

Damage Control and Provisional Fixation

오 형 근

인제대학교 일산백병원 정형외과

서 론

교통 사고 및 산업 재해 등에 대한 사회적인 안전 의식이 높아지고, 다발성 외상 환자의 이송과 전처치의 향상으로 사망률은 감소하였지만, 40세 이하의 젊은 연령에서 외상은 주요 사망 원인으로 알려져 있다¹⁰. 외상 후 초기 사망 원인은 심각한 뇌손상과 과다 출혈로 인한 shock이지만, 다양한 염증성 반응과 동반된 환자의 면역 기전 저하는 후기 사망의 주요 원인으로 알려져 있어 이에 대한 세심한 치료 계획 수립 및 수술 시기를 결정하는 것은 다발성 외상 환자의 생존율을 높이는 데 중요하다. 다발성 외상 환자에서 동반된 대퇴골 골절 및 골반환 손상에 대한 초기의 적절한 치료는 전반적인 환자의 관리에 도움이 되고, 출혈을 조절할 수 있으며, 부가적인 연부 조직의 손상을 최소화하는 많은 장점이 있다. 또한 이차적인 전신 염증 반응을 줄일 수 있으며, 피사가 진행된 조직의 제거와 동통을 감소시켜 초기에 골절 부위를 안정시키는 것은 다발성 외상 환자의 생존율과 밀접한 관계가 있다.

최근까지 다발성 외상 환자에서 동반된 골절의 치료에 대하여 가능한 이른 시기에 모든 골절을 고정하여 환자를 조기 거동시키는 것이 적절한 치료 방법으로 여겨져 왔다.

Bone 등²은 178명의 대퇴골 골절 환자에 대하여 24시간 내에 초기 고정한 군과 48시간 이후에 고정한 군을 비교하면서, 가능한 대퇴골 골절을 초기에 고정하는 것이 호흡기 합병증과 다발성 장기 손상 등에 따른 사망률을 낮추는데 도움이 된다고 하였다.

이러한 Early total care (ETC)의 개념에 따라 대퇴골 골절에 대한 초기 골수강내 금속정 고정술은 환자의 조기 거동, 동통의 감소, 오랜 침상 안정으로 인한 합병증의 예방 면에서 많은 장점들이 있다고 보고된 바 있다³⁶.

하지만 다발성 외상 환자에서 발생하는 전신적인 염증성

반응과 확공성 골수강내 금속정 고정술 후 발생하는 생리적 변화에 대한 이해가 높아지면서^{18,19}, 초기 수상 정도가 심하여 불안정한 활력 증후 및 다발성 손상이 동반된 환자에 대하여는 초기에 장시간의 수술로 인한 합병증을 최소화하기 위한 치료 전략의 필요성이 대두되었다.

Damage control이란 용어는 미군 해군에서 전투 중 파손된 선함을 계속적으로 사용하기 위하여 수리한다는 의미로 사용되어, Rotondo 등³⁰이 복부의 관통상으로 인한 산증 (acidosis), 저체온증 (hypothermia), 응고 장애 (coagulopathy) 등의 위험성을 줄이기 위하여 출혈을 조절한 후 이차적인 복부 수술을 시행하는데서 시작되었다. 정형외과 영역에서의 Damage control orthopedics (DCO)는 다발성 외상 환자에서 동반된 장관골 골절 및 골반환 손상에 대하여 초기에 창상의 처치 및 출혈을 조절하고 골절부는 주로 외고정 기구로 임시적 고정 후 환자의 전신 상태가 호전되면 골절에 대하여 단계적으로 확정 수술을 시행하는 것으로 정의할 수 있다. 이는 Early total care (ETC)의 개념에 따른 장시간의 수술로 인한 추가적인 손상을 최소화하기 위한 것으로 중증 외상 후에 발생하는 신체의 반응 기전에 대한 최근의 다양한 연구 및 치료 결과가 보고되고 있다.

PATHOPHYSIOLOGY OF POLYTRAUMA

다발성 외상 환자에서 신체 주요 장기의 손상, 연부 조직 손상 및 골절을 유발하는 직·간접적인 기계적 외력 ("first hit") 후에 신체에서는 전신적 염증 반응 증후군 (systemic inflammatory response syndrome, SIRS)이 발생하게 되며, 이는 임상적으로 심박수 및 호흡수의 증가, 저체온증, 백혈구 분율의 증가 등으로 나타나게 된다²¹. 이러한 신체 반응에는 cytokine, leukocyte, endothelium 등의 상호 작용이 주된 역할을 하며, 이는 외상 후 나타나는 정

통신저자 : 오 형 근

경기도 고양시 일산서구 대화동 2240
인제대학교 일산백병원 정형외과
Tel : 031-910-7968 • Fax : 031-910-7967
E-mail : osd11@paik.ac.kr

Address reprint requests to : Hyoung Keun Oh, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Inje University, Ilsan Paik Hospital, 2240, Daehwa-dong, Ilsanseo-gu, Goyang 411-706, Korea
Tel : 82-31-910-7968 • Fax : 82-31-910-7967
E-mail : osd11@paik.ac.kr

상적인 반응으로 Counter-regulatory anti-inflammatory response (CARS)와 적절한 조화를 이루면서 외상 후 회복에 이르게 된다. 심각한 외상으로 인한 과도한 염증성 반응은 급성 장기 부전 (multiple organ damage, MOD) 등을 유발할 수 있지만, 염증성 반응에 비해 항 염증 반응의 보상 기전이 과도한 경우에는 신체의 면역력 저하를 초래할 수 있다. 초기 수상 (first hit)으로 인한 전신적 염증 반응이 조절되기 전에 진행되는 패혈증 (sepsis)과 수술적 치료로 유발되는 출혈과 국소적 연부 조직 손상 등은 환자에게 “second hit”으로 작용하여 환자 상태를 악화시킬 수 있으므로, 초기 환자 상태에 대한 면밀한 검토 후 수술 방법 및 수술 시기를 결정하는 것이 중요하다. 외상 후 나타나는 특징적인 생리 변화는 모세 혈관의 투과성 증가로 특히 모세 혈관의 분포가 풍부한 폐 (lung)에서는 폐 부종 등이 나타나 초기에 단순 방사선 사진상 관찰되는 경우 외상 및 염증성 반응의 정도를 판단하는 데 도움이 된다.

최근에는 외상 후 발현되는 염증성 반응의 정도와 예후를 예측하기 위하여 다양한 생화학적 검사에 대한 연구가 시행되고 있다. Hoch 등²⁰⁾은 injury severity score가 25 이상인 환자에서 IL-6, IL-8의 혈중 농도가 상승함을 보고한 바 있으며, Pape 등²⁷⁾은 IL-6의 농도와 외상의 정도가 상관 관계가 있고 전신적 염증 반응의 정도와 예후를 예측하는데 도움이 된다고 하였다. Mackawa 등²⁴⁾은 CD11b의 상승이 120시간 이상 지속되는 경우 다발성 장기 손상의 위험도가 높다고 보고하였다. 염기 (base)의 결핍과 혈중 lactate의 농도가 2.5 mmol/l 이상인 경우는 조직의 산소 분압이 낮다는 것을 의미하는 것으로, Crowl 등⁹⁾은 환자 상태가 주요 수술을 시행할 수 있는 상태인지를 결정하는데 유용하다고 하였으며, lactate 농도가 2.5 mmol/l 이상인 경우 대퇴골 골절에 대하여 24시간 이내에 골수강내 고정술을 시행하면 수술 후 합병증이 2배 이상 증가됨을 보고한 바 있다. Giannoudis 등¹⁶⁾도 확공의 유무와는 상관 없이 골수강내 고정술을 시행하면 4시간 이후에 염증성 반응 표지자의 상승을 보고한 바 있어, 수상 직후 시행하는 주요 수술은 환자에게 “second hit”으로 작용하여 전신적 염증성 반응 증후군 (SIRS)을 악화시킬 수 있으므로 주의가 요구된다. 이러한 염증성 반응의 매개체인 생화학적 표지자는 수상의 정도, 전신 염증성 반응이 심할수록 수치의 상승을 보이며, 환자의 예후와 밀접한 관계가 있다. 하지만 외상 이후 immunoglobulin과 interferon의 생성이 저하되는 면역 기능 억제로 감염과 패혈증의 위험성이 높아진다는 보고도 있어¹¹⁾, 이러한 생화학적 표지자에 대한 연구가 진행되어 고위험군의 환자를 술 전에 선별할 수 있다면 향후 치료 계획을 수립하는데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

PATIENT SELECTION FOR DAMAGE CONTROL ORTHOPEDICS

다발성 외상 환자에 대한 생화학적 표지자에 대한 많은 연구가 진행되었지만, 실제 임상에서의 적용이 어려워 Early total care와 Damage control orthopedics를 선택하는 것은 환자의 임상적 상태와 외상의 복잡성에 의존하여 결정하여야 한다. 다발성 외상 환자의 외상 정도를 평가하기 위하여 injury severity score, abbreviated injurt scale, Glasgow coma scale 등 다양한 방법이 사용되어 왔지만⁷⁾, Bosse 등³⁾은 초기 소생기에 치료 방법을 결정하는데 도움이 되는 scoring system은 없다고 한 바 있어, 이외에도 다양한 임상 지표를 추가하여 환자 상태를 판단하는 것이 중요하다. 일반적으로 다발성 외상과 동반된 대퇴골 골절, 혈액학적으로 불안정한 골반환 손상, 고령 환자에서의 다발성 외상에 대해서는 Damage control orthopedics의 임상적 적응증이 된다. 2002년에 Pape 등²⁷⁾은 근골격계 손상을 동반한 다발성 외상 환자에 대하여 안정성 (stable), 경계성 (borderline), 불안정성 (unstable), 임종 직전 (in extremis)의 환자군으로 분류한 바 있으며, 안정성 환자에 대하여는 일반적 치료 원칙이 적용되지만, 불안정성 및 임종 직전의 환자군에 대하여는 Damage control orthopedics의 적용이 필요하다고 하였다^{25~27)}.

경계성 (borderline) 환자군은 향후 상태가 악화될 수 있는 환자로 흉부 외상이 중요한 역할을 한다고 하였으며, ① 흉부 외상 없이 injury severity score가 40 이상인 다발성 외상 환자, ② injury severity score가 20 이하이면서도 흉부 외상이 동반된 환자, ③ 복부 외상이 동반된 다발성 외상 환자, ④ 단순 방사선 사진상 양측성 폐 침윤이 관찰되는 경우, ⑤ 초기 폐 동맥 분압이 24 mmHg 이상인 경우 등에서는 Damage control orthopedics를 시행한다고 하였다.

경계성 (borderline) 환자군을 시사하는 임상 소견과 더불어 예후에 영향을 미치는 요소에 대하여도 언급하였는데, 혈액 응고 장애 (platelet <90,000), 저체온증 (<32°C), 다량 수혈이 필요한 shock 상태, 장관골의 다발성 골절과 동반되어 흉부 외상이 있는 경우, 초기 수술 시간이 6시간 이상이 예상되는 경우 등에서는 치료 방법을 결정하는데 중요한 요소라고 하였다 (Table 1). Damage control orthopedics의 적용 시 장관골 골절에 대한 치료 방법으로는 견인, 외고정, 골수강내 금속정, 압박 금속판 등 다양한 내고정물의 선택이 가능하지만 주로 외고정 기구를 이용한 골절부의 임시적 외고정 후 환자 상태가 안정된 경우 내고정으로의 전환이 추천된다. Damage control orthopedics로 치료하는 환자군을 선택하는 것도 중요하지만, 이차적인

Table 1. Parameters to consider when deciding to implement damage control orthopedic protocol²⁶⁾

Polytrauma with injury severity score of >20 points an additional thoracic trauma
Polytrauma with abdominal and pelvic injuries and hemorrhagic shock (BP<90 mmHg)
Injury severity score of >40 points without additional thoracic trauma
Initial pulmonary artery pressure of >24 mmHg
Increased pulmonary artery pressure of >6 mmHg during intramedullary nail
Difficult resuscitation
Platelet count <90,000/ μ l
Hypothermia (<35°C)
Transfusion of >10 units of blood
Bilateral lung contusion on initial chest radiograph
Multiple long bone fractures and truncal injury
Prolonged duration of anticipated surgery (>90 min)

수술로의 전환 시기를 결정하는 것 또한 중요하다. 초기 수상 후 4일까지는 면역 반응이 안정화되지 않아 확정적 수술 (definite surgery)을 시행하는데 안전하지 않으며, 수 상일로 6~8일 경에 수술을 시행하는 경우에 비하여 술 후 염증성 반응의 악화가 관찰된 바 있어 적절한 이차 수술 시기와 방법을 결정하는 임상적 지표에 대한 관찰이 필요하다.

간단한 방법으로 체액의 균형 상태로 판단할 수 있지만, Giannoudis 등¹⁶⁾과 Tschernie 등³³⁾이 활력 증후, 혈액학적 상태 및 다양한 임상 지표를 토대로 환자의 회복 시기를 판단하는 지침을 제시한 바 있어 임상적 적용이 가능하다 (Table 2).

PRACTICAL CONSIDERATIONS FOR DAMAGE CONTROL ORTHOPEDICS

1. Femoral fractures

다발성 외상 환자에서 동반된 대퇴골 골절에서 골수강내 금속정 고정술은 “second hit”의 위험성뿐만 아니라 골수강내의 확공으로 인한 전신의 염증성 반응의 악화와 폐색전증의 위험성을 높여 폐기능을 악화시킬 수 있으므로 주의가 요구된다.

Pape 등²⁶⁾은 흉부 외상에 동반된 대퇴골 골절 환자 (abbreviated injury scale >2)에서 골수강내 금속정 고정술 후 전신 상태의 악화 위험성이 높다고 하였고, Copeland 등⁹⁾은 다발성 외상 환자에서 양측성 대퇴골 골절이 동반된 경우 사망률의 증가와 급성 호흡 부전 (ARDS)의 위험성이

Table 2. End points for damage control resuscitation³³⁾

No increasing infiltrate on chest radiograph
Balanced or negative fluid balance
PaO ₂ /FiO ₂ of >250
Pulmonary artery pressure of 24 < mmHg
Platelet count >95,000/ μ l
Maximal inspiratory airway pressure of <35 mmHg
White blood cell count of < 12,000/ μ l
intracranial pressure of <15 cm H ₂ O

높다고 보고한 바 있다. 따라서 이러한 경우 대퇴골 골절에 대한 외고정술은 출혈량이 적으며, 수술 시간을 단축할 수 있고 비교적 사용이 용이하여 다발성 외상 환자에 대한 Damage control orthopedic를 시행할 경우 초기 고정 방법으로 선호되고 있다 (Fig. 1).

주로 단순 핀 고정 기구를 이용하여 대퇴부의 전외측부에 고정하면 주요 구조물을 피할 수 있고, 수술 시간을 줄이기 위하여 self-drilling pin의 사용이 권장되기도 한다.

외고정 기구의 제품마다 다양한 특성이 있지만 snap-and-click clamp의 사용이 비교적 용이하게 골절부의 조정이 가능하며, 이후 수술을 고려하여 향후 피부 절개를 고려한 핀 삽입 위치를 결정하는 것이 중요하다. 수상 후 24 시간 이내에 외고정을 시행하는 것이 환자의 전신 상태를 관리하는 데 용이하며, 동통을 줄일 수 있고 추가적인 연부 조직의 손상을 최소화할 수 있어 다발성 외상 환자에서 대퇴골 골절에 대한 조기 외고정이 권장되고 있다.

이차적인 내고정술로의 전환은 주로 골수강내 금속정 고정술이 선호되고 있으며, 많은 저자들에 의해 임상적, 방사선적으로 좋은 결과들이 보고되고 있지만, 핀 삽입부 문제에 의한 감염의 위험성에 대한 고려가 필요하다. Tuttle 등³⁵⁾의 최근 보고에 의하면 일차적으로 골수강내 금속정 고정술을 시행한 경우와 비교하여 감염의 위험성이 높지 않다고 하였으며²⁸⁾, 외고정 기간을 2주 이내로 줄이는 것으로 감염의 위험성을 감소시킬 수 있다.

PELVIC RING INJURIES

고에너지 손상으로 인한 불안정성 골반환 손상에서 과다출혈로 인해 활력 증후가 불안정한 경우 사망률이 40% 이상으로 보고되고 있으며⁸⁾, 다른 신체 부위의 손상이 동반된 경우가 많아 여러 임상과의 종합적인 접근이 필요하다. 불안정성 골반환 손상에서 주요 출혈 부위로는 골절부, 후방 골반 정맥 총 (venous plexus), 장골 동맥의 분지 등이며, 주로 후방 골반환 손상이 동반된 경우 출혈량이 증가하지만¹⁷⁾, 전후방 단순 골반 사진에서 후방 골반환 손상을

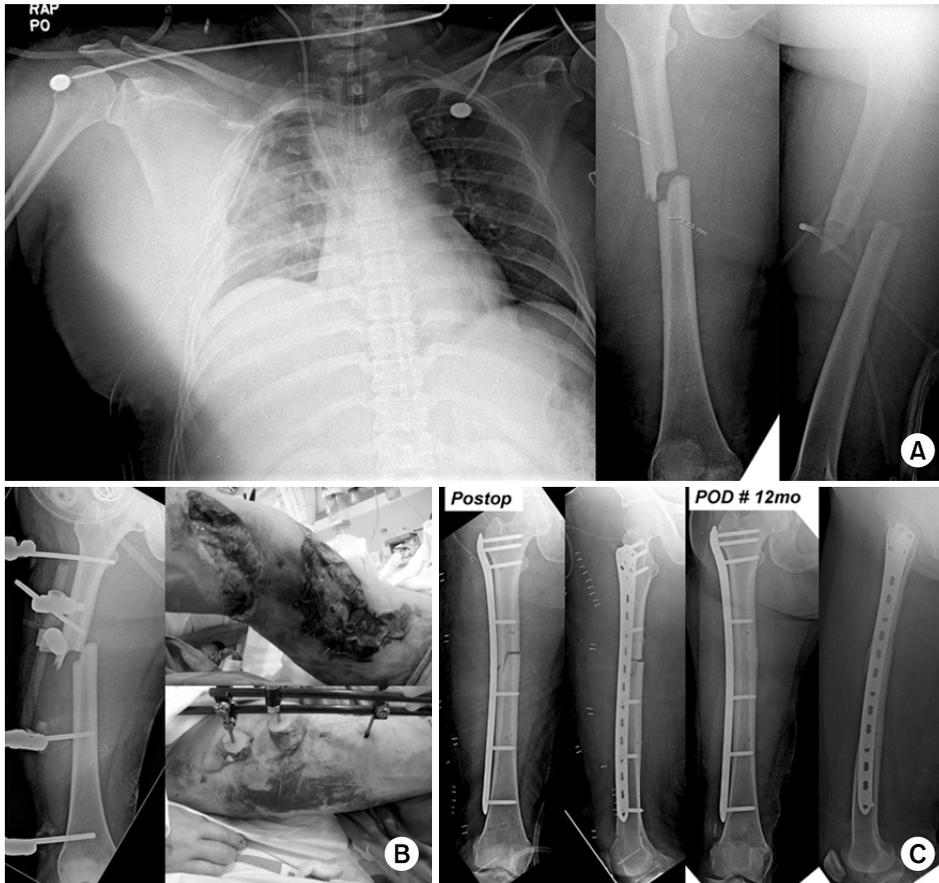


Fig. 1. (A) 49 years old female was sustained right femoral shaft fracture with trural injury. (B) Provisional fixation using external fixation was performed until patient's condition was optimized. (C) Conversion to internal fixation using plate was performed and solid union was obtained.

발견하지 못하는 경우가 20% 이상으로 보고된 바 있어 세심한 관찰이 필요하다^{31,32}.

내원 당시 hematocrit의 수치가 30% 이하인 경우 골반골에서의 다량의 출혈을 예측하고 즉각적인 수액 요법 등의 응급 처치와 더불어 동반된 흉부 및 복부 손상 유무에 대한 확인이 필요하다. 다량의 출혈이 동반된 전후방 압박형의 골반환 손상에서 초기에 손쉽게 사용 가능한 방법으로 포(sheet)를 이용하여 장골능과 대전자 부위를 둘러싸는 방법¹²과 상용화된 pelvic binder 등³²의 사용이 보고된 바 있다.

외고정 기구의 사용은 불안정성 골반환 손상의 임시적 고정 방법으로 많이 사용되고 있으며^{14,15}, 특히 복부 장기 및 방광 손상이 동반된 경우 유용하다. 외고정의 사용은 open-book 손상에서 골반 용량을 줄여 tamponade 효과로 출혈을 감소시킨다고 알려져 있지만, 후복막의 손상이 있는 경우 효과가 적어진다고 보고된 바 있어 골절부의 직접 압박과 움직임을 감소시켜 지혈을 돕는다고 보고되고 있다^{14,15}. 외고정 시 핀 삽입부는 주로 장골능에 각 2개의 핀을 사용하게 되며, 향후 복부에 대한 접근이 가능하도록 조작하는 것이 필요하다.

전하 장골 돌기(AIIS) 위치에서 상 비구 부위(supra-acetabular region)로의 핀 고정이 장골능에서의 고정보다 생역학적으로 우수하다는 보고도 있지만, 생존율을 높인다는 보고는 없다^{13,19,29}.

핀 고정을 이용한 외고정은 불안정성 골반환 손상에서 임시적 고정으로 유용하지만, B형 및 C형 골반환 손상에서는 후기 전위의 위험성이 높은 것으로 보고되고 있어^{4,23}, 향후 환자 상태가 안정된 후 견고한 내고정으로의 전환이 필요하다^{22,34} (Fig. 2).

C-clamp는 주요 출혈 부위인 후방 골반환에 대한 직접적인 압박이 가능하여 응급 상황에서 유용하지만³², 이차적인 신경 및 혈관 손상의 위험성이 있으며, crescent 골절 등과 같이 장골에 골절이 동반된 경우 사용의 제한이 있다¹².

이러한 다양한 노력에도 불구하고 혈액학적으로 불안정한 경우 동맥 출혈 부위에 대한 혈관 조영술 후 색전술이 시도되어지고 있다¹⁵. 하지만 숙련된 방사선과 의사가 필요하며, 시행하기까지 많은 시간이 소요되는 단점이 있어, Agolini 등¹은 수상 후 3시간 이상 지연되는 경우 사망률이 5배 이상 증가하고 평균 90분 이상의 시간이 소요된다고 하였다. Cook 등⁵은 혈관 조영술 전에 외고정을 시행

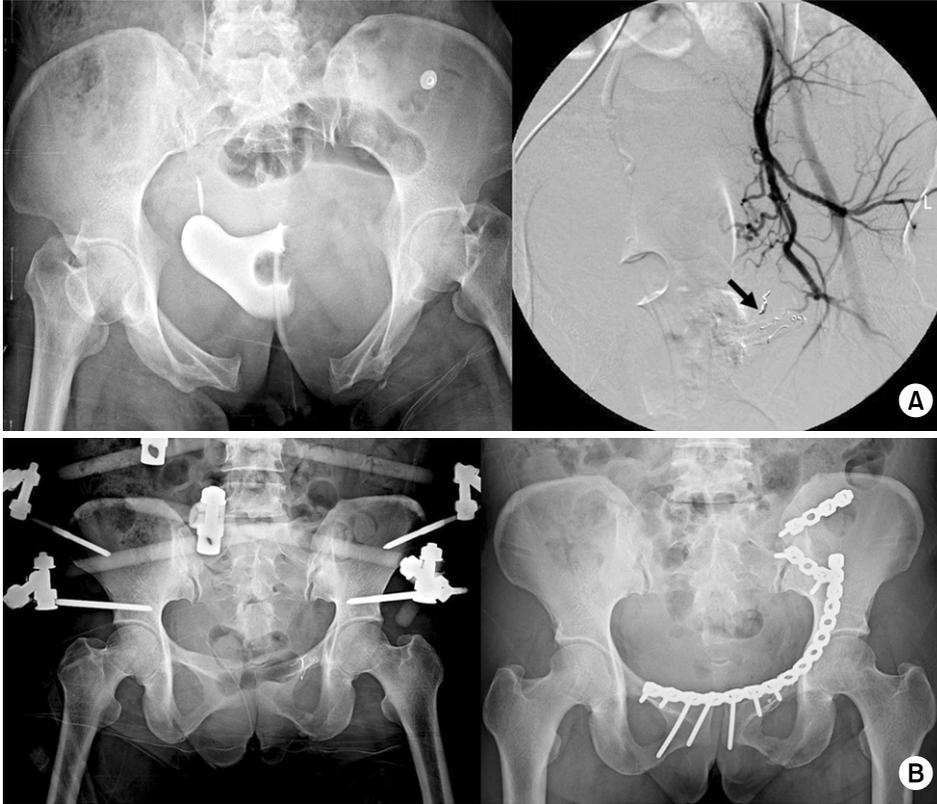


Fig. 2. (A) 43 years old female was sustained from hemodynamically unstable pelvic ring injury. Angiography and embolization was performed as primary treatment for hemorrhage control (arrow).

(B) Pelvic external fixation was carried out for provisional fixation of unstable pelvic ring injury. After patient's condition was optimized, conversion to internal fixation was performed.

하는 것이 중요하다고 하였으며, 시술이 성공한 경우에도 50% 이상의 사망률이 보고되고 있고, 다른 신체 부위의 손상이 동반된 경우 시행에 제한이 있다. 다발성 외상 환자에서 동반된 골반환 손상에서 다량의 출혈로 인한 조기 사망을 감소시키기 위한 종합적인 접근이 필요하며, pelvic binder, 외고정, C-clamp, 혈관 조영술 등 다양한 노력이 요구된다. 불안정성 골반환에 대한 임시적 외고정은 골절 부를 안정 시켜 출혈을 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 향후 내고정으로의 전환도 용이하다는 장점이 있지만, 정확한 핀 삽입 위치 선정 등 세심한 주의가 필요하다.

결 론

최근 심한 다발성 손상으로 다발성 장기 손상의 위험성이 높은 환자에 대한 Damage control orthopedics로 수술 과정으로 인한 이차적인 손상을 줄이기 위한 노력이 시도되고 있다. 다발성 외상 환자에 동반된 골절에 대한 조기의 견고한 내고정이 추가적인 연부 조직 손상을 줄일 수 있고 조기 거동을 허용할 수 있는 장점이 있지만, 수술적 치료 과정이 환자의 전신 상태에 미치는 영향에 대한 충분한 고려가 필요하다. Damage control orthopedics는 고위험군에 대한 단계적 수술로 환자의 생명을 살리는 포괄적

인 개념으로 다양한 생화학적 검사 및 임상 소견으로 실제 임상에서 적절한 환자의 선택 과정이 중요하다. 대퇴골 등의 장관골 골절 및 불안정성 골반환 손상에서 임시적 외고정은 수술 시간이 짧고 출혈량이 적어 Damage control orthopedics의 적용 시 선호되는 방법이지만, 내고정으로 적절한 전환 시기 및 내고정물의 선택에 대한 보다 많은 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) Agolini SF, Shah K, Jaffe J, Newcomb J, Rhodes M, Reed JF 3rd: Arterial embolization is a rapid and effective technique for controlling pelvic fracture hemorrhage. *J Trauma*, **43**: 395-399, 2005.
- 2) Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R: Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg Am*, **71**: 336-340, 1989.
- 3) Bosse MJ, MacKenzie EJ, Riemer BL, et al: Adult respiratory distress syndrome, pneumonia, and mortality following thoracic injury and a femoral fracture treated either with intramedullary nailing with reaming or with a plate.

- A comparative study. *J Bone Joint Surg Am*, **79**: 799-809, 1997.
- 4) **Chang JD, Seo YJ, Choi YH**: Problems of anterior external fixation in unstable pelvic ring injury. *J Korean Fracture Soc*, **18**: 394-398, 2005.
 - 5) **Cook RE, Keating JF, Gillespie I**: The role of angiography in the management of haemorrhage from major fractures of the pelvis. *J Bone Joint Surg Br*, **84**: 178-182, 2002.
 - 6) **Copeland CE, Mitchell KA, Brumback RJ, Gens DR, Burgess AR**: Mortality in patients with bilateral femoral fractures. *J Orthop Trauma*, **12**: 315-319, 1998.
 - 7) **Copes WS, Champion HR, Sacco WJ, Lawnick MM, Keast SL, Bain LW**: The Injury Severity Score revisited. *J Trauma*, **28**: 69-77, 1988.
 - 8) **Cothren CC, Osborn PM, Moore EE, Morgan SJ, Johnson JL, Smith WR**: Preperitoneal pelvic packing for hemodynamically unstable pelvic fractures: a paradigm shift. *J Trauma*, **62**: 834-839, 2007.
 - 9) **Crowl AC, Young JS, Kahler DM, Claridge JA, Chrzanowski DS, Pomphrey M**: Occult hypoperfusion is associated with increased morbidity in patients undergoing early femur fracture fixation. *J Trauma*, **48**: 260-267, 2000.
 - 10) **Demetriades D, Murray J, Charalambides K, et al**: Trauma fatalities: time and location of hospital deaths. *J Am Coll Surg*, **198**: 20-26, 2004.
 - 11) **Ertel W, Keel M, Bonaccio M, et al**: Release of anti-inflammatory mediators after mechanical trauma correlates with severity of injury and clinical outcome. *J Trauma*, **39**: 879-887, 1995.
 - 12) **Ganz R, Krushell RJ, Jakob RP, Küffer J**: The anti-shock pelvic clamp. *Clin Orthop Relat Res*, **267**: 71-78, 1991.
 - 13) **Gardner MJ, Nork SE**: Stabilization of unstable pelvic fractures with supraacetabular compression external fixation. *J Orthop Trauma*, **21**: 269-273, 2007.
 - 14) **Ghaemmaghami V, Sperry J, Gunst M, et al**: Effects of early use of external pelvic compression on transfusion requirements and mortality in pelvic fractures. *Am J Surg*, **194**: 720-723, 2007.
 - 15) **Giannoudis PV, Pape HC**: Damage control orthopaedics in unstable pelvic ring injuries. *Injury*, **35**: 671-677, 2004.
 - 16) **Giannoudis PV, Smith RM, Bellamy MC, Morrison JF, Dickson RA, Guillou PJ**: Stimulatuon of the inflammatory system by reamed and unreamed nailing of femoral fractures. An analysis of the second hit. *J Bone Joint Surg Br*, **81**: 356-361, 1999.
 - 17) **Hamill J, Holden A, Paice R, Hamill J**: Pelvic fracture pattern predicts pelvic arterial haemorrhage. *Aust N Z J Surg*, **70**: 338-343, 2000.
 - 18) **Harwood PJ, Giannoudis PV, van Griensven M, Krettek C, Pape HC**: Alterations in the systemic inflammatory response after early total care and damage control procedures for femoral shaft fracture in severely injured patients. *J Trauma*, **58**: 446-452, 2005.
 - 19) **Hildebrand F, Giannoudis P, van Griensven M, et al**: Secondary effects of femoral instrumentation on pulmonary physiology in a standardised sheep model: what is the effect of lung contusion and reaming? *Injury*, **36**: 544-555, 2005.
 - 20) **Hoch RC, Rodriguez R, Manning T, et al**: Effects of accidental trauma on cytokine and endotoxin production. *Crit Care Med*, **21**: 839-845, 1993.
 - 21) **Keel M, Trentz O**: Pathophysiology of polytrauma. *Injury*, **36**: 691-709, 2005.
 - 22) **Kim HS, Oh CW, Kim PT, et al**: Crescent fracture-dislocation of sacroiliac joint: affecting factors of operative results. *J Korean Fracture Soc*, **22**: 71-78, 2009.
 - 23) **Lindahl J, Hirvensalo E, Böstman O, Santavirta S**: Failure of reduction with an external fixator in the management of injuries of the pelvic ring. Long-term evaluation of 110 patients. *J Bone Joint Surg Br*, **81**: 955-962, 1999.
 - 24) **Mackawa K, Futami S, Nishida M, et al**: Effects of trauma and sepsis on soluble L-selectin and cell surface expression of L-selectin and CD11b. *J Trauma*, **44**: 460-468, 1998.
 - 25) **Pape H, Stalp M, v Griensven M, Weinberg A, Dahlweit M, Tscherne H**: Optimal timing for secondary surgery in polytrauma patients: an evaluation of 4,314 serious-injury cases. *Chirurg*, **70**: 1287-1293, 1999.
 - 26) **Pape HC, Giannoudis PV, Krettek C, Trentz O**: Timing of fixation of major fractures in blunt polytrauma: role of conventional indicators in clinical decision making. *J Orthop Trauma*, **19**: 551-562, 2005.
 - 27) **Pape HC, Hildebrand F, Pertschy S, et al**: Changes in the management of femoral shaft fractures in polytrauma patients: from early total care to damage control orthopedic surgery. *J Trauma*, **53**: 452-462, 2002.

- 28) **Parameswaran AD, Roberts CS, Seligson D, Voor M:** Pin tract infection with contemporary external fixation: how much of a problem? *J Orthop Trauma*, **17:** 503-507, 2003.
- 29) **Poelstra KA, Kahler DM:** Supra-acetabular placement of external fixator pins: a safe and expedient method of providing the injured pelvis with stability. *Am J Orthop*, **34:** 148-151, 2005.
- 30) **Rotondo MF, Schwab CW, McGonigal MD, et al:** 'Damage control': an approach for improved survival in exsanguinating penetrating abdominal injury. *J Trauma*, **35:** 375-383, 1993.
- 31) **Simpson T, Krieg JC, Heuer F, Bottlang M:** Stabilization of pelvic ring disruptions with a circumferential sheet. *J Trauma*, **52:** 158-161, 2002.
- 32) **Tscherne H, Pohlemann T, Gänsslen A, Hüfner T, Pape HC:** Crush injuries of the pelvis. *Eur J Surg*, **166:** 276-282, 2001.
- 33) **Tscherne H, Regel G, Pape HC, Pohlemann T, Krettek C:** Internal fixation of multiple fractures in patients with polytrauma. *Clin Orthop Relat Res*, **347:** 62-78, 1998.
- 34) **Tucker MC, Nork SE, Simonian PT, Routt ML Jr.:** Simple anterior pelvic external fixation. *J Trauma*, **49:** 989-994, 2000.
- 35) **Tuttle MS, Smith WR, Williams AE, et al:** Safety and efficacy of damage control external fixation versus early definitive stabilization for femoral shaft fractures in the multiple-injured patient. *J Trauma*, **67:** 602-605, 2009.
- 36) **Van Os JP, Roumen RMH, Schoots FJ, Heystraten FM, Goris RJ:** Is early osteosynthesis safe in multiple trauma patients with severe thoracic trauma and pulmonary contusion. *J Trauma*, **36:** 495-498, 1994.