위부에 위치해야 하며, 이것은 transport segment를 밀기 보다 뼈를 docking position으로 당기게 하고, 고정 후에 근위부 또는 원위부 corticotomy를 시행하게 된다. 넓은 부위 상처가 대개 경골 개방골절에 수반되기 때문에, soft tissue compromise 부위를 피하여 corticotomy를 시행하는 것이 좋다. 골이동의 시작 전에 7일에서 10일 정도의 잠복기가 허용된다. Distraction 시작하는 비율은 1일에 0.25-0.5 mm 정도로 서서히 시작한다. 상처의 패턴과 사지의 혈관 분포가 매우 다양하기 때문에 distraction 비율을 천천히 하는 것이 추천된다. 넓은 부위의 수상을 동반한 더 심한 골절에서는 transport가 매우 천천히 이루어져야 하며 대략 corticotomy 후 2-3주에 재생되는 뼈가 확인되어야 한다. Distraction 비율은 그 뒤 재생되는 뼈의 질에 따라 조절될 수 있다. 급성 골절에서의 transport는 더 천천히, 1일에 0.5-0.75 mm에 이르며 표준 사지 늘임을 위한 평균 1일 1 mm와는 다르다. 골이동 거리를 줄이기 위해, 사지는 frame application 시에 줄어들게 할 수 있다. 이런 ‘줄임’은 soft tissue의 장력과 간격을 줄임으로써 soft tissue coverage에도 도움이 된다. ‘급성 줄임’은 경골이나 상완골의 3-4 cm까지의 결함에서 안전하게 시행될 수 있다. 대퇴골 결손에서는 5-7 cm까지 가능하다. 몇몇 상황에서, 이것은 골이동 거리, frame 장착 시간을 줄일 수 있다. 열린 상처

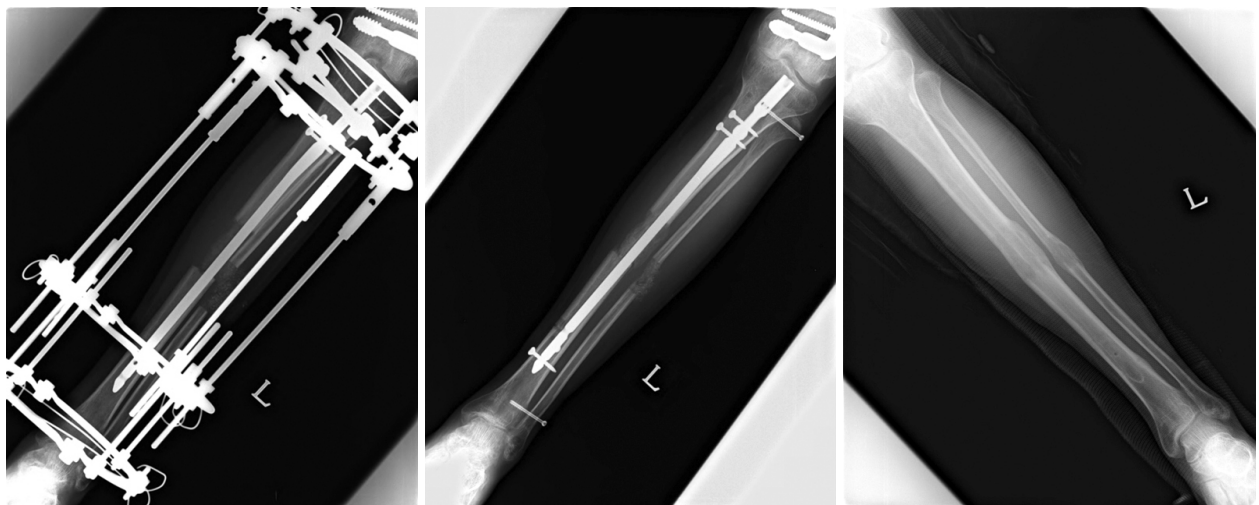


Fig. 3. Tibial lengthening over the nail with Ilizarov device.

에서 장력과 간격을 줄임으로써 연부조직 수복의 도움을 얻는 방식은 진공-도움 폐쇄(vacuum assisted closure)와 함께 결합되어 보다 유용하게 사용될 수 있으며 이 기술로 광범위한 유리 피관술을 피할 수도 있다¹⁶⁾. 그러나, 4 cm 이상의 급격한 단축은 추천되지 않는데, 그 이유는 혈관 신경 요소의 왜곡을 야기하고 이것이 부종을 일으키며, 근육과 인대의 적절한 기능을 방해하기 때문이다²⁾.

골이동술은 믿을만한 기술이지만 이것은 시간을 굉장히 많이 사용하고, 상당한 환자의 순응도를 요한다. 골결손 부위의 상방과 하방에 안정적인 외고정기가 골이동술의 주요 원칙이며, 가장 중요한 점은 골이동 위치에 생물학적으로 안정된 조건을 유지하는 것이다(Fig. 3).

4) Hexapod fixator (Taylor spatial frame)

외고정 장치와 관련된 기구와 기법들이 더욱 정교하고, 세련되어짐에 따라서, 어렵지 않고 단순하면서도 복잡한 변형(deformity)을 동시에 교정할 수 있는 능력을 가진 장치가 더욱 각광을 받고 있다. Taylor spatial frame은 동시에 여섯 가지 축(관상면에서 각 변형/평행이동 변형, 시상면에서 각변형/평행 이동 변형/회전/단축)을 교정할 수 있도록 고안되었다. 이것을 기존의 프레임으로 얻어내려면, 복잡하고 각 개인에 맞춰 고안된 프레임 제작이 요구될 것이다. 또한 고식적 프레임을 통한 프레임 디자인은 각 관절에 평행하게 링이 놓여야 함은 물론, 상하지의 장축과는 수직으로 위치시켜야 한다는 사실 때문에 매우 어렵다. 따라서, 변형의 경우나 골절의 경우에는 매우 어려운 문제에 봉착하게 된다. Hexapod-type frame은 각각의 상하지에 링을 어떠한 방향이든지 상관없이 위치할 수가 있으며, 관절면에 평행해야 하거나 뼈의 장축에 수직으로 놓일 필요도 없다. 이러한 점들을 충족시킬 수 있는 기법이 여섯 개의 축을 이용한 'hexapod' concept에 의하여 대단히 단순화되었다.

Hexapod는 골편(fragment)의 전위(displacement)를 6자유도를 가질 수 있도록 해주는, 6개의 distractor와 12개의 ball joint로 구성된 링 고정 Ilizarov 타입의 디자인이다. 간단한 distractor를 조절해주면, 복잡한 프레임 메커니즘의 도움 없이도 점진적인 3차원적 교정이나 즉각적인 정복이 가능하다¹⁹⁾. 최적의 사용을 위해 컴퓨터 소프트웨어를 이용한다는 것이 독특한 점이며, 링을 장착하고 나면, 변형 지표(deformity parameter)들이 전후면과 측면에서 각각 각 변형과 평행 이동 변형을 측정한다. 회전과 측상 비정렬에 관한 추가적인 정보도 계산된다. 이러한 변형 지표는 프레임 장착 지표에 따라 소프트웨어 프로그램에 적용된다. 프레임 장착 지표는 변형이나 골절 위치에서부터 프레임까지 높이와 같은 기준점을 포함한다. 소프트웨어에 계산에 적

용되는 여섯 개의 지주(strut)에 대한 전반적인 길이는 조정 이 가능하다. 이 프로그램은 교정된 후의 상하지 정렬을 얻기 위해 필요한 최종적인 지주의 길이를 계산한다. 이에 더해서, 집도의가 교정을 예고자 하는 지점까지 매일 점진적인 교정을 통해 필요한 지주의 조절길이까지도 계산이 가능하며 최종적인 정렬은 비슷한 변형과 지주의 지표에 적용되는 같은 소프트웨어에 의해 조절될 수 있다.

지금까지의 문헌적 연구를 고찰해 볼 때, Hexapod 프레임은 복잡한 소아 골절 및 변형에 있어 좋은 성과를 보였다¹⁸⁾. 또한 견고한 비대성 불유합, 감염, 골소실, 하지부동, 그리고 좋지 않은 연부조직 상태 등에서 유용하였다. Hexapod frame의 특별한 점은 상대적으로 단순한 프레임 장착으로도 복잡한 변형을 해결하고, 다리 길이의 부동을 회복할 수 있는 좋은 방법이라는 것이다.

결 론

생체 역학과 생체 재료의 발전으로 핀과 프레임의 많은 개선이 있어 왔고 이에 의해 외고정 장치는 과거보다 더욱 오랫동안 핀의 해리 없이 고정 이 가능하게 되어 그 적응증이 골절의 일시적 고정뿐 아니라 복잡한 외상후 변형 등의 치료까지 확대되었다. 앞으로도 외고정 장치는 비침습적인 방법으로 여러 가지 복잡한 상황에서 골조직을 고정하는데 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

이를 위해서 외상을 치료하는 정형외과 의사는 외고정 장치 치료의 원칙을 잘 이해하고 적용하는 것이 매우 중요 하겠으며, 무엇보다 골절 치료의 원칙을 침해하지 않는 것 역시 매우 중요 하겠다.

참 고 문 헌

- 1) Aro HT, Hein TJ, Chao EY: Mechanical performance of pin clamps in external fixators. Clin Orthop Relat Res, (248): 246-253, 1989.
- 2) Bianchi-Maiocchi A, Aronson J: Operative principles of Ilizarov: fracture treatment, nonunion, osteomyelitis, lengthening, deformity correction. Baltimore, Williams & Wilkins: 1991.
- 3) Blasier RD, Aronson J, Tursky EA: External fixation of pediatric femur fractures. J Pediatr Orthop, 17: 342-346, 1997.
- 4) Brinker MR, O'Connor DP, Crouch CC, Mehlhoff TL, Bennett JB: Ilizarov treatment of infected nonunions of the distal humerus after failure of internal fixation: an outcomes study. J Orthop Trauma, 21: 178-184, 2007.

- 5) **Christian EP, Bosse MJ, Robb G:** Reconstruction of large diaphyseal defects, without free fibular transfer, in Grade-IIIB tibial fractures. *J Bone Joint Surg Am*, **71**: 994-1004, 1989.
- 6) **Dahners LE, Jacobs RR, McKenzie EB, Gilbert JA:** Biomechanical studies of an anterior pelvic external fixation frame intended for control of vertical shear fractures. *South Med J*, **79**: 815-817, 1986.
- 7) **Egol KA, Bazzi J, McLaurin TM, Tejwani NC:** The effect of knee-spanning external fixation on compartment pressures in the leg. *J Orthop Trauma*, **22**: 680-685, 2008.
- 8) **Etter C, Burri C, Claes L, Kinzl L, Raible M:** Treatment by external fixation of open fractures associated with severe soft tissue damage of the leg. Biomechanical principles and clinical experience. *Clin Orthop Relat Res*, **(178)**: 80-88, 1983.
- 9) **Fitzpatrick DC, Foels WS, Pedersen DR, Marsh JL, Saltzman CL, Brown TD:** An articulated ankle external fixation system that can be aligned with the ankle axis. *Iowa Orthop J*, **15**: 197-203, 1995.
- 10) **Green SA:** Complications of external skeletal fixation. *Clin Orthop Relat Res*, **(180)**: 109-116, 1983.
- 11) **Haidukewych GJ, Kumar S, Prpa B:** Placement of half-pins for supra-acetabular external fixation: an anatomic study. *Clin Orthop Relat Res*, **(411)**: 269-273, 2003.
- 12) **Handoll HH, Huntley JS, Madhok R:** Different methods of external fixation for treating distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev*, **(1)**: CD006522, 2008.
- 13) **Kenwright J, Gardner T:** Mechanical influences on tibial fracture healing. *Clin Orthop Relat Res*, **(355 Suppl)**: S179-190, 1998.
- 14) **Mears DC, Rubash HE:** External and internal fixation of the pelvic ring. *Instr Course Lect*, **33**: 144-158, 1984.
- 15) **Menon DK, Dougall TW, Pool RD, Simonis RB:** Augmentative Ilizarov external fixation after failure of diaphyseal union with intramedullary nailing. *J Orthop Trauma*, **16**: 491-497, 2002.
- 16) **Nho SJ, Helfet DL, Rozbruch SR:** Temporary intentional leg shortening and deformation to facilitate wound closure using the Ilizarov/Taylor spatial frame. *J Orthop Trauma*, **20**: 419-424, 2006.
- 17) **Patterson MJ, Cole JD:** Two-staged delayed open reduction and internal fixation of severe pilon fractures. *J Orthop Trauma*, **13**: 85-91, 1999.
- 18) **Rozbruch SR, Pugsley JS, Fragomen AT, Ilizarov S:** Repair of tibial nonunions and bone defects with the Taylor Spatial Frame. *J Orthop Trauma*, **22**: 88-95, 2008.
- 19) **Seide K, Wolter D, Kortmann HR:** Fracture reduction and deformity correction with the hexapod Ilizarov fixator. *Clin Orthop Relat Res*, **(363)**: 186-195, 1999.
- 20) **Sirkin M, Sanders R, DiPasquale T, Herscovici D Jr:** A staged protocol for soft tissue management in the treatment of complex pilon fractures. *J Orthop Trauma*, **13**: 78-84, 1999.
- 21) **Sommers MB, Fitzpatrick DC, Kahn KM, Marsh JL, Bottlang M:** Hinged external fixation of the knee: intrinsic factors influencing passive joint motion. *J Orthop Trauma*, **18**: 163-169, 2004.
- 22) **Watson JT:** High-energy fractures of the tibial plateau. *Orthop Clin North Am*, **25**: 723-752, 1994.
- 23) **Watson JT, Moed BR, Karges DE, Cramer KE:** Pilon fractures. Treatment protocol based on severity of soft tissue injury. *Clin Orthop Relat Res*, **(375)**: 78-90, 2000.
- 24) **Windhagen H, Glöckner R, Bail H, Kolbeck S, Raschke M:** Stiffness characteristics of composite hybrid external fixators. *Clin Orthop Relat Res*, **(405)**: 267-276, 2002.
- 25) **Yildiz C, Ateşalp AS, Demiralp B, Gür E:** High-velocity gunshot wounds of the tibial plafond managed with Ilizarov external fixation: a report of 13 cases. *J Orthop Trauma*, **17**: 421-429, 2003.