



총상의 조직 손상 기전과 처치의 기본원칙

이 재 혁* | 국군의무사령부 수도병원 흉부외과

Mechanisms of injury and treatment principles of gunshot wounds

Chae Hyuk Lee*

Department of Thoracic Surgery, Armed Forces Capital Hospital, Medical Corps, Republic of Korea Army, Seongnam, Korea

*Corresponding author: Chae Hyuk Lee, E-mail: gustie@hotmail.com

Received April 8, 2012 · Accepted April 21, 2012

Gunshot wounds have been an important source of injury for centuries and continue to occur. The military medical communities have developed standard procedural sequences and principles that may assist and serve as references to the care of civilian gunshot wound patients. In addition to the basic understanding of the wounding patterns and potential extent of the damage caused by the ballistic characteristics of the missile, three principles need to be emphasized in the course of the treatment: timely debridement, delivery of antibiotics, and delayed closure of the wound. Despite recent innovations and improvements in medicine, the three principles still stand, and may assist even surgeons with minimal experience in treating gunshot wounds to achieve reliable results. The situation and environment of civilian medical facilities differ from those of the military in war time, and less invasive and more conservative methods may be attempted in accordance with available resources.

Keywords: Gun-shot wound; Ballistics; Bullet; Debridement

서 론

국내에서 총기에 의한 환자가 다수 발생하지는 않으며, 따라서 총기에 의한 손상 처치 경험이 축적되기는 어렵다. 그러나 실제 총상이 발생하는 경우, 해당 환자가 경험이 있는 소수 의사들에 의해 즉각적인 치료를 받게 될 확률은 매우 낮다. 따라서 총상 환자 발생 시 처음 접하게 되는 모든 응급 및 외상 담당의는 적절한 처치 능력을 요구 받는다. 하지만 총기 소지가 비교적 자유로운 미국 등의 국가에서도 기본 처치 체계에는 대체적으로 공감대가 형성되었으나, 탄도학적 측면에 대

한 이해와 이에 따른 창상의 양상에 대한 고려는 아직 표준화 되었다고 보기에는 어렵다[1]. 총기에 의한 손상은 중세에서 부터 있었지만, 앞으로 무기 체계의 큰 변화가 없는 한 상당 기간 발생이 지속될 전망이다. 군사의학적 측면을 살펴보면, 실제로 2차 세계대전까지만 해도 군사 작전 간 발생하는 주된 사상자는 총기가 아니라, 폭발물, 특히 박격포 파편에 의한 경우가 가장 많은 부분을 차지하였다. 그러나 최근 이라크 및 아프가니스탄 등에서 볼 수 있듯이 군사 작전 환경의 변화 하고, 정규 전선의 구분이 모호해지는 현상이 과거에 비해 현저해지고 있으며, 원거리 저격과 소규모 전투, 비정규 게릴라

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

전 등의 빈발 등에 의해 총상이 지속적으로 발생하고 있다.

총상에 대한 처치에 있어 일반 민간 환자와 군사적 상황에서 발생하는 경우 간에는 총기에 따른 조직 손상 유형의 차이뿐 아니라, 총상을 입는 환경과 상황에 따른 처치 역량 등에 의한 방법 차이 등이 나타난다. 본 논의는 총상이 특징적인 손상을 일으키는 근거가 되는 탄도학의 기본과 군사의 학 측면에서 보편적으로 사용되는 총기류를 중심으로 처치 방법을 개괄적으로 소개한다.

유사시 군에서는 전공에 관계 없이 최초 진찰하게 되는 군의관이 초기 처치를 담당하게 되므로 이에 필요한 지식과 술기를 갖추 것을 요구할 수 있지만, 그 외 일반 민간 환자의 경우에도 환자 발생 시 외상 전문의가 처치의 기본 원리, 원칙과 표준 절차에 대하여 이해하며, 총상과 관련된 다수의 오해를 해소하고, 최초 처치에 임한다면 안전하고 바람직한 치료 결과를 이루는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단한다.

먼저 기본 개념과 용어에 대한 정리가 필요한데, 본 논의에서는 ballistics는 탄도학, small arms는 개인화기, bullet은 탄두, missile은 발사체로 정의하고, 발사체로 인한 손상과 관련해서는 총탄이 조직을 뚫고 진행되는 penetration은 관통으로, 관통하여 해당 조직을 이탈하는 perforation을 천공으로 정의한다[2].

탄도학

탄도학은 탄두/탄환의 움직임을 일컫는다. 일반적으로 총기를 빠져 나오기 전, 즉 총기 내에서의 탄두의 움직임을 일차 또는 내부 탄도학으로 구분하며, 일단 총구를 벗어나 비행 간 움직임을 이차 또는 외부, 그리고 목표물의 조직에 맞아 상호간에 일어나는 작용을 삼차, 최종(terminal) 또는 창상(wound) 탄도학으로 분류한다[3].

의학적 측면에서 주된 관심사가 되는 창상 탄도학, 즉 발사체와 사람이 목표물인 경우, 해당 인체 조직 간의 상호 작용의 결과는 다양한 요소에 의해 영향을 받게 되므로 동일한 총기와 총탄이 사용된 경우라 하더라도 결과적으로 발생하는 조직 손상 양상은 다양하게 나타나고, 따라서 정확한 창상 양상에 대한 예측이 어렵게 된다. 총탄을 포함한 모든 발

사체의 경우, 인체에 접촉해서 발생하는 창상의 양상과 심각성은 결국 기본적으로 해당 발사체가 얼마나 큰 운동 에너지를 지니고 접촉했는가와 그 에너지 중 얼마나 조직에 전달하는가에 의해 결정된다. 운동 에너지가 크고, 그 에너지의 많은 부분을 조직에 전달할수록 손상이 커진다. 극단적인 예로, 아무리 큰 운동 에너지를 지니고 인체에 맞았다 하더라도 체내에서 일정한 탄도를 유지하면서 조직으로의 에너지 전달이 최소로 유지하며 빠져 나간다면, 조직 손상은 크지 않게 되어 비효율적이며, 현실적으로도 빠져나간 탄두에 의한 이차적인 문제(탄도 상에 위치한 다른 사물에 손상을 가할 가능성)가 상존한다. 발사체가 지닌 운동 에너지(kinetic energy, KE)는 다음 공식으로 표현된다.

$$KE = 1/2 \times (\text{발사체 질량}) \times (\text{타격 속도})^2$$

위 공식에 따라서, 발사체(총기의 경우, 탄두)의 질량을 2배로 증가시키면 운동 에너지는 2배로 증가하게 되지만, 탄두의 속도를 2배로 증가시키는 경우 에너지는 4배가 된다. 이 논리는 최근 수십 년간 총기 설계에서 탄두의 무게를 줄이고 그 대신 속도를 증가시켜 탄두의 운동 에너지는 유지하는 근거로 사용되어왔다. 탄두의 무게를 줄이면 병사 일인 당 탄약 휴대량을 늘릴 수 있어 전투 중에 유리해 진다. 실제로 구 공산권에서 널리 사용하던 AK-47 자동 소총의 경우, 구경 7.62 mm, 탄두 무게 8 g으로, M-16 및 우리나라 제식화기인 K-2에서 사용하는 구경 5.56 mm, 탄두 무게 4 g의 소총탄에 비해 두 배 더 무겁다.

총기의 경우 탄두가 총신을 벗어나는 순간, 즉 총에서 발사되는 순간의 탄두 속도(총구 속도)를 기준으로 760 m/sec (2,500 ft/sec) 이상이면 고속 탄환으로 분류하며, 이에 따라 엽총 및 권총을 포함하는 대부분의 민수용 화기는 저속 탄환을 발사한다. 그러나 고속 탄환이 저속 탄환에 비해 더 큰 조직 손상을 유발한다는 일반적인 관념은 모든 경우에 적용되는 것은 아니다. 총탄의 속도는 위 공식에서 언급했듯 손상 정도와 유형을 결정하는 하나의 요소에 불과하며 절대적인 기준으로 작용하지는 않는다.

탄두가 목표물을 타격하는 순간 탄두의 방향과 타격력(조직 손상 능력)에 영향을 미치는 요도 중 하나인 탄도 계수(ballistic coefficient)는 공기 저항을 극복하는 능력을 나타

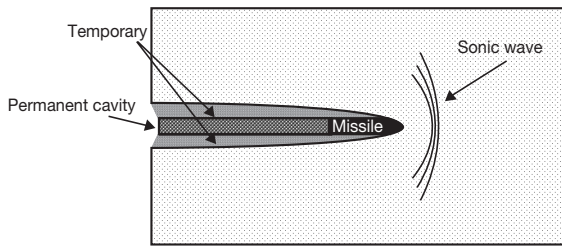


Figure 1. Projectile-tissue interaction, showing components of tissue injury (From US Department of Defense. Emergency war surgery. [Washington, DC: US Department of Defense; 2004] [4].

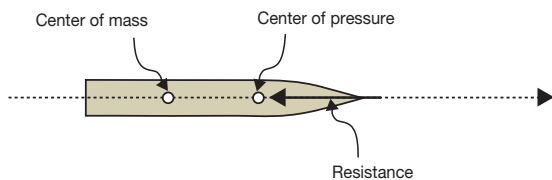


Figure 2. Factors acting on a projectile in flight.

내며, 탄두의 질량, 직경과 모양 모두 영향을 미친다. 탄두계수가 낮으면 그만큼 비행 간 공기 저항에 의해 속도의 손실이 크며 결국 목표물에 전달되는 운동 에너지 역시 감소된다.

탄두의 형태는 조직 관통 양상을 결정하는 요인 중 하나인데, 기관단총을 포함한 근거리용 화기에는 대부분 저속 탄환이 사용되며 이러한 경우, 대부분의 탄두 첨부가 뭉툭하게 제작되어 첨부가 뾰족한(Spitzer bullet) 탄두에 비해 질량 중심이 앞쪽에 위치하게 되며 목표물 내에서도 안정된 진행 방향을 유지한다(Figure 1). 이에 반해 첨부가 뾰족한 경우에는 Figures 2, 3에서 볼 수 있듯, 조직을 관통하면서 발생하는 저항이 작용하는 점보다 질량의 중심이 뒤에 위치하여 진행 방향이 불안정해지고, 편위 및 전도 현상이 일어난다.

탄두는 비행 간 병진축(axis of translation)에 대해 복합적인 운동 양상을 보이며, 이에 따라 파사체에 전달되는 에너지의 변화가 나타난다. 편주(yaw)는 비행 방향에 대한 탄두 장축의 편위(deviation)를 나타낸다(Figure 4). 이러한 비행 간의 탄두의 운동은 마치 팽이의 운동을 연상시키는데, 초기에 측면으로 흔들리면서 원을 그리며 운동하던 팽이도 점차 흔들림과 운동 폭이 작아지면서 한 자리에서 안정감 있게 회전하게 되는 것과 유사하다. 발사 직후 나타나던 편주는

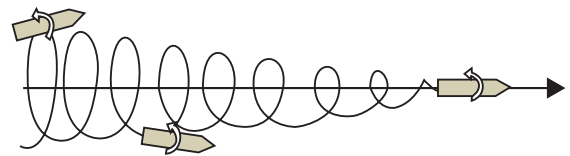


Figure 3. Deviation and yaw of a spun projectile in flight.

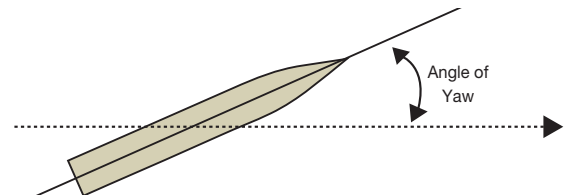


Figure 4. Yaw between the axis of the projectile and the line of flight.

비행이 진행되면서 감소하여 안정을 찾지만, 다른 매질(인체 조직 등)을 통과하면서 탄침에 가해지는 저항이 급증하면서 다시 편주가 증가하며, 심해지면 결국 탄두의 앞뒤방향이 바뀌어 진행되는 전도(tumbling)현상이 나타난다(Figure 5).

탄두의 전도 현상은 목표물 표면을 탄두가 타격하는 순간 목표물 표면에 대한 탄두의 장축에 대한 각도와 긴밀한 관련이 있으며, 전도가 일어나는 동안, 조직에 대한 탄두의 표면적이 증가하면서 운동 에너지의 전달 효율이 증가하고 이에 따라 조직 손상이 심해진다. 일부 소총에 의한 총상의 경우 사입구 대비 사출구가 훨씬 크다는 일각의 관념은 반드시 옳은 것은 아니며, 탄두가 인체를 빠져나가는 순간 편요 또는 전도되어 조직 손상이 커지는 현상 때문에 관찰된다. 전도되지 않고 안정된 탄도를 유지하여 인체를 이탈하는 경우, 탄두의 경우에는 사입구와 사출구의 크기는 별다른 차이가 없다.

저속 탄두에 의한 손상의 경우, 손상의 대부분은 탄두의 직접적인 압박분쇄(crushing) 및 열상에 의한 것이다. 뇌 심장 또는 대혈관 등 주요 장기가 저속 탄두에 의해 손상을 받는 경우, 타격 시 운동 에너지가 크지 않더라도 사망에 이를 수 있다. 고속 탄두에 의한 손상의 경우, 목표물 조직에서 임시공동(temporary cavity)이 탄두 주변으로 형성되며 그 과정에서 추가적인 조직 손상을 유발한다. 탄두가 목표물을 타격하면서 탄두 및 그 파편에 의해 압박 및 열상 뿐 아니라, 임시 공동화(temporary cavitation)에 의한 원심성 장력(cen-

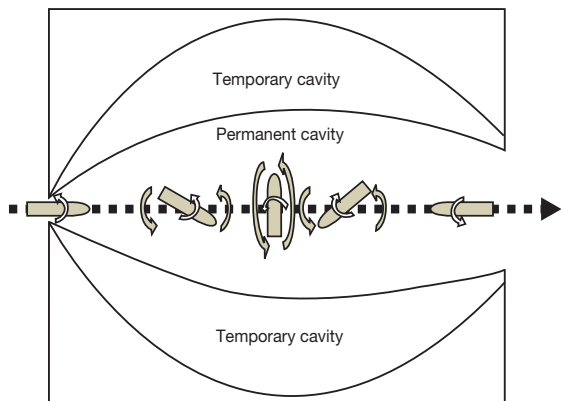


Figure 5. Hypothesized wound profile of a high velocity Spitzer bullet.

tifugal stretching)에 의한 손상도 나타난다.

탄두에서 조직으로 운동 에너지가 전달되면서 조직은 탄두를 중심으로 원심력을 받아 외측으로 밀려나가고 압축된다. 공동은 탄두가 조직 외부로 완전히 이탈한 후에도 계속 확장될 수 있으며 운동 에너지가 완전히 소진될 때까지 생성과 소멸을 반복한다. 고속 탄두의 경우, 일시적 공동의 직경이 탄두 직경의 30-40배에 이른다는 보고도 있었으나[4-6], 10-14배를 초과하지 않는다는 것이 일반적인 견해이다[7-9].

음속파(sonic shock wave)는 탄두에 선행하여 진행하며 탄두가 지난 후 소멸된다. 음속파는 종종 일시적 공동화 현상과 혼동되어 조직 손상을 일으키는 것으로 오해되고 있으나, 실제로는 조직 손상에 전혀 영향을 미치지 못한다[10].

탄두의 파쇄(fragmentation) 및 변형(deformation)도 조직의 손상을 증대시키는 요소로 작용한다. 탄두의 인체 내 변형은 탄두의 구조와 관련이 있다. 19세기 중엽, 총기의 총신에 강선을 각인하여 탄두를 회전시킴으로써 사거리 및 정확도가 크게 향상되었으며, 탄두가 강선이 각인된 총신을 지날 때 뭉개지지 않고 원형을 유지하기 위해 납 성분의 총탄에 금속성 피복을 입히게 되었다. 이런 경우 진행축에 대한 일정 각도를 유지하며 관통하기 때문에 조직 손상은 오히려 작게 나타난다. 이를 개선하기 위해 19세기 말경 인도 주둔 영국군은 완전 피복의 첨부를 갈아내서 탄두의 핵을 형성하는 납을 노출시켰는데, 그 결과 노출된 납 부위를 중심으로 탄두가 납작해지면서 진행축에 대해 면적이 증가하여, 이에

따라 조직 손상도 크게 증대되었다. 이러한 탄두 변형이 과도한 조직 손상을 일으켜 비인도적이라는 전쟁 상대국의 항의에 따라, 논란 끝에 1899년 Hague 선언이 발표되고 이에 의거, 현재까지도 군용 화기는 탄두를 완전히 금속으로 피복하여 인체 내에서의 과도한 변형을 방지하여야 한다[3].

군용 화기를 제외한 경찰 등 민간에서 사용하는 탄환의 경우 탄두의 첨부는 피복시키지 않고 납으로 된 내부성분이 노출되어 있는데, 이는 탄두가 인체에 맞으면 앞부분이 납작해지면서 진행방향에 대한 표면적이 증가되어 조직으로의 운동 에너지 전달 및 이에 따른 조직 손상 역시 증대된다. 이는 조직 손상을 크게 하려는 목적보다는 목표물을 통과한 탄두가 진행선 상에 다른 사람에게 맞는 이차적인 피해를 일으킬 가능성이 있기 때문이다. 이러한 피해를 최소화하기 위해 가급적 일차 목표물 내에서 탄두가 멈추게 하려는 것이다.

연부조직 총상의 처치

1. 총상 처치 개요

각 장기 별 처치 방법에 대한 기술은 본 논의의 범위를 넘어서는 것으로 판단되며, 일반적인 연부조직 총상에 대한 표준화된 군사의학적 교리를 위주로 소개한다. 총상 중에서 가장 빈번하게 발생하는 형태는 연부조직 총상이다. 연부조직 손상 치유에 가장 큰 관건은 감염과 패혈증을 예방하거나 최소화시키는 것이며, 특히, 최대 다수의 임무복귀를 목적으로 하는 군사의학적 측면에서는 조직의 기능을 가능한 한 보존시키면서 감염을 방지할 수 있는 단순하고 표준화된 단계적 처치 방법을 강조한다.

창상의 치료 원칙은 초기 외과적 처치인 변연절제술(debridement) [11], 전신적 항생제 투여 및 지연 일차 봉합으로 요약된다. 총상 환자의 초기 처치 간 반드시 기억되어야 할 점은 최초 처치 시 목표는 정상적인 생리학적 상태를 성취하기 위한 것이며 정상적인 해부학적 또는 기능적인 상태는 초기 처치 이후에 고려되어야 한다는 것이다. 즉, 기초적인 구멍 및 활력 징후를 안정시키는 것이 우선이다.

민간에서 발생하는 총상 환자의 경우는 군에서 전시에 발생하는 환자의 경우와 다소 차이를 보일 수 있는데 주된 이

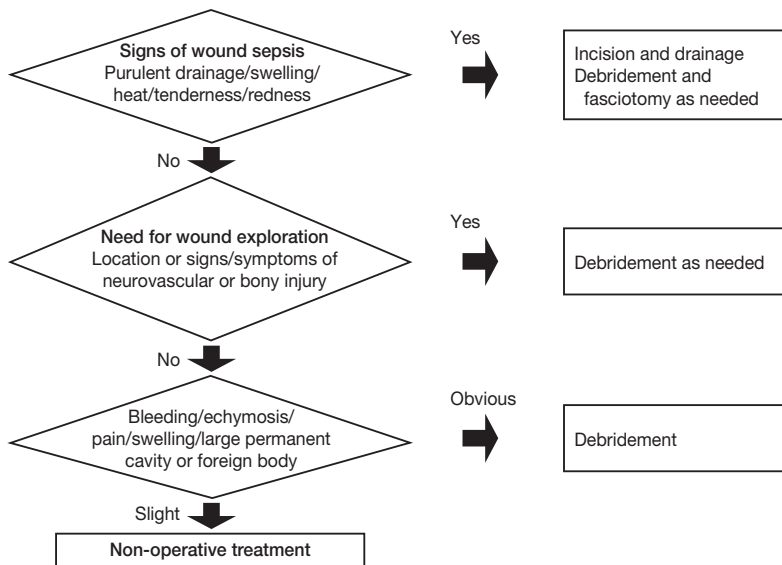


Figure 6. Algorithm for management of soft-tissue gun-shot wound (From Bellamy RF, et al. Conventional warfare: ballistic, blast, and burn injuries. Part 1. Warfare, weaponry, and the casualty. Washington, DC: Office of the Surgeon General at TMM Publications; 1991) [3].

유는 다음과 같다. 첫째, 일반적으로 양 경우에서 관련된 총기가 차이를 보일 수 있다. 즉 민간에서는 침부가 연성(납 노출)인 저속 탄환에 의한 경우가 주류를 구성하는 반면, 군에서 발생하는 환자는 소총 또는 그 이상의 고속 탄환이 관련된 경우가 많으며, 심한 조직 손상, 다발성 파편상, 화상 및 폭발 손상 등이 동반되어 있을 가능성이 높다. 창상 오염의 가능성은 지리적 특성(토양 및 기후 등)의 영향을 받게 되며, 환자의 신체 상태(영양, 피로도 등)도 영향을 미치며, 전투중인 군인의 경우에는 이러한 조건들이 불리할 가능성이 높고, 치료의 적시성 역시 기하지 못하는 상황이 흔하다. 군 의료 체계상 단계별 외과적 처치를 시행하게 되는데 이 때 각 단계마다 담당 의료진이 바뀌게 되어 연속성이 저하될 가능성이 높다.

2. 총상의 손상 특성

1) 창상 오염

총상은 여러 가지 원인에 의해 오염될 가능성이 매우 높으며 감염이 진행되어, 패혈증에 이를 수 있다. 첫째, 탄두 자체는 무균적이지 않으며, 발사 간에도 살균이 될 만큼 가열되지 않는다. 둘째, 총탄이 인체에 타격되기 전, 주변 다른 곳

에 맞고 튕 경우에도 오염이 가중될 수 있다. 마지막으로, 인체 타격 시 입고 있는 의복과 피부를 통과하며 오염이 되고, 의복 조각이나 단추 등을 조직 내로 밀고 들어가는 경우도 빈발한다. 잔류 공동(permanent cavity) 내 잔존하는 모든 유리 조직은 제거되어야 하며 주변 조직은 오염 정도에 따라 절제하되, 잔류 공동을 중심으로 1 cm 이상 깊이가 절제하지 않는 것이 일반적인 원칙이다. 일반적으로 잔류 공동 주위의 손상은 주로 5 mm 이내에서 일어나며, 1 cm를 넘는 경우가 많지 않으므로 신중하고 선별적인 절제술이 바람직하다[12]. 창상 내 세균 수와 감염 가능성 평가에서는, *Staphylococcus aureus* 및 *Escherichia Coli*를 실험동물에 접종한 실험

결과, 접종원(inoculum)이 10^6 개체 이하인 경우 함유된 감염이 진행되지 않았으나, 10^7 개체 이상인 경우엔 임상적으로 유의한 감염 발생 가능성이 있었다[12].

관통상의 잔류공동 내에는 탄두 및 그 파편 외에도 피해자의 의복, 주변 토양 및 초목, 심지어 주변 사물의 조각 내지 인근사상자의 조직 일부까지 발견된다. 또한, 일반적으로, 탄두 등 발사체가 수술 간에 체외로 적출되는 비율은 50%에도 미치지 못한다. 이러한 이물질들은 그 자체가 감염원일 뿐 아니라, 조직 사이에 간격을 유발하여 감염 가능성을 상승시킨다. 그 중 토양의 역할이 매우 큰데, 창상이 토양으로 오염된 경우, 상당히 적은 세균 개체 수 만으로도 감염이 진행된다. 모래에는 함유되어 있는 얇으나 점토 및 높 지역 토양에는 감염가능성을 높이는 활성 유기물이 발견되는데, 이 유기물(soil-potentiating factor)는 정상적인 식세포 작용을 방해하고, 혈장 내 비특이성 살균 활동을 저해하고 항생물질을 비활성화 시키는 것으로 알려져 있다[13].

2) 혈종 및 일혈

혈종과 일혈(extravasation)로 인한 감염 및 패혈증 촉진

이 발생할 수 있는데, 이는 혈액은 세균 증식에 효과적인 배지가 되며, 또한 혈종은 주변을 압박하여 주변 조직의 허혈을 조장할 수 있다. 실험 결과에 따르면 혈종 또는 감염 중 하나만 가진 경우 사망률 0%를 보이는 대조군 대비, 감염된 혈종의 경우 75%가 사망하였다. 혈종 및 일혈 부위의 감염이 확연히 사망률이 높은 이유는 활성 산소 유리기(oxygenated free radical)가 관여하는 것으로 판단하고 있다[14,15].

3) 손상된 근육 조직

손상된 조직은 산소 분압이 낮아 백혈구의 정상적인 살균 작용을 저해시킨다. 반드시 조직이 완전 괴사된 상태가 아니더라도 건인 장력이나 압박 등으로 손상된 경우에는, 정상 조직에서 감염을 일으키는 세균 수에 비해 1%에도 못 미치는 세균 수로도 감염을 유발할 수 있다[16].

4) 의인성 요소(iatrogenic factors)

수술 중 사강(dead space)을 완전히 해소하지 못한 경우, 창상의 즉각적인 봉합은 감염으로 이어질 확률이 높으므로 개방시켜 유지하다가 지연 봉합해야 한다. 배농관(drain)은 어떤 경우여도 창상에서 변연제거술(debridement)을 대신할 수 없으며, 배농관 그 자체가 감염원으로 작용할 수 있으므로 가급적 자제하고 신중하게 사용해야 한다. 또한 창상을 포함한 대부분의 외상 처치 시에는 합성 단일사(monofilament) 또는 철사 재질의 봉합사 사용이 감염 가능성을 감소시키는데 바람직하다.

3. 총상의 처치 방법

창상의 감염이나 패혈증의 가능성을 감소시키는 데는 세균 오염의 규모(세균 개체 수)를 줄이거나 숙주의 감염에 대한 저항력에 부정적인 영향을 미치는 요소를 제거하는 방법이 있다. 오염 규모를 축소시키고, 저항력을 보강하는 방법으로는, 수술, 물리적 세척(irrigation), 소독 제제 및 항생제 처치를 들 수 있다. 발사체에 의한 손상 기전에 대한 지식이 처치 범위에 대한 결정에 도움을 줄 수 있으며, 발사체 손상에 대한 치료가 미흡한 경우보다 오히려 과다한 경우에 더 많은 문제점들이 제기되고 있다[17].

1) 수술적 처치

수술적 처치는 절제(창상의 단순한 절개), 단순 절제(잔류

공동의 벽을 강 공동 내측에서 외측으로 전부 또는 일부를 절제) 또는 완전/en bloc 절제(잔류 공동 내벽에 조작을 가하지 않고 주변 조직을 완전히 절제 제거) 등이 있다. 단순 절제와 완전 절제는 학문적인 관심사일 뿐 실제 상황에서는 의미가 없는데, 이는 현실적으로 잔류 공동의 내벽을 피해서 완전 절제하는 것이 불가능하기 때문이다. 절개 없이 절제가 불가능하다는 점을 감안하면 절개와 절제 간의 구분 자체가 모호해지며 무의미해진다. 일견 관찰에도 화농성 변화가 진행된 잔류 공동을 절제(배농)하는 경우를 제외하고, 일반적인 경우, 잔류 공동을 절개하여 개방시키고 잔류 공동 쪽에서 외측을 향해 손상 조직 절제를 진행하게 되므로 결국은 변연절제술 개념에 모두 부합된다. 잔류 공동에 인접한 손상 조직을 절제함으로써 세균 개체 수를 줄이고 환자의 감염에 대한 저항력을 높일 수 있다. 조직의 손상 정도와 상태를 판단하는 기준으로 널리 적용되는 'color, consistency, contractility, circulation (4C)'은 절대적이지는 못하지만, 괴사되거나 오염되어 패혈증을 유발할 가능성이 높은 조직의 부분을 가려내는데 도움이 되며, 이 때 유념해야 할 점은 감염 자체가 절제될 수는 없으며 따라서 변연절제술 자체만으로 창상을 무균 상태로 만들 수 없다는 점이다.

총상에 대한 외과적 처치의 기본적 원칙은 20세기 초에 확립되었으며, 그 원리와 논리는 1927년 발간된 미국 육군 군의관 Eugene H. Pool 중령의 글에서 그 근원을 찾을 수 있으며[18] 아직도 많은 부분이 적용되고 있다.

(1) 감염된 창상

감염된 창상은 반드시 절개하여 배액을 원활하게 해야 하며 이물질을 제거하고, 시진 간 괴사된 조직은 절제해 내야 한다. 외과의는 창상의 배액이 용이하도록 창상 주변을 절개하며 절개선이 체위에 따라 배액에 유리하지 않은 경우 반대편을 추가 절개한다. 구획증후군의 가능성이 있는 경우 반드시 근막 절개술을 실시해야 한다.

(2) 변연절제술

피하 조직에만 국한되거나 근육을 매우 피상적으로 손상시킨 경우를 제외하고는 모든 근육 손상 시 근육섬유 주행 방향에 따라 피부 절개를 하는 것이 유리하다. 잔류 공동 내 이물질이 조직에 박혀 있는 경우, 제거를 위해 뽑아 내거나

잡아당겨서는 안되며 주변 박리를 통해 조직을 제거하며 함께 제거해야 하는데, 이는 이물질을 당겨 내는 경우 해당 이물질의 조각이나 이물질과 함께 조직 내로 유입된 다른 이물질이 조직 내에 잔류하게 될 가능성이 높기 때문이다. 이물질의 경우, 잔류 공동과 인접해 있고 감염 가능성이 높은 경우를 제외하고 조직 깊숙이 박히거나 매우 작은 경우, 반드시 제거해야 하는 것은 아니다. 변연절제술이 완료된 후 드레싱은 충전되지 않게 해야 하며, fine mesh 또는 antibiotic bead를 사용하고, 그 위에 일반 마른 거즈로 덮는다.

(3) 감염이 없는 상처의 비외과적 처치

감염 징후가 없는 단순 탄도의 경우 사입구와 사출구를 세척하고 항생제를 투여하는 방법과 수술적 처치(변연절제술)를 병행하는 방법이 있다.

(4) 부분적 변연절제술

사입구와 사출구 사이 전 잔류 공동을 절개하고 내부에 잔존하는 이물질 및 응고된 혈액을 제거한다. 필요 시 근막을 절개하며, 절제 진행 중 혈흔이 없는 부위에 이르면 변연절제술을 중단한다.

(5) 완전 변연절제술

조직에 혈흔이 심한 경우, 정상적인 소견을 보이는 조직이 나타날 때까지 잔류 공동 주변을 절제한다. 그 후 드레싱은 충전(packing)하지 말아야 하며 배액이 용이하도록 주의하고 사지의 완전 변연절제술 후에는 반드시 부목을 적용하여 동통과 부종을 최소화한다. 얼굴이나 두피의 경우 최초 처치 시에도 일차 봉합이 가능하지만, 그를 제외한 모든 부위에서는 수상 4-6일 후에 지연 일차 봉합을 시도하거나 최초 처치 10일 이상 경과 후에 이차 봉합을 실시한다. 전신 상황에서서는 최초 처치 시 적용된 드레싱은 가급적 지연 일차 봉합 시까지 그대로 유지하며, 드레싱을 통해 화농성 삼출액이 스며 나오는 경우와 해당 창상 이외에는 원인을 찾을 수 없는 패혈증 증상 또는 극심하고 계속 가중되는 통증이 발생하는 경우 등에만 선별적으로 제거한다.

(6) 일차, 지연 일차 및 이차 봉합

전신 일반적인 경우와는 달리 최초 변연절제술 이후에도 지속적으로 반복 처치가 가능하고 변연절제술 자체가 완벽하게 이루어진 경우, 해당 창상을 수술 후 바로 봉합하는 일

차 봉합이 가능하다. 그러나 해당 조건이 충족되지 않거나 의심스러운 경우, 즉 창상의 무균 상태의 재점검이 지연되거나 감염의 가능성이 있는 경우, 최초 수상 4-6일 경과 후 봉합하는 지연 일차 봉합 실시가 일반적이다. 지연 일차 봉합과 이차 봉합의 차이는 변연절제술 후 약 1주 정도 경과하면 표피가 창상 변연부를 따라 창상 내로 자라 들어가게 되고 더 경과하면 육아조직화가 진행되어 변연의 적절한 봉합을 위해서는 변연 조직의 절제가 필요하다. 즉 조직 절제 없이 봉합을 실시할 수 있는 경우 지연 일차 봉합이며 변연 절제 후 봉합하는 경우 이차 봉합으로 구분된다[18].

2) 세척

일반적인 세척(irrigation)을 통하여 웬만한 이물질, 응혈 및 조직의 조각들을 제거할 수는 있지만, 세균은 그 크기가 작아 수압을 잘 견뎌내며 조직에 흡착력 강하여 일반적인 bulb syringe를 이용한 세척으로는 제거가 어렵다. 세균을 제거하려면 수압이 최소한 7 psi (0.07 kg/cm²) 이상이어야 하며, 효과가 입증된 각종 세척장치를 사용하거나, 해당 장비가 갖추어지지 않은 경우, 35 mL 주사기에 19 gauge 바늘을 이용하여 세척액을 분사함으로써 유사한 효과를 낼 수 있다. 이와 같은 고압 세척이 오히려 세균을 조직 깊숙이 밀어 넣어 이동시킬 수 있다는 우려는 여러 연구 결과 종식되었다. 세척을 실시하기 전 총상에 의한 창상은 반드시 절개되어 잔류 공동이 노출된 상태이어야 하며, 절개 없이 사입구와 사출구를 통해 식염수를 주입하는 시도는 잔류 공동의 구조가 일정하지 않기 때문에 효과적인 세척이 이루어지지 않는다. 사출구를 통해 거즈를 삽입하여 반대 방향으로 끌어내는 방법 역시 시도되었으나 오히려 감염 예방에는 역효과를 나타냈다. 특히 세척 대신 물리적으로 힘을 가해 이물질과 괴사 조직을 제거하는 경우, 그 자체로 손상을 초래하여 그렇지 않은 경우에 비해 감염률이 높아진다고 보고된 바 있다[19].

3) 소독제제

화농성 창상의 소독에는 요오드 제제(iodophor based antiseptics)를 널리 사용하며 지연 일차 또는 이차 봉합이 가능해질 때까지 세균 수를 줄여 유지하는 방법으로 사용된다.

4) 항생제

군사의학 교리 상 모든 총상 및 파편상을 비롯한 모든 관

통상 환자에 대해 관례적으로 항생제 투여가 이루어진다. 그러나 고숙 탄환에 의해 광범위한 조직 손상이 가해진 경우 항생제 단독으로 패혈증을 예방할 수는 없으며 후송 간 감염을 지연시키는 효과 정도에 그치게 되므로 항생제 투여가 외과적 처치를 대신할 수는 없다.

(1) 전신적 항생제 요법

투여되는 항생제는 최소한 크로스트리디움계, coagulase positive *staphylococci* 및 β -hemolytic streptococci에 대해 효과가 있어야 한다. 이를 위해 페니실린도 효과적이지만 반감기가 짧은 단점이 있으므로 약리학학적 측면에서 상대적으로 유리한 cefazolin 등이 널리 사용된다. 동물 실험 및 민간 총상 관련 연구 등에서 적절한 항생제를 창상 오염 발생 즉시 비경구적으로 투여하면 패혈증 발생 빈도를 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다. 창상이 *S. aureus*로 오염된 실험동물에 오염 2시간 이내에 페니실린을 투여한 경우, 90%에서 패혈증 예방 효과가 나타났으나, 3시간 경과 이후 투여한 경우에는 전혀 투여하지 않은 대조군에 비해 차이가 없었다[20]. 항생제 투여는 단순히 세균 증식을 저해하는 효과에 불과한 것 같지는 않으며 창상 발생 직후 페니실린을 투여한 실험동물에서 대조군 대비 근육 손상이 1/3에 불과했다는 보고도 있다[21].

(2) 국소적 항생제 요법

화상 환자에서 Sulfamylon 국소 적용으로 패혈증 예방과 치료에 효능이 입증되었으나 연부 조직 창상 처치에서 유사한 효과는 입증되지 않았다. 실험동물에 가해진 광범위한 개방성 창상에서 *Clostridium perfringens*에 의한 감염으로 사망이 거의 확실시되는 경우에서도 Sulfamylon 또는 페니실린의 국소적 투여로 생존 기간을 연장할 수 있다는 여러 보고가 있다[22]. 그러나 전장 상황에서 발생한 창상의 경우 Sulfamylon, Polybactin 및 Neosporin을 국소적으로 이용한 연구에서 최소한 *S. aureus* 또는 *Pseudomonas* 감염을 억제하는 데에는 효과가 없는 것으로 보고되었다[23]. 일부에서 배농을 원활하게 하고 비경구 항생제를 투여한 경우, 실험동물의 생존에 수술적 처치가 별다른 효과가 없었다는 주장[24]이 있었으나 일반화시키기에는 무리가 있다[3].

5) 기타 고려사항

(1) 체내 잔류 이물

총상을 포함한 발사체 손상의 경우 해당 발사체가 피해자의 신체를 관통하되 천공하지 않는 경우가 더 빈번하게 발생하며, 해당 발사체 또는 파편은 최초 수술 처치 간 제거하지 않고, 피해자 신체 내에 잔류하게 된다. 이런 경우 해당 이물질을 제거해야 하는 적응 증은 다음과 같다. 기관이나 소화기 장관과 같은 내부 장기에 인접하여 위치하므로 해당 장기 내로 침식해 들어갈 수 있는 경우, 해당 발사체/파편 또는 해당 탄도에서 출혈이나 감염이 진행되는 경우, 정신적 부담을 초래하는 경우이다.

이상의 적응증에 해당되어 해당 이물질을 제거해야 하는 경우는 그다지 많지 않으며, 대다수의 경우 문제를 발생시키지 않으므로 반드시 제거해야 할 필요는 없다. 단 예외적으로 중추 신경계, 안구 및 심장 속에 있는 경우 제거 대상이다. 폐 또는 복강과 같이 비교적 덜 민감한 부위의 경우 이물질 제거의 여부는 주로 해당 이물질의 크기에 의해 결정되는데, 직경이 1.5 cm를 넘으면 제거할 수 있으며 그 외 지속적인 국소 감염증 등으로 제거 사유가 명확한 경우 외에는 특별한 적응증은 제시된 바 없다. 이물질은 대다수의 경우 색출이 어려우며 해당 이물질이 체내에서 초래하는 것보다 탐색 과정에서 더 심각한 조직 손상을 유발할 수 있다[3]. 총상을 포함한 발사체 손상에서, 이물질을 탐색하는 경우 C-arm을 포함하는 일반 방사선 검사, 컴퓨터단층촬영 및 high frequency B mode 초음파가 도움이 될 수 있다.

(2) 유동성 탄두

드물게 탄두 또는 그 파편이 치명적인 출혈을 일으키지 않으면서도 혈관 내로 유입되는 경우가 있다. 물론 이러한 이동은 수상 후 언제든지 발생할 수 있지만 주로 3주 이내에 나타나는 것이 일반적이다. 주요 정맥 내에 정지해 있는 경우 다시 이동하기 전에 제거하는 것이 유리하다. 또한 심장 근육에 박힌 이물질은 그 때까지 심각한 문제를 유발하지 않았더라도 문제를 유발하기 전에 제거하는 것이 원칙이다.

(3) 납중독

총탄은 외부 피복은 금속 성분이지만 내부 핵은 대부분

납 성분임을 감안하면 실제 납중독 발생 사례 보고는 매우 적은 편이다[25]. 하지만 발생 실례가 전혀 없는 것이 아니므로 이에 대한 경각심은 유지할 필요가 있다. 납 중독의 임상적 양상은 매우 다양하게 나타나며 뇌신경 증상, 빈혈, 신장 증상 및 복통으로 나타나기도 한다. 해당 파편이 활막강 내에 위치하는 경우 납의 인체 흡수율이 빨라지는 경향을 보인다. 실험결과 납의 혈액 내 농도는 피격 4-6개월 후에 최고치에 이르는 것으로 알려져 있다[25].

결 론

이상의 논의는 군사 의학적 측면에서 본 총상에 대한 일반론이다. 일반 민간의학이 추구하는 최종 목표에 차이가 있을 수 있으므로, 해당 군사 교리를 민간 의료에 무비판적으로 일반화시키는 데는 무리가 있을 수 있다. 예를 들어 군사적 상황에서의 전형적인 환자는 피로가 누적되고 약친후 속에 오염이 심한 총상을 입고, 전투가 치열한 시기에 매우 기본적인 응급 처치 후 방치되었다가 병원에 수송되며, 또한 병원에서도 환자 수가 과도하여 세밀하고 개별화된 처치를 받거나 자주 관찰의 대상이 되기 어렵다. 즉 군사의학은 최대 사수의 기능적 회복, 즉 전투력 회복을 기하는 학문이며 특히 총상이 주로 발생하는 전시에 한 명, 한 명에게 개별화, 특성화된 최선의 치료를 제공하는 것이 불가능할 가능성이 높은 상황을 전제하고 상정한다[26]. 따라서 일반 민간의학 처치 측면에서 고려할 때, 총상 환자는 전시 전투원의 부상 경우에 비하여 오염이 상대적으로 적고 환자의 전신상태가 비교적 양호하며, 즉각적인 처치를 받으며, 충분한 인력과 자산, 시간이 투입되는 상황 별 특성화된 치료를 받을 확률이 상대적으로 높아진다.

총상과 관련하여 군에서 전시에 발생하는 환자가 총상의 대다수를 차지하고, 국내에서는 외국의 사례[27]처럼 폭발적인 증가추세를 보이고 있지 않으므로, 민간 의료상황에서 환자 발생은 급증할 것으로 예상되지는 않는다. 따라서 실제 환자를 처치함에 있어, 군의 정례화된 교리 상 처치 방법을 참고 하되, 위와 같은 이유로 반드시 전 과정에서 완벽한 준수의 필요성은 절대적이지 않으며 상대적으로 덜 침습적인 방법을 적용하는 시도가 필요할 것으로 생각된다. 예를 들어 총상 환자

가 내원하는 경우, 전시 상황에 비해 환자에게 제공될 인적, 물적 및 시간적인 자산의 여유를 판단하여, 변연절제술 간에 연부조직의 생존 여부를 판단하는 '4C' 기준을 적용하되, 피사할 것으로 예상되는 부분을 절제하기 보다는 과사로 진행할 것이 확실시 되는 부분만을 절제하고, 매일 무균적 드레싱과 필요 시 재수술을 실시하여 조직 및 기능의 손실을 최소화할 수 있다(Figure 6).

Mendelson 등[17]의 추정에 의하면, 월남전에서 발사체 손상을 입은 미군 전상자들에게 수술적인 처치 대신 보존적인 처치가 행해졌더라면 80%의 환자에서 비교적 신속하고 만족스러운 결과가 나타났을 것이고, 이에 따른 조속한 임무 복귀가 가능했을 것이라고 가정한 바 있다. 단, 해당 주장이 옳다고 가정하더라도 수술 없이 회복할 것으로 가정된 80%의 전상자 외에 20%는 심각한 패혈증을 겪고 심지어 사망에 이를 수도 있었다는 점을 감안해야 한다.

군사의학 교리는 숙련된 전문가를 위한 전문지식의 첨단이라기 보다는 통계에 입각하여 가급적 많은 인원이 해당상황에서 구멍과 장애 최소화를 위해 절대적으로 필요한 처치를 할 수 있도록 표준화하고 교리화한 결과이다. 외상 외과 의라면 해당 전공분야는 물론 타 분야의 총상이라도 초기 외과 처치를 수행해야 하는 경우가 발생할 수 있으며, 전공분야라 하더라도 총상의 기본 처치 원칙을 숙지하고 치료에 임한다면, 피해를 최소화하고 환자에게 바람직한 결과를 도출해 낼 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어: 총상; 탄도학; 탄두; 변연절제술

REFERENCES

1. Feliciano DV, Wall MJ. Patterns of injury. In: Moore EE, Mattox KL, Feliciano DV, editors. Trauma. 2nd ed. Norwalk: Appleton & Lange; 1991. p 83-88.
2. Lee DY. Gunshot Wounds: Management and Measures in Conventional Combat Injuries. Seoul: Seran Publisher; 1992.
3. Bellamy RF, Zajtchuk R. Conventional warfare: ballistic, blast, and burn injuries. Part 1. Warfare, weaponry, and the casualty. Washington, DC: Office of the Surgeon General at TMM Publications; 1991.
4. US Department of Defense. Emergency war surgery. 3rd ed. [Washington, DC]: US Department of Defense; 2004.

5. Ordog GJ, Wasserberger J, Balasubramaniam S. Wound ballistics: theory and practice. *Ann Emerg Med* 1984;13:1113-1122.
6. Barach E, Tomlanovich M, Nowak R. Ballistics: a pathophysiologic examination of the wounding mechanisms of firearms. Part I. *J Trauma* 1986;26:225-235.
7. Wound ballistics. *West J Med* 1977;127:49-54.
8. Fackler ML. Wound ballistics, round 3. *Ann Emerg Med* 1985;14:936-938.
9. Ballistics: a pathologic examination of the wounding mechanisms of firearms. *J Trauma* 1986;26:1157-1160.
10. Fackler ML, Malinowski JA. The wound profile: a visual method for quantifying gunshot wound components. *J Trauma* 1985;25:522-529.
11. Monroe CW. Debridement: when and how much? *Bulletin US Army Med Dep* 1944;(77):37-41.
12. Roettinger W, Edgerton MT, Kurtz LD, Prusak M, Edlich RF. Role of inoculation site as a determinant of infection in soft tissue wounds. *Am J Surg* 1973;126:354-358.
13. Haury BB, Rodeheaver GT, Pettry D, Edgerton MT, Edlich RF. Inhibition of nonspecific defenses by soil infection potentiating factors. *Surg Gynecol Obstet* 1977;144:19-24.
14. Krizek TJ, Davis JH. The role of the red cell in subcutaneous infection. *J Trauma* 1965;5:85-95.
15. Angel MF, Narayanan K, Swartz WM, Ramasastry SS, Basford RE, Kuhns DB, Futrell JW. The etiologic role of free radicals in hematoma-induced flap necrosis. *Plast Reconstr Surg* 1986;77:795-803.
16. Cardany CR, Rodeheaver G, Thacker J, Edgerton MT, Edlich RF. The crush injury: a high risk wound. *JACEP* 1976;5:965-970.
17. Mendelson JA. The relationship between mechanisms of wounding and principles of treatment of missile wounds. *J Trauma* 1991;31:1181-1202.
18. US Surgeon-General's Office. The medical department of the U.S. army in the World War. Vol. XI. Surgery. Washington, DC: Government Printing Office; 1927.
19. Rodeheaver GT, Smith SL, Thacker JG, Edgerton MT, Edlich RF. Mechanical cleansing of contaminated wounds with a surfactant. *Am J Surg* 1975;129:241-245.
20. Burke JF. The effective period of preventive antibiotic action in experimental incisions and dermal lesions. *Surgery* 1961;50:161-168.
21. Dahlgren B, Almskog B, Berlin R, Nordstrom G, Rybeck B, Schantz B, Seeman T. Local effects of antibacterial therapy (benzyl-penicillin) on missile wound infection rate and tissue devitalization when debridement is delayed for twelve hours. *Acta Chir Scand Suppl* 1982;508:271-279.
22. Mendelson JA, Lindsey D. Sulfamylon (mafenide) and penicillin as expedient treatment of experimental massive open wounds with *C. perfringens* infection. *J Trauma* 1962;2:239-261.
23. Noyes HE, Chi NH, Linh LT, Mo DH, Punyashthiti K, Pugh C Jr. Delayed topical antimicrobials as adjuncts to systemic antibiotic therapy of war wounds: bacteriologic studies. *Mil Med* 1967;132:461-468.
24. Fackler ML, Breteau JP, Courbil LJ, Taxit R, Glas J, Fievet JP. Open wound drainage versus wound excision in treating the modern assault rifle wound. *Surgery* 1989;105:576-584.
25. Linden MA, Manton WL, Stewart RM, Thal ER, Feit H. Lead poisoning from retained bullets. Pathogenesis, diagnosis, and management. *Ann Surg* 1982;195:305-313.
26. Nessen SC, Lounsbury DE, Hetz SP; US Department of the Army, Office of the Surgeon General; Walter Reed Army Medical Center. War surgery in Afghanistan and Iraq: a series of cases, 2003-2007. Falls Church: Office of the Surgeon General, US Army; 2008.
27. Schwab CW. Violence: America's uncivil war-presidential address, Sixth Scientific Assembly of the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *J Trauma* 1993;35:657-665.



Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 북한 독재정권의 대남 위협이 점증하고 있는 최근의 상황에 비추어 전투의학의 중요성이 강조되고 있는 민간의료기관에서 배출된 총상 등 전투손상의 경험이 전무한 단기 군의관들에 총상환자들을 치료하는 좋은 지침을 제시하고 있다. 본 논문에서 제시된 전사 총상의 특징과 대강의 치료원칙들은 전시에 민간인사들을 군의관으로의 확립적 전환은 가능하나 전투외상이나 전사외과에서 최선을 다하게 만들지 못하는 이유가 바로 전시 군병원에서 시행하는 결정적인 외과치료술과 전투가 일어나는 야전에서 실시되는 구명외과치료술의 내용이 동일하다는 막연한 생각 때문이라는 사실을 깨우칠 수 있는 좋은 기회가 되겠다. 전시에 전투가 벌어지는 전방에 근무하는 군의관은 자신이 치료하는 상처의 형태가 무엇이든 간에 구명을 위해 최선을 다할 수 있어야 하며, 해당 전문의가 아니라고 하여 환자에게 최선의 의료를 제공하지 못하는 것이 양해될 수 없으며, 전문과목에 관계없이 고립되어 민간전문과목의 전 범위에 해당하는 병변에 의한 위태로운 생명을 구하기 위한 도전에 항상 직면하게 된다는 사실을 고려해야 하겠다.

[정리: 편집위원회]