



Intervention for Chest Trauma and Large Vessel Injury

흉부 및 대혈관 외상의 인터벤션

Hojun Lee, MD¹ , Hoon Kwon, MD^{1*} ,
Chang Won Kim, MD^{1,2} , Lee Hwangbo, MD¹

¹Department of Radiology, Pusan National University Hospital, Busan, Korea

²Department of Radiology, College of Medicine, Pusan National University, Busan, Korea

ORCID iDs

Hojun Lee <https://orcid.org/0009-0003-1066-6447>

Hoon Kwon <https://orcid.org/0000-0003-4055-5863>

Chang Won Kim <https://orcid.org/0000-0001-7853-5580>

Lee Hwangbo <https://orcid.org/0000-0002-1323-4450>

Received April 2, 2023

Revised May 23, 2023

Accepted June 20, 2023

*Corresponding author

Hoon Kwon, MD

Department of Radiology,
Pusan National University Hospital,
179 Gudeok-ro, Seo-gu,
Busan 49241, Korea.

Tel 82-51-240-7354

Fax 82-51-244-7534

E-mail khoon2r@gmail.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Trauma is an injury to the body that involves multiple anatomical and pathophysiological changes caused by forces acting from outside the body. The number of patients with trauma is increasing as our society becomes more sophisticated. The importance and demand of traumatology are growing due to the development and spread of treatment and diagnostic technologies. In particular, damage to the large blood vessels of the chest can be life-threatening, and the sequelae are often severe; therefore, diagnostic and therapeutic methods are becoming increasingly important. Trauma to non-aortic vessels of the thorax and aorta results in varying degrees of physical damage depending on the mechanism of the accident and anatomical damage involved. The main damage is hemorrhage from non-aortic vessels of the thorax and aorta, accompanied by hemodynamic instability and coagulation disorders, which can be life-threatening. Immediate diagnosis and rapid therapeutic access can often improve the prognosis. The treatment of trauma can be surgical or interventional, depending on the patient's condition. Among them, interventional procedures are increasingly gaining popularity owing to their convenience, rapidity, and high therapeutic effectiveness, with increasing use in more trauma centers worldwide. Typical interventional procedures for patients with thoracic trauma include embolization for non-aortic injuries and thoracic endovascular aortic repair for aortic injuries. These procedures have many advantages over surgical treatments, such as fewer internal or surgical side effects, and can be performed more quickly than surgical procedures, contributing to improved outcomes for patients with trauma.

Index terms Trauma; Embolotherapy; Endovascular Stent Grafting

서론

외상(truma)이란 외력에 의한 여러 병태생리학적 변화를 수반하는 신체 손상을 의미한다. 현

대 사회가 발전함에 따라 사람 및 화물의 이동량이 늘어나고 산업현장 재해 및 교통사고도 증가하여 외상 발생 빈도가 지속적으로 높아지고 있는 추세이다. 20세기에 들어 쇼크의 생리 현상, 수액과 혈액을 이용한 소생술에 대한 이해, 항생제의 개발, 마취 및 수술기법의 발전으로 외상학이 급속하게 발전하였고, 외상 치료에서 초기 손상통제수술(damage control surgery) 및 단계적 치료의 개념도 확립되었다. 우리나라도 사회 경제적으로 발달함에 따라 외상에 대한 관심이 높아졌고, 최근 정부 주도로 인적, 물적 투자가 많이 이루어지고 있다. 국내에서 일어나는 외상은 대부분 둔기 손상(blunt injury)으로 광범위한 신체 부위가 큰 압력을 받아 일어나며, 단일 손상보다는 주로 다발성으로 나타난다. 질병관리청의 2019 지역사회기반 중증외상조사 통계에 따르면 중증외상의 비율은 운수사고가 54.9%, 추락 및 미끄러짐이 37.5%로 대부분을 차지하였고 발생 장소는 도로(50.6%), 집(18.0%) 등의 빈도가 높았다.

이러한 외상에서 특히 흉부 및 대혈관의 손상은 과다출혈로 인하여 혈액학적 변화를 수반하여 생명을 위협하는 상황이 생기는 경우가 많다. 따라서 경과관찰보다는 즉각적인 치료적 개입이 필요한 경우가 많다. 치료적 접근으로는 개흉술(thoracostomy)과 같은 수술적 접근 혹은 인터벤션으로의 접근을 하게 된다. 특히 인터벤션은 혈액학적으로 안정적인 환자에 대한 비수술적 치료(nonoperative management)의 일부로 역할을 담당하였으나, 외상 환자에 대한 치료로 비수술적 치료가 증가하면서 인터벤션의 역할도 점차 커지고 있다. 최근 흉부 및 대혈관의 외상 인터벤션은 전통적 역할에만 머물지 않고 수술 자체가 불가능하거나 어려운 상황에서 신속한 혈액학적 안정화를 위해 사용되거나, 추후 수술적 치료의 중간 과정으로 역할 및 수술을 대체하는 최종 치료로도 사용되고 있다(1).

흉부 및 대혈관의 외상 출혈 환자에서 지혈에 도달하는 시간이 단축될수록 사망률이 낮아지며, 성인호흡곤란증후군, 다발성장기부전, 급성 신장 손상, 패혈증 등 합병증 발생이 줄어든다. 따라서 인터벤션도 보다 신속하게 이루어져야 하며, 이를 위해 많은 부분이 연구되고 개선되고 있다. 외상 환자에 대한 색전술은 주로 총대퇴동맥(common femoral artery)을 통한 단일 접근 경로(single arterial access)로 이루어져 있다. 흉부 및 대혈관의 손상은 다른 장기의 손상도 다발적으로 발생하는 경우가 많은데 이러한 단일 경로 접근으로 다장기 손상에 대한 지혈을 보다 빠르고 효과적으로 시행할 수 있으므로 흉부 및 대혈관의 손상에 대한 치료뿐만 아니라 비장, 간, 신장 및 골반 손상 등에서 수반되는 출혈에 대한 치료로서 주목받고 있다(2).

흉부 대동맥 외상

임상양상 및 병태생리

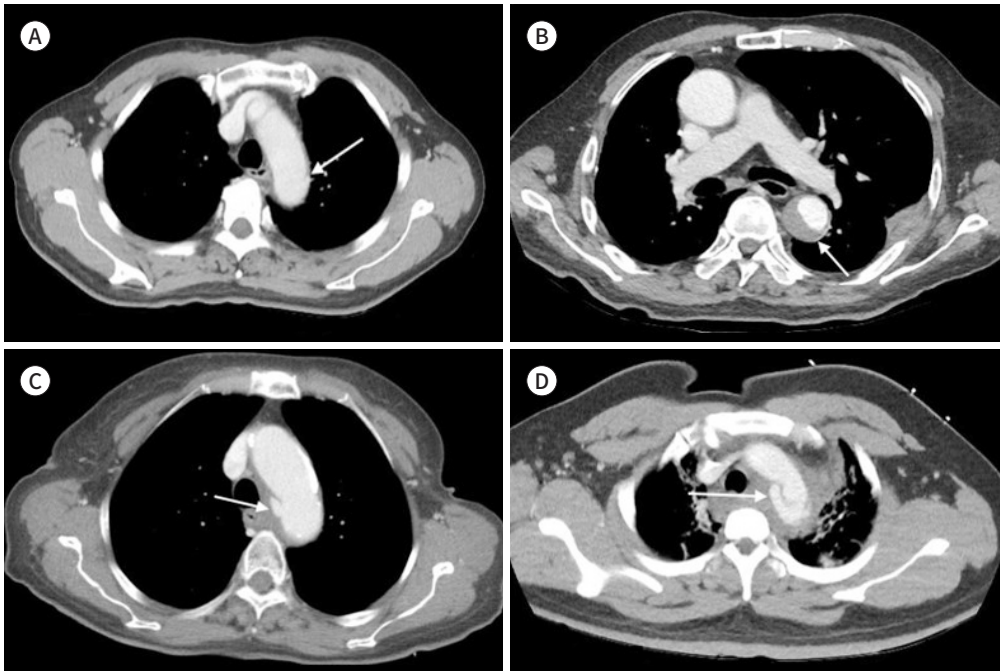
외상이 발생하는 상황, 특히 교통사고에서는 급가속 및 급감속이 필연적으로 발생하는데, 이러한 급감속(sudden deceleration) 상황과 관련된 대동맥의 횡열상(transverse tear)은 대동맥의 상대적으로 덜 고정된 부분과 하행흉부대동맥(descending thoracic aorta)과 같은 상대적으로 고정된 부분 사이에 전단력(shearing force)을 일으킨다. 이러한 전단력은 대동맥 벽에 횡열상을 일으켜 대동맥의 내막(intima)의 부분적 찢김(partial tear)부터 완전한 파열(complete transec-

Fig. 1. Traumatic aortic injury categorizes lesions based on involved anatomical layers: intimal tear (Grade I), intramural hematoma (Grade II), pseudoaneurysm (Grade III), and rupture (Grade IV).

A. An intimal tear is observed at the aortic arch (Grade I) (arrow).

B. Intramural hematoma (Grade II) is observed along the descending aorta (arrow).

C, D. In each CT scan image, findings of Grade III (pseudoaneurysm) and Grade IV (rupture) injuries are observed (arrows).



tion)까지 다양한 정도의 손상을 일으킨다. 혈관의 손상의 정도에 따라 Grade I-IV로 분류하는데 (Fig. 1), 완전파열 즉, Grade IV의 손상은 사망률이 90% 이상으로 매우 높으며, 사고 후 0-2시간 내에 사망하는 경우 대량 출혈이 직접 사인이다. 또한 외상 후 2-4시간 내에 사망하는 경우는 대부분 다발성 손상에 의한다. 그 외 대동맥의 손상에 기여하는 기전으로는 외상 발생시 머리가 갑작스럽게 과신전(hyperextension) 되어 이로 인하여 대동맥활에 수직적인 힘이 가해질 경우, 골구조물 특히 흉골(sternum)에 의해 혈관에 직접적으로 압박이 가해질 경우, 외상으로 인해 대혈관 내 압력이 갑작스럽게 증가할 경우 등이 있다. 이러한 대동맥의 손상이 가장 호발하는 부위는 하행흉부대동맥의 근위부(54%~65%)로 알려져 있다. 그 외 상행대동맥과 대동맥활에서 10%~14%, 중간 및 원위부 하행대동맥에서 12% 정도 발생한다. 동맥관인대(ligamentum arteriosum) 주변 하행흉부대동맥 파열은 진단력에 의한 손상을 의미한다.

대동맥의 손상은 단독으로 발생할 수도 있으나 대체로 머리, 안면, 흉부, 복부, 골반 및 사지의 손상과 동반해서 나타나는 경우가 많다. 이러한 동반된 손상은 환자에게 복잡한 임상적 양상을 나타내게 하여 환자의 대동맥 손상의 악화를 은폐(masking) 할 수 있다. 따라서 대동맥의 손상을 놓치지 않고 의심하기 위해서는 조영증강 CT와 같은 영상검사뿐만 아니라 임상적인 관찰도 중요한데, 환자가 어깨 정도에서 통증을 호소하거나 설명할 수 없는 저혈압(hypotension)이 발생하였을 경우, 상지의 고혈압(hypertension)이나 양측 대퇴동맥의 맥박이 촉진되지 않을 경우, 흉관 배액량이 급격히 증가될 경우 대동맥의 급성 파열(acute rupture)이나 혈종(hematoma)의 급격한 증

가를 의심해 보아야 한다.

최근에는 CT 기술의 발전과 보급의 증가로 외상성 대동맥의 초기 진단 및 평가가 용이해지고 있으나 1%~2% 정도는 미진단 되는 경우도 있으며, 수상 몇 달 후 만성 외상성 가성동맥류(chronic traumatic pseudoaneurysm)의 형태로 발견되게 된다(3). 이는 대체로 국소적 혹은 석회화를 동반한 낭성모양(saccular)으로 관찰되며 주로 좌쇄골하동맥(left subclavian artery)의 원위부에서 관찰되게 된다.

앞서 언급한 대동맥 손상기전 외에도 도검류나 기타 날카로운 물건으로 인한 관통상(penetrating injury)이나 총기류로 인한 손상이 있을 수 있다. 이러한 손상은 둔상 보다는 빈도는 낮으나 대동맥의 어느 부위에서도 발생 가능하며, 이러한 경우에는 대체로 환자의 활력징후는 불안정하여 즉각적인 치료를 요한다.

대동맥 외상의 인터벤션

흉부대동맥의 손상이 의심될 경우 주로 첫 검사로 CT angiography를 시행한다. Society for Vascular Surgery (이하 SVS)의 권고안에 따르면 내막박리만이 있는 Grade I 환자에서는 자연치유를 기대하고, Grade II-IV 환자에서는 치료를 시행한다(4). 혈액학적으로 불안정한 환자에서 대동맥을 제외한 다른 출혈 원인이 배제되었다면 대동맥 손상에 대한 치료를 가능한 한 빠르게 시행하는 것이 환자의 좋은 예후에 도움이 되는 것으로 알려져 있다.

주요한 치료로는 개흉술을 통한 수술적 접근 혹은 thoracic endovascular aortic repair (이하 TEVAR)가 있다. TEVAR는 동반 손상이 많은 외상 환자에서 개흉술, 전신적 헤파린용법(systemic heparinization), 일측 폐환기(single lung ventilation), 대동맥 클램프(aortic cross-clamping), 심폐우회술(cardiopulmonary bypass)을 피할 수 있으며, 수혈량을 줄일 수 있는 장점이 있다(5-7). 또한 전신마취의 부담 없이 국소마취하 경피적으로 빠르게 시행 가능한 장점이 있다. 이러한 장점으로 인해 외상성 대동맥 손상에서 TEVAR를 시행할 경우 개흉술에 비해 재원 기간이 짧고 사망률이 더 낮은 것으로 보고된다(8). Eastern Association for the Surgery of Trauma (이하 EAST) 권고안에서도 외상성 대동맥 손상에서 시술 금기증이 아닌 경우 적극적인 혈관내 치료를 권장한다. 무작위 연구가 없어서 근거는 다소 부족하지만, 수술에 비해 침습성이 낮아 출혈 및 시술 중 사망률이 낮고 하반신마비와 뇌졸중에 대해서도 수술과 위험도가 비슷하다고 보고된다(9).

외상성 대동맥 손상 환자에 대한 TEVAR는 흉부대동맥류와 대동맥박리 등을 치료할 때와 술기 면에서 큰 차이가 없다(Fig. 2). TEVAR 시술은 방사선투시(fluoroscopy) 하에서 시행하며, 상황에 따라 국소마취나 척수마취 혹은 필요하다면 전신마취하에서 시행한다. 시술 경로로는 총대퇴동맥을 주로 선택한다. 시술 중 혈전 생성을 방지하기 위하여 헤파린을 투여하거나, 활성화응고시간(activated clotting time; ACT)을 측정하여 항응고 효과를 감시한다. 스텐트 그래프트를 설치 시 혈류에 의한 이동(migration)을 방지하기 위해 상황에 따라서 니트로프루시드 나트륨(sodium nitroprusside) 같은 혈압 강하제를 일시적으로 투여하기도 한다. 스텐트 그래프트를 삽입할 때는 양측의 총대퇴동맥 중 더 직경이 큰 쪽을 이용한다. 다만 천자한 총대퇴동맥에 혈관 연축이 생겼거나 젊은 외상 환자에서는 드물게 총대퇴동맥의 직경이 작은 경우가 있으므로 주의를 요한다. 스

Fig. 2. A 79-year-old male presented after a motorcycle accident.

A, B. Chest CT scans in the axial and sagittal planes (arrows) show a ruptured pseudoaneurysm in the descending aorta, consistent with Grade IV injury.

C. Angiography of the aortic arch shows (arrow) a pseudoaneurysm in the aortic isthmus.

D. Subsequent deployment of the stent graft (Valiant Thoracic Stent Graft 28 mm–28 mm/117 mm, Medtronic, Jacksonville, FL, USA) was performed.



텐트 그래프트를 의도한 위치에 정확히 전개(deployment) 하기 위해 반대측 대퇴동맥이나 상완 동맥(brachial artery)으로 미리 거치해 둔 pigtail catheter와 같은 혈관조영술을 위한 카테터를 이용하여 시술 중 혈관조영술로 위치를 확인한다(10, 11).

현재 TEVAR에 쓰이는 여러 종류의 스텐트 그래프트는 여러 종류가 상용화되어 쓰이고 있으며 계속적으로 연구되고 있다. 모든 종류의 스텐트 그래프트는 금속 골격을 polytetrafluoroethylene (PTFE)이나 polyester 재질의 인조혈관이 둘러싼 구조로 이루어져 있다(12). 대부분의 제품은 스텐트 그래프트를 혈관벽에 견고히 고정하고, 이동을 방지하기 위해 근위부나 원위부에 bare stent 부분이 있거나 금속성 바브(barb)가 설치되어 있으며, 혹은 delayed deployment system을

사용하는 경우도 있다. 흉부대동맥 스텐트 그래프트는 모두 자가팽창형(self-expandable)이다. Sheath 안에 장착된 스텐트 그래프트의 pusher rod를 고정한 채로 sheath를 뒤로 당겨 스텐트 그래프트를 설치한다. 대동맥벽에 견고히 밀착되고 기구 이동 및 내강누출(endoleak)을 방지하기 위해 스텐트 그래프트의 size 결정 시 보통 병변 위, 아래의 주위 정상 대동맥 직경보다 10%~20% 정도 직경이 크고, 병변의 양 끝을 2.0 cm 이상 덮을 수 있는 것으로 선택한다.

스텐트 그래프트의 전개가 끝나면 대동맥활조영술을 시행하여 정확한 위치에 설치되었는지 또는 내강누출이 있는지 확인한다. 대동맥활조영술은 일반적으로 대동맥판막(aortic valve) 바로 위에 4Fr 또는 5Fr 피그테일 카테터(pigtail catheter)를 위치시킨 후 시행한다. 일반적으로 대동맥활조영술 시 30° 좌전사위(left anterior oblique view, LAO view)로 촬영하면 대혈관들의 기시부(origin)를 확인하는데 용이하다. 여기서 대혈관의 카테터 삽입술(catheterization)은 뇌졸중의 위험성이 있기 때문에 카테터와 유도철사의 조작, 카테터 플러싱(catheter flushing)에 많은 주의가 필요하다. 특히 대동맥활에서 막혀있는 카테터를 플러싱하면 위험하므로 주의를 요한다.

일반적으로 대동맥의 zone 2에서 TEVAR 시술을 할 경우 type II endoleak을 방지하기 위하여 좌쇄골하동맥(left subclavian artery)을 미리 색전하는 것을 추천한다. 따라서 TEVAR 시술 과정에서 proximal neck 확보를 위한 좌측 쇄골하동맥과 distal neck 확보를 위한 복강동맥의 폐색(cealic trunk occlusion)에 대해 다양한 보고가 있어 왔다. 혈관재개통술(revascularization) 없이 TEVAR를 시행하면서 좌측 쇄골하동맥을 폐색할 경우 사망률과 이환율이 증가한다는 보고들이 있었으나, 일부 연구에서는 대뇌동맥륜(Circle of Willis)이나 척추동맥에 대한 평가 후 선택적으로 혈관재개통술을 시행해야 한다는 주장도 있다(13-16). 또한 응급 외상 상태에 있는 환자는 zone II TEVAR를 시행해야 할 경우 좌쇄골하동맥에 대한 전치치를 미리 수행할 수 없는 경우가 흔하다. 최근에는 응급 외상 환자에서 zone II TEVAR를 수행 시 좌쇄골하동맥을 색전하지 않아도, 시술 후 최종 혈관조영술에서 내강누출(endoleak)이 관찰되지 않았다면, 추후 follow up에서도 추가적인 시술이 필요하지 않았다는 보고도 있었다(17). 따라서 손상통제인터벤션의 관점에서 이러한 수행방법도 고려될 수 있을 것이다. 그러나 또 다른 연구의 메타분석 결과에서는 혈관재개통술을 시행한 그룹이 그렇지 않은 그룹보다 뇌졸중(stroke), 척수경색, 좌측상완허혈(left upper limb ischemia)의 발생률이 낮다는 보고가 있다. 또한 SVS guideline에서는 응급상황이 아닌 경우 좌측 쇄골하동맥 폐색(intentional coverage)이 예정되어 있다면 좌측 쇄골하동맥의 혈관재개통술을 시행하도록 추천한다(18-20). 만약 응급으로 TEVAR를 시행해야 할 상황이라면 혈관재개통술을 미리 시행하지 못한 채 시술을 하게 되는 경우가 많으므로 양측 척추동맥을 통한 혈류 흐름의 정도(vertebral artery dominance)를 고려하면서 시술을 시행해야 하며, 그 외 추후 발생 가능한 부작용에 대하여 인지하고 주의 깊은 추적 관찰이 필요할 것이다.

TEVAR 시술 자체는 일반적인 경우와 응급 외상 환자의 경우 크게 다르지 않으나 응급외상 환자에서는 혈액학적으로 불안정한 경우가 대다수이며, 이러한 경우에는 대동맥의 직경이 안정시와 비교하여 3%~12% 정도 감소할 수 있다고 보고가 있으므로 스텐트 그래프트의 크기를 선택할 때 환자의 혈액학적 상태를 신중히 고려하여야 한다(21). 또한 젊은 환자는 대동맥의 크기가 작고 탄력성이 높아 스텐트 그래프트의 선택이 치료성적과 추적관찰시 예후에서 매우 중요한 요소로 작

용하게 되며, 기대수명이 길 경우 스텐트 그래프트와 관련된 합병증 발생 가능성에 대한 우려 또한 중요한 문제가 될 수 있음을 인지하고 있어야 한다.

비대동맥성 흉부혈관 외상

임상양상 및 병태생리

흉부 외상은 외상 환자 사망의 주요한 원인 중 하나로, 외상 관련 사망의 약 25%를 차지한다. 흉부 외상은 다발성 외상 환자의 약 60%에서 동반된다(22). 흉부 외상과 관련된 출혈은 심장과 대동맥을 포함한 어떤 가슴 장기에서도 발생할 수 있으나, 늑간동맥(intercostal artery) 출혈이 가장 흔한 것으로 알려져 있다(Fig. 3). 그다음으로는 내흉동맥(internal mammary artery)이 주요한 출혈의 원인으로 생각되고(Fig. 4), 그 외 외측흉동맥(lateral thoracic artery), 기관지동맥(bronchial artery), 상흉동맥(superior thoracic artery) 등이 출혈의 원인이 된다.

외상성 혈흉은 별다른 증상을 나타내지 않는 경미한 출혈에서부터 출혈성 쇼크를 보일 정도의 과도한 출혈까지 다양하다. 폐실질에서 출혈이 있는 경우에는 폐혈관 혈압이 낮고 폐조직에 트롬보플라스틴(thromboplastin)이 풍부하여 대부분 큰 문제를 일으키지 않는다. 그러나 다량의 혈흉이 있을 경우 폐혈관의 손상 가능성을 고려하여야 한다.

흉부 외상 환자에서는 혈흉이 흔히 발생할 수 있는데 흉부 외상 환자의 약 3분의 1에서 발생하며 기흉(pneumothorax)과 동반되기도 한다(23). 혈흉의 주요한 원인으로는 흉강내 동맥(intra-thoracic artery injury; aorta)의 손상으로 인한 출혈 혹은 흉벽의 동맥(thoracic wall artery; intercostal artery)의 손상이 있다. 그 외 정맥성 원인 혹은 심장 등 다양한 흉강 내 장기의 손상이 혈흉을 일으킬 수 있다. 혈흉은 일부 환자에서 지연성으로 관찰되기도 하는데, 특히 후방 늑골의 골절이 있을 때 이러한 소견이 동반될 가능성이 있음이 알려져 있어(24) 주의 깊은 추적관찰이 필요하다.

Fig. 3. An 88-year-old female presents with right chest pain that developed after a fall at home.

A. The chest CT scan shows a pseudoaneurysm (arrow) and hemothorax adjacent to the 9th rib.

B. Angiography shows a pseudoaneurysm (arrow) in the right intercostal artery. Transarterial embolization was performed using N-butyl cyanoacrylate: lipiodol.

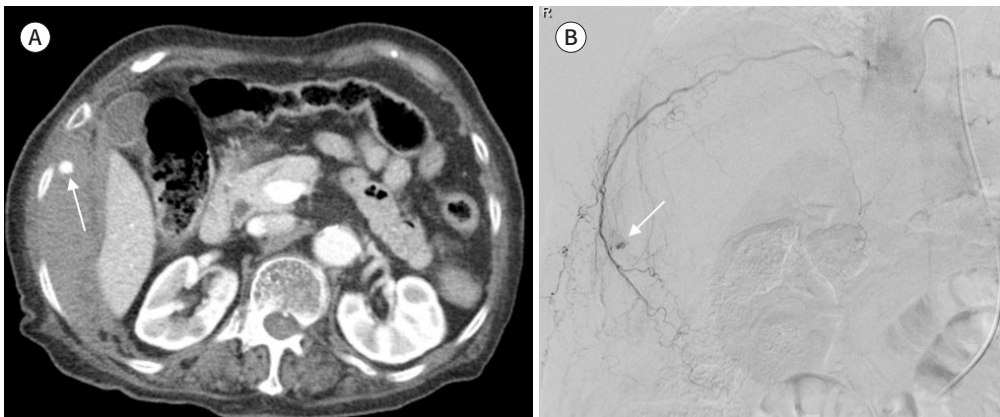


Fig. 4. A 46-year-old female presents with a sternal and multiple rib fractures following a pedestrian traffic accident.

A. Axial CT scan shows a pseudoaneurysm and hematoma around the sternal fracture (arrows).

B, C. Angiography demonstrates a pseudoaneurysm in the bilateral internal thoracic arteries (arrows).

D. Transarterial embolization was performed using microcoils and gelfoam slurry (arrow).



EAST 권고안에 따르면 24시간 동안 흉관 배액량이 1500 mL 이상이거나 시간당 200 mL 이상의 출혈이 4시간 이상 지속될 때 개흉술의 적응증이 된다(25). 외상성 혈흉은 흉부 손상 환자에서 26% 정도로 보고되고, 이에 대한 색전술은 제한적이거나 최근 몇몇 연구에서 치료성적을 보고하고 있다(26-28).

응급 수술 적응증이 아닌 혈흉이 있거나 동반된 복부나 골반 손상의 지혈을 위해 응급 동맥 색전술을 시행하는 경우, 흉부 외상에 대한 동맥색전술을 같이 고려할 수 있다. 외상으로 인한 복부 손상이나 골반 손상과는 달리 흉부 외상 환자에 대한 색전술 적응증은 명확하지 않다. 따라서 환자 CT 소견과 환자의 흉관 배액량, 외상 전문의와 의견 조율을 통해 색전술 시행 여부를 결정한다. 다만 색전술의 경우 최소 침습적인 술기(minimally invasive procedure)가 가능하고 응급상황에서 빠르게 시도할 수 있으며, 다발성 외상 환자의 경우 한 가지 접근 경로로 복강 및 골반의 출혈 역시 동시에 치료적 접근이 가능하다는 장점이 있다. 흉부 외상 환자에서 색전술을 시행하게 되는 혈관은 늑간동맥과 내흉동맥이 가장 많으며, 이 외에도 혈흉의 원인이 되는 모든 흉강 및 흉벽 동맥에 대해서도 색전술을 시행할 수 있다.

비대동맥 흉부혈관 외상의 인터벤션

외상성 흉부외상 환자에서 단일 늑간동맥 손상으로 인한 출혈이 있을 경우 수술적 접근보다는 색전술을 우선적으로 고려해 볼 수 있다. 다만 폐열상(pulmonary laceration), 폐문혈관의 손상(hilar vessel injury) 혹은 횡격막 손상(diaphragmatic rupture)이 동반되었을 경우는 수술적 접근

근을 우선적으로 고려할 수 있다(29).

비대동맥 흉부혈관의 인터벤션은 그 방법이 다른 복강 및 골반출혈에 대한 인터벤션과 비교 시에 전체적으로 비슷하다. 색전술 시행 시 대체로 접근이 쉬운 총대퇴동맥(common femoral artery)을 천자하여 시술을 시작하며 보통 4Fr 혹은 5Fr 카테터를 주 카테터로 사용하여 목표 혈관의 기시부까지 접근한다. 이때 0.035 inch 친수성 코팅 유도철사를 흔하게 사용한다. 이후 색전술 시행 전 시행된 CT가 있다면 CT의 소견 및 술기 중간에 시행한 혈관조영검사를 확인하면서 3Fr 혹은 그 이하의 미세도관(microcatheter)을 적절히 선택하고 이를 주 카테터의 내강으로 삽입 후 병변 부위에 대한 추가적 접근을 시도한다. 이때는 주로 0.014-0.018 inch 직경의 유도철사를 흔히 쓰게 된다. 혈관은 체내 3차원의 공간을 지나는 구조물이므로, 유도철사의 조작 시 특정 방향으로만 힘을 가해서는 목표하는 곳으로 유도철사 및 카테터를 진행할 수 없고, 진입하고자 하는 혈관의 진행방향이 바뀌는 것에 맞추어 유도철사에 가하는 힘의 크기나 회전력(torque) 혹은 회전 방향을 조절해야 함을 인지하고 있어야 한다. 이렇듯 주로 카테터 1개의 동일한 종축 내강을 따라서 추가적으로 미세도관을 따라 넣는 coaxial technique을 사용하여 목표한 혈관을 초선택(superselection) 하게 된다. 목표 혈관의 초선택 후 색전물질을 사용하여 지혈을 시도하게 되는데, 색전물질의 표준화된 선택기준은 아직 없어 시술자의 경험과 환자의 상황, 출혈의 정도 및 위치 등 여러 상황을 고려하여 적절한 색전 물질을 선택하게 된다. 색전물질에는 N-butyl cyanoacrylate (NBCA), 미세코일, 젤라틴 스펀지 입자(gelatin sponge particle), PVA 입자(polyvinyl alcohol particle) 등의 다양한 종류가 있다. 특정 위치에 출혈 혹은 가성동맥류(pseudoaneurysm)가 확인되어 색전이 필요할 경우 미세코일 등을 이용하여 해당 부위의 근위부 혈관만 색전한다면 결순환(collateral flow)에 의하여 성공적인 색전이 어려울 수 있다. 이러한 경우에는 목표 위치보다 좀 더 원위부까지 접근하여 원위부에서 근위부까지 모두 색전할 필요가 있다. 색전물질로 입자형이나 액상형 색전물질을 고려한다면 주변 조직의 손상 혹은 색전 효과가 나타나는 범위를 신중히 고려 후 색전물질을 주입해야 한다. 또한 색전물질의 주입 후 국소적인 혈류의 흐름 혹은 시술 후 혈액역학적 상태의 변화로 인해 색전 물질의 위치가 의도한 것과는 다르게 위치하게 되어 재출혈이 일어날 수도 있음을 유의하여야 한다.

늑간동맥에 대한 색전술을 시행할 때에는 척수 경색(spinal cord infarction)의 발생 가능성에 대하여 주의하여야 한다. 이를 위해 술전 혈관조영술에서 artery of Adamkiewicz, 앞척수동맥(anterior spinal artery)의 존재 및 그 외 척수 혈액 공급 경로를 세심하게 평가할 필요가 있다. Artery of Adamkiewicz는 가장 큰 anterior medullary branch로서 spinal cord의 하부 2/3의 혈액공급을 담당하며, 74% 정도에서 T9 및 T12 level 사이에서 관찰되며, 15% 정도에서는 T5 및 T8 level에서 관찰된다. 약 80%의 사람에서 대동맥 aorta의 좌측에서 기시한다(30). 혈관조영술에서 artery of Adamkiewicz는 그 특징적인 hair pin 모양으로 확인이 가능하며(Fig. 5) 이러한 artery of Adamkiewicz의 원위부에서 출혈 병소가 있어 색전술이 필요하다면 미세도관을 이용하여 artery of Adamkiewicz의 기시부를 넘어서 좀 더 원위부로 출혈 병소가 있는 곳으로 초선택할 필요가 있다. 이러한 경우에는 입자형 혹은 액상형 색전물질은 시술 중 다양한 원인으로 인하여 역류(reflux) 할 가능성도 있으므로 상황에 따라 미세코일 등과 같은 색전물질을 사용하여 색전술

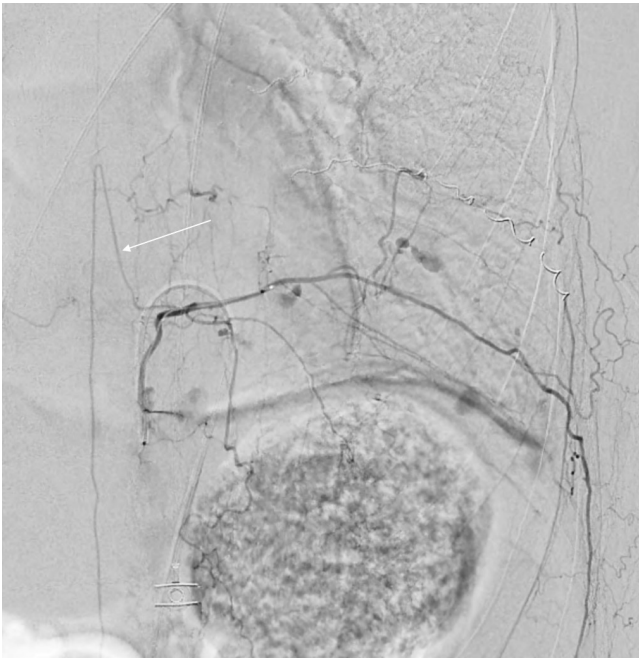


Fig. 5. An incident occurred at a construction site where a 79-year-old male was struck in the chest by a heavy object.

The patient presented with multiple left rib fractures and hemothorax. Subsequent angiography demonstrates that the anterior spinal artery (arrow) branches off the left 8th intercostal artery. Transarterial embolization was not performed due to concerns about spinal cord infarction.

을 시행하는 방법을 시도해 볼 수도 있다.

이러한 늑간동맥의 출혈에 대하여 색전술 후에도 임상적인 치료 실패가 있을 수도 있는데, 이런 경우는 폐열상이나 폐동맥손상(31)이 있는 경우, 내흉동맥이나 하횡격막동맥 등과 같은 부혈행로(collateral pathway)가 출혈에 기여하고 있는 경우(32), 2개 이상의 다수의 늑간동맥이 손상되었을 경우(33) 그러한 가능성이 높아진다.

늑간동맥 외에도 흉곽의 상부, 하부 및 측면에도 늑간동맥 외 혈류를 공급하는 흉부 혈관들이 존재하는데 이들에는 상흉동맥, 외측흉동맥, 흉견봉동맥(thoracoacromial artery), 갑상경동맥(thyrocervical artery), 하횡격막동맥(inferior phrenic artery) 등이 포함된다. 이들 혈관 역시 빈도는 낮으나 흉부 내 출혈의 원인이 될 수 있다. 이러한 동맥들은 혈흉의 원인으로는 그 빈도는 낮으나(34-36), 혈관조영술상 늑간동맥에서 출혈이 확인되지 않거나 설명할 수 없는 혈흉이 관찰될 경우 이들 혈관이 혈흉의 원인이 아닐지 의심하여야 한다. 쇄골하동맥에 대한 혈관조영술을 시행하면 이러한 혈관에서의 출혈을 다소 확인이 가능하여 흉부 외상 환자에서의 소생에 도움이 된다.

그 외 색전술 후 발생 가능한 치료 실패의 내과적인 원인으로는 만성간질환(chronic liver disease) 혹은 다량출혈로 인한 응고장애(coagulopathy)가 있는 경우가 있으며, 횡격막손상 등이 동반되어 있는 경우에도 그러한 가능성이 높아진다(29).

늑간동맥 외에 다른 흉강 내 비대동맥 혈관에 대한 인터벤션의 방법도 방법적으로는 상기한 내용과 크게 다르지 않다. 환자의 출혈 병소의 위치 및 해부학적 접근 경로 등을 고려하여 시술자가 적절한 주 카테터를 선택하게 되며 이후 적절한 크기의 미세도관을 선택하여 색전술을 시행하게 된다. 내흉동맥의 경우 쇄골하동맥에서 첫 번째로 분지하여 흉곽의 안쪽으로 복장뼈(sternum)의 외측으로 주행하여, 6번째 늑간강(6th intercostal space)에서 상복벽동맥(superior epigastric artery) 및 근횡격막동맥(musculophrenic artery)을 분지한다(37). 종격동(mediastinum)과 심막

(pericardium)에는 내흉동맥과의 부혈행로가 풍부하게 존재하므로 종격동 및 심막에 혈종이 존재할 경우 내흉동맥의 손상을 의심해 볼 수 있다. 혹은 출혈의 원인이 내흉동맥일 경우 종격동과 심막에서는 부혈행로가 풍부하여 색전 후 경색의 가능성은 다소 낮을 것으로 기대할 수 있다(38).

색전술의 임상적 성공률은 78.9%~92.6%까지 다양하게 보고된다. 심한 폐동맥 손상이 동반된 경우에는 색전술 후에도 수술을 시행하는 경우가 많다(28, 39). 또한 색전술 후에도 대량의 혈종의 제거를 위해 경피적 배액술(percutaneous catheter drainage)과 같은 추가적인 시술을 시행하는 경우도 있다.

외상성 흉부 정맥 손상

흉부의 정맥에는 상대정맥(superior vena cava), 간위 하대정맥(suprahepatic inferior vena cava), 2개의 완위정맥(brachiocephalic vein), 기정맥(azygos vein), 반기정맥(hemiazygos vein) 등이 있다. 상대정맥은 대동맥활의 앞쪽, 정중선의 약간 우측에 위치하며 2개의 완위정맥이 합류한다. 기정맥은 흉추(thoracic vertebra)의 우측에서 주행하며 우심방의 뒤편에서 상대정맥과 합류한다. 반기정맥은 흉추의 좌측에서 주행하며 기정맥과 문합(anastomosis)을 이룬다.

외상성 흉부 정맥의 손상은 그 빈도는 동맥보다는 낮으나 대동맥의 손상과 마찬가지로 급가속 및 급감속이 이루어지는 상황에서 손상을 받는 것으로 알려져 있다. 우심방은 전방의 흉골과 후방의 흉추로 인하여 상대적으로 고정되어 있는데 반해 상대정맥은 상대적으로 덜 고정되어 둔상 외상 시 전단력으로 인해 손상이 발생할 수 있다. 주요한 손상 위치로는 상대정맥과 우심방이 합류하는 지점으로 알려져 있다(40). 간위 하대정맥의 경우 손상을 받을 경우 사망률이 매우 높은 것으로 알려져 있는데, 해당 위치는 수술적 접근이 쉽지 않고 심폐우회술이 필요한 경우가 많은 것으로 알려져 있다(41). 또한 그 외 하대정맥의 손상은 개복술을 시행하는 환자의 5% 미만에서 발견되나 사망률은 50% 이상으로 보고된다(42). 이러한 하대정맥의 손상은 동맥 손상이 동반된 경우가 많으며 정맥 손상만 있는 경우는 25% 미만으로 보고된다(43). 외상성 정맥 손상의 고식적 치료 방법은 수술을 통한 결찰(ligation), 재건(repair), 혹은 거즈 충전(gauze packing) 등이다. 이러한 대정맥은 혈압이 낮게 유지되나, 손상이 있을 경우 심각한 출혈을 야기할 수 있으며, 발생 시 사망률이 높다. 그 외 완위정맥, 기정맥 혹은 반기정맥의 단독 손상도 매우 드물게 발생 가능하며 이들은 인접한 흉쇄골관절(sternoclavicular joint) 혹은 흉추의 골절이 있을 경우 동반될 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 그 외 중심정맥관 삽관 혹은 투석용 도관 삽관시 의인성(iatrogenic) 손상도 일부 보고된바 있다(44).

최근 정맥 손상에 대해서도 스텐트 그래프트 삽입을 통한 치료를 시도하여 여러 증례 보고가 이어지고 있다. 최근 26개의 증례보고에 대한 메타분석 연구에 따르면 기술적 성공률은 100%, 30일 사망률은 2.9%로 보고되었으나 좀 더 연구가 필요하다(45). 상황에 따라 외상으로 인한 큰 정맥 손상에 대해 인터벤션을 통하여 스텐트 그래프트를 설치하는 경우 최소침습적으로 시행할 수 있어 수술적 치료의 좋은 대안이 될 것이다.

결론

인터벤션은 최근 들어 외상 환자의 치료에서 그 중요성이 점차 증가하고 있다. 인터벤션은 그 편리성과 높은 신속성 및 치료 효과로 외상 환자에서 치료법으로서 주목받고 있으며, 점차 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 흉부와 대혈관의 손상에서 그 중요성은 점차 증가하고 있으며 여러 임상적 상황에서 인터벤션이 이루어지고 있다. 비대동맥성 손상은 주로 카테터를 이용한 색전술을 하고 있으며, 대동맥의 경우 TEVAR를 시행하고 있다. 이러한 시술들은 수술적 치료 방법과 비교하여 비교적 부작용이 적고 응급한 상황에서 보다 신속하게 시행할 수 있어 외상 환자의 치료에 있어 효과적인 방법이라 할 수 있다.

Author Contributions

Writing—original draft, all authors; and writing—review & editing, all authors.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

Funding

This work was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University.

REFERENCES

1. The Korean Society of Traumatology. *Text book of trauma*. 1st ed. Seoul: Panmun Education 2018;3-7, 117-120, 123-128
2. Padia SA, Ingraham CR, Moriarty JM, Wilkins LR, Bream PR Jr, Tam AL, et al. Society of Interventional Radiology position statement on endovascular intervention for trauma. *J Vasc Interv Radiol* 2020;31:363-369.e2
3. Parmley LF, Mattingly TW, Manion WC, Jahnke EJ Jr. Nonpenetrating traumatic injury of the aorta. *Circulation* 1958;17:1086-1101
4. Lee WA, Matsumura JS, Mitchell RS, Farber MA, Greenberg RK, Azizzadeh A, et al. Endovascular repair of traumatic thoracic aortic injury: clinical practice guidelines of the Society for Vascular Surgery. *J Vasc Surg* 2011;53:187-192
5. Azizzadeh A, Keyhani K, Miller CC 3rd, Coogan SM, Safi HJ, Estrera AL. Blunt traumatic aortic injury: initial experience with endovascular repair. *J Vasc Surg* 2009;49:1403-1408
6. Tang GL, Tehrani HY, Usman A, Katariya K, Otero C, Perez E, et al. Reduced mortality, paraplegia, and stroke with stent graft repair of blunt aortic transections: a modern meta-analysis. *J Vasc Surg* 2008;47:671-675
7. Xenos ES, Abedi NN, Davenport DL, Minion DJ, Hamdallah O, Sorial EE, et al. Meta-analysis of endovascular vs open repair for traumatic descending thoracic aortic rupture. *J Vasc Surg* 2008;48:1343-1351
8. Scalea TM, Feliciano DV, DuBose JJ, Ottochian M, O'Connor JV, Morrison JJ. Blunt thoracic aortic injury: endovascular repair is now the standard. *J Am Coll Surg* 2019;228:605-610
9. Fox N, Schwartz D, Salazar JH, Haut ER, Dahm P, Black JH, et al. Evaluation and management of blunt traumatic aortic injury: a practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 2015;78:136-146
10. Criado FJ, Clark NS, Barnatan MF. Stent graft repair in the aortic arch and descending thoracic aorta: a 4-year experience. *J Vasc Surg* 2002;36:1121-1128
11. Dorros G, Cohn JM. Adenosine-induced transient cardiac asystole enhances precise deployment of stent-grafts in the thoracic or abdominal aorta. *J Endovasc Surg* 1996;3:270-272
12. Jacobs TS, Won J, Gravereaux EC, Faries PL, Morrissey N, Teodorescu VJ, et al. Mechanical failure of prosthetic human implants: a 10-year experience with aortic stent graft devices. *J Vasc Surg* 2003;37:16-26
13. McBride CL, Dubose JJ, Miller CC 3rd, Perlick AP, Charlton-Ouw KM, Estrera AL, et al. Intentional left subclavian artery coverage during thoracic endovascular aortic repair for traumatic aortic injury. *J Vasc Surg* 2015;

61:73-79

14. Lee M, Lee DY, Kim MD, Won JY, Yune YN, Lee TY, et al. Selective coverage of the left subclavian artery without revascularization in patients with bilateral patent vertebrobasilar junctions during thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg* 2013;57:1311-1316
15. Canaud L, Ziza V, Ozdemir BA, Berthet JP, Marty-Ané CH, Alric P. Outcomes of left subclavian artery transposition for hybrid aortic arch debranching. *Ann Vasc Surg* 2017;40:94-97
16. Saouti N, Hindori V, Morshuis WJ, Heijmen RH. Left subclavian artery revascularization as part of thoracic stent grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 2015;47:120-125; discussion 125
17. Bae M, Jeon CH, Kwon H, Kim JH, Choi SU, Song S. Evaluation of zone 2 thoracic endovascular aortic repair performed with and without prophylactic embolization of the left subclavian artery in patients with traumatic aortic injury. *Korean J Radiol* 2021;22:577-583
18. Chen X, Wang J, Premaratne S, Zhao J, Zhang WW. Meta-analysis of the outcomes of revascularization after intentional coverage of the left subclavian artery for thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg* 2019;70:1330-1340
19. Rizvi AZ, Murad MH, Fairman RM, Erwin PJ, Montori VM. The effect of left subclavian artery coverage on morbidity and mortality in patients undergoing endovascular thoracic aortic interventions: a systematic review and meta-analysis. *J Vasc Surg* 2009;50:1159-1169
20. Matsumura JS, Lee WA, Mitchell RS, Farber MA, Murad MH, Lumsden AB, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines: management of the left subclavian artery with thoracic endovascular aortic repair. *J Vasc Surg* 2009;50:1155-1158
21. Jonker FH, Verhagen HJ, Mojibian H, Davis KA, Moll FL, Muhs BE. Aortic endograft sizing in trauma patients with hemodynamic instability. *J Vasc Surg* 2010;52:39-44
22. Richardson JD, Miller FB, Carrillo EH, Spain DA. Complex thoracic injuries. *Surg Clin North Am* 1996;76:725-748
23. Bozzay JD, Bradley MJ. Management of post-traumatic retained hemothorax. *Trauma* 2019;21:14-20
24. Gonzalez G, Robert C, Petit L, Biass M, Carrié C. May the initial CT scan predict the occurrence of delayed hemothorax in blunt chest trauma patients? *Eur J Trauma Emerg Surg* 2021;47:71-78
25. Mowery NT, Gunter OL, Collier BR, Diaz JJ Jr, Haut E, Hildreth A, et al. Practice management guidelines for management of hemothorax and occult pneumothorax. *J Trauma* 2011;70:510-518
26. Chemelli AP, Thauerer M, Wiedermann F, Strasak A, Klocker J, Chemelli-Steingruber IE. Transcatheter arterial embolization for the management of iatrogenic and blunt traumatic intercostal artery injuries. *J Vasc Surg* 2009;49:1505-1513
27. Hagiwara A, Yanagawa Y, Kaneko N, Takasu A, Hatanaka K, Sakamoto T, et al. Indications for transcatheter arterial embolization in persistent hemothorax caused by blunt trauma. *J Trauma* 2008;65:589-594
28. Lee CM, Jeon CH, Lee R, Kwon H, Kim CW, Kim JH, et al. Traumatic hemothorax caused by thoracic wall and intrathoracic injuries: clinical outcomes of transcatheter systemic artery embolization. *J Korean Soc Radiol* 2021;82:923-935
29. Ota K, Fumimoto S, Iida R, Kataoka T, Ota K, Taniguchi K, et al. Massive hemothorax due to two bleeding sources with minor injury mechanism: a case report. *J Med Case Rep* 2018;12:291
30. Brown AC, Ray CE. Anterior spinal cord infarction following bronchial artery embolization. *Semin Intervent Radiol* 2012;29:241-244
31. Izaaryene JJ, Soussan J, Chaumoitre K, Bartoli JM, Vidal V, Gaubert JY. Posttraumatic hemothorax with active bleeding: a dual origin from intercostal and pulmonary arteries should be considered. *Diagn Interv Imaging* 2017;98:443-445
32. Sekino S, Takagi H, Kubota H, Kato T, Matsuno Y, Umemoto T. Intercostal artery pseudoaneurysm due to stab wound. *J Vasc Surg* 2005;42:352-356
33. Tamburini N, Carriel N, Cavallesco G, Molins L, Galeotti R, Guzmán R, et al. Technical results, clinical efficacy and predictors of outcome of intercostal arteries embolization for hemothorax: a two-institutions' experience. *J Thorac Dis* 2019;11:4693-4699
34. Pontell M, Scantling D, Babcock J, Trebelev A, Nunez A. Lateral thoracic artery pseudoaneurysm as a result of penetrating chest trauma. *J Radiol Case Rep* 2017;11:14-19
35. Aoki M, Shibuya K, Kaneko M, Koizumi A, Murata M, Nakajima J, et al. Massive hemothorax due to inferior phrenic artery injury after blunt trauma. *World J Emerg Surg* 2015;10:58

36. Yamanashi K, Nakao S, Idoguchi K, Matsuoka T. A case of delayed hemothorax with an inferior phrenic artery injury detected and treated endovascularly. *Clin Case Rep* 2015;3:660-663
37. McVay CB. *Anson and McVay surgical anatomy (vol 1)*. 6th ed. Philadelphia, PA: WB Saunders Ltd 1984:347-349
38. Whigham CJ Jr, Fisher RG, Goodman CJ, Dodds CA, Trinh CC. Traumatic injury of the internal mammary artery: embolization versus surgical and nonoperative management. *Emerg Radiol* 2002;9:201-207
39. Stampfl U, Sommer CM, Bellemann N, Kortess N, Gnutzmann D, Mokry T, et al. Emergency embolization for the treatment of acute hemorrhage from intercostal arteries. *Emerg Radiol* 2014;21:565-570
40. Robbs JV, Reddy E. Management options for penetrating injuries to the great veins of the neck and superior mediastinum. *Surg Gynecol Obstet* 1987;165:323-326
41. Leon M, Chavez LO, Chavez A, Surani S. Blunt aortic / inferior vena cava injury: are we consistently providing the same level of care? *Cureus* 2020;12:e6832
42. Huerta S, Bui TD, Nguyen TH, Banimahd FN, Porral D, Dolich MO. Predictors of mortality and management of patients with traumatic inferior vena cava injuries. *Am Surg* 2006;72:290-296
43. Lauerma MH, Rybin D, Doros G, Kalish J, Hamburg N, Eberhardt RT, et al. Characterization and outcomes of iliac vessel injury in the 21st century: a review of the national trauma data bank. *Vasc Endovascular Surg* 2013;47:325-330
44. Turkyilmaz A, Karapolat S, Kilic M, Tekinbas C. The perforation of the superior vena cava secondary to the left subclavian dialysis catheter. *Vasc Endovascular Surg* 2017;51:95-97
45. Smeets RR, Demir D, van Laanen J, Schurink GWH, Mees BME. Use of covered stent grafts as treatment of traumatic venous injury to the inferior vena cava and iliac veins: a systematic review. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord* 2021;9:1577-1587.e1

흉부 및 대혈관 외상의 인터벤션

이호준¹ · 권 훈^{1*} · 김창원^{1,2} · 황보라¹

외상(trauma)이란 신체 외부에서 작용한 힘에 의한 여러 해부학적, 병태생리학적 변화를 수반하는 신체 손상을 의미한다. 외상 환자는 우리 사회가 고도로 발달해 감에 따라 그 수도 따라 증가하고 있다. 치료 및 진단기술의 발전과 보급의 증가로 외상의학의 중요성은 점점 커지고 있으며 그 수요 역시 증가하고 있다. 그중 특히 흉부 및 흉부의 대혈관의 손상은 환자의 생명을 위협하고 그 후유증 역시 심각한 경우가 많아 진단 및 치료 방법의 중요성이 점차 증가하고 있는 추세이다. 흉부 및 흉부의 대혈관의 외상이 발생하였을 경우 그 사고 수상 기전 및 관련된 해부학적 손상 기전에 따라서 다양한 정도의 신체 손상이 발생한다. 주요한 손상으로서는 흉부의 동맥에서 발생하는 출혈이 있으며, 이는 혈액학적 불안정과 응고장애 등을 동반하여 환자의 생명을 위협하게 된다. 이러한 손상은 즉각적인 진단과 빠른 치료적 접근이 예후를 증진하는데 도움을 주는 경우가 많다. 이러한 환자의 치료로는 환자의 상태에 따라서 수술적 접근 방법과 중재적 시술로 접근하는 방법이 있다. 이 중 중재적 시술은 그 편리성과 신속성 및 높은 치료 효과로 인해 점차 각광받고 있으며, 전 세계적으로 보다 많은 외상의료 기관에서 점차 시행되고 있다. 대표적인 흉부 외상 환자의 인터벤션 치료로는 비대동맥성 손상의 경우 색전술(embolization)이 있으며, 대동맥의 경우 thoracic endovascular aortic repair (TEVAR)가 있다. 이러한 시술들은 수술적 치료 방법에 비하여 내과적 혹은 외과적 부작용이 적고, 수술적 방법보다 신속하게 시행할 수 있는 점 등 보다 많은 장점을 가지고 있으며 외상 환자의 치료성적 향상에 기여하고 있다.

¹부산대학교병원 영상의학과,

²부산대학교 의과대학 영상의학교실