

요부 전경막외강 접근 Lumbar Ventral Epidural Approach

심재철

한양대학교 의과대학 마취통증의학교실

Jae Chol Shim, M.D., Ph.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine,
Hanyang University, College of Medicine, Seoul, Korea

책임저자 주소: 138-788, 서울시 성동구 행당동 17번지

한양대학병원 마취통증의학과

Tel: 02-2290-8688, Fax: 02-2299-8692

E-mail: jcshim@hanyang.ac.kr

투고일자: 2011년 4월 8일 심사일자: 2011년 4월 22일 게재확정일자: 2011년 5월 13일

Abstract

The utilization of transforaminal epidural steroid injections (TFESIs), an elective diagnostic and therapeutic spinal procedure, has risen dramatically over the past decade. The transforaminal technique uses a needle that approaches the posterolateral aspect of the intervertebral foramen.

Despite the superiority of the transforaminal route, transforaminal blocks have been associated with devastating neurological complications, particularly paraplegia. Since the radiological target advocated for transforaminal injections matches the superoanterior portion of the foramen, it comes as no surprise that this approach renders radiculomedullary arteries vulnerable to injury.

The author uses retrograde interlaminar ventral epidural steroid injection with catheters to obtain a theoretically advantageous placement of epidural corticosteroid. Epidurography of such injections does demonstrate that this approach more fre-

quently achieves coverage of both the putative disc source of nerve irritation and of the affected segmental nerve.

Key Words: Epidural, Infarct, Nerve block, Spinal cord

서론

경막외강내 스테로이드 주사는 보존적 치료에 반응하지 않는 경부 및 요부 방산통(radiating pain) 조절목적으로 흔히 시행된다. 이 수기는 항염증성 약제(anti-inflammatory medication)를 해당 신경근의 신경주위(perineural environment)에 투여함을 목적으로 한다. 더욱이 대부분의 병태생리는 추간관과 경막간의 상호작용(discodural interaction)이 발생하는 전경막외강(ventral epidural space)에 존재한다. 염증반응은 전경막외강에 인접한 추간관/신경근 접촉면(disc nerve root interface; DNRI)에 국재화되므로¹ 스테로이드로 대표되는 항염증성 약제 투여의 목표점은 당연히 전경막외강이 된다. 기술적으로 전경막외강에 접근하기 위한 가장 유리한 방법으로는 경추간공 경막외 스테로이드 주입(transforaminal epidural steroid injection; TFESI)이 소개되고 있다. 제한적인 근거^{2, 3}이지만 TFESI의 효율성(efficacy)이 다른 접근방법인 판간 경막외주사(interlaminar epidural steroid injection; ILES)에 의한 스테로이드 주사에 비하여 유리하다. ILES의 36%에서만 주사된 약제가 전경막외강에 도달하기 때문이다.¹ 결과적으로 ILES에 대신하여 TFESI 시행이 증가되는 추세이며, TFESI은 검증된 수기이며, 많은 연구에서 그 진통효과가 증명되었다.⁴⁻⁸ 최근 경추⁹⁻¹⁷ 혹은 요추¹⁸⁻²²에서 행한 TFESI 이후 심각한 척수정맥을 포함한 파열적 신경학적 손상이 보고되고 있다. 현재까지 이러한 합병증의 확률(probability)은 평가된 바 없지만, 경추, 흉추, 요추를 포함하는 척추 모든 레벨에서 시행된 경추간공 블록 후 발생한다. 경추 부위에서의 TFESI 시행

이후 사지 마비를 유발하는 척수경색^{12, 23}, 안맹(cortical blindness) 및 뇌졸중(stroke)^{13, 14}이 보고되었으며, 요추 부위에서의 TFESI 시행 이후 척수원추(conus medullaris)의 경색에 의한 마비¹⁹ 등이 보고되었다. 결과적으로 효과적인 진통효과에도 불구하고 TFESI에 의하여 간혹 척수손상 및 영구적 하지마비 등의 합병증이 유발되는 것이다.²⁴

잘 기록된 증례에서는 척수경색이 동맥혈관 문제에 기인함(arterial origin)을 암시한다. 가장 인정할 만한 가설은 입자화된 스테로이드(particulate steroid)의 우발적 동맥 내 주사(inadvertent intra-arterial injection)로 인한 혈전(embolus)에 의한 전척수동맥(anterior spinal artery) 혹은 척추동맥(vertebral artery) 영역의 경색 즉, 우발적인 입자화된 스테로이드의 동맥 내 주사후의 말초소동맥 폐쇄(end arteriolar occlusion)에 의한 허혈로 추측되며^{14, 23, 25, 26} 이는 최근 동물실험에서 확인되었다.^{27, 28} 결과적으로 TFESI과 관련되어 발생하는 척수경색(spinal cord infarction; SCI)은 영구적인 기능소실 위험성을 동반하는 심각한 신경학적 손상을 유발하는 혈관성 합병증(vascular event)이다.

수 년 동안 요추부에서 TFESI 시행 시, “safe triangle”은 세계척추중재요법학회(International Spinal Interventional Society; ISIS) 연수과정, 각 학회별 세미나, 워크, 교과서 등을 통하여 척추중재시술을 행하는 의사들에게 TFESI의 필수적 접근방법으로 교육되었으며, 이 수기는 통증중재적 치료에 있어 필수불가결한 것으로 생각되었다. TFESI 시행 시 추천되는 방사선적 목표점 즉 “safe triangle”은 추간공 상전방 부분이므로, 이러한 “safe triangle” 접근법에 의한 TFESI를 시행할 경우 “safe triangle”을 지나는 신경근수질동맥(radiculomedullary artery; artery of Adamkiewicz)은 신경블록침에 의한 외부 손상에 취약할 수 밖에 없다.²⁹

C자형 영상증강장치(static intermittent fluoroscopy) 및 CT 시행 하에 경험 많은 전문가가 행하는 TFESI를 시행한 후에도 발생한다. 가역적 양성 통증을 호소하는 외래환자에게 잘 훈련 받은 의사가 일상적으로 행하는 신경블록 시행 수분 후에 마비가 발생하게 되는 것이다. 예상하지 못한, 설명하기 어려운 이러한 합병증에 관한 최근의 보고를 근거로 할 때, 이 치료의 효율성과 안전성, 접근방법에 대한 새로운 평가가 필요하다. TFESI이 시행되고 있는 수에 비교하면 척수경색 발생은 드문 편이다. 그러나 이러한 척수경색 발생을 더 이상 예외적인 것으로 취급할 수 없다. 그 이유는 이러한 합

병증례의 보고가 증가되고 있기 때문이다. 이러한 사실은 TFESI을 시행하는 의사수의 증가, 최초 보고된 이후 이에 관한 보고가 증가되고 있음을 반영한다.

최근의 ISIS에서 행하는 bioskill lab 교재에서는 이러한 “safe triangle” 접근법을 요추 제 4, 5레벨 및 제 1 천추 레벨에 대한 접근 시에만 적용하는 것으로 제한하는 경향이 있다. 그러나 이러한 임시 방편적인 어중간한 지침은 합병증 발생 방식을 위하여는 충분하지 않다. 요추 제 4, 5레벨 및 제 1 천추 레벨에 소위 “safe triangle” 접근법을 허용함은 이러한 접근법의 위험성을 감소시키지 못한다. 그 이유는 대부분의 TFESI이 요추 제 4, 5레벨 및 제 1 천추 레벨에서 행하기 때문이다. 지금까지 이러한 경과적인 방침을 포함하여, 경추간공 경막외막의 블록의 합병증, 합병증을 방지하기 위한 노력에 관한 많은 기술^{30, 31}이 있었다. 그러나 경추간공 경막외막의 블록은 합병증 발생을 피할 수 없는 접근방법이라는 한계를 가지고 있음을 부인하기는 어렵다. 실제적으로, 영상증강장치를 시행하더라도 혈관내 주사의 57%를 관찰하지 못한다.³² 따라서 전경막외강에 대한 새로운 접근방법을 찾지 않고 한계를 가진 기존의 경추간공 경막외막의 블록의 합병증 발생을 방지하기 위한 노력을 기술함은 큰 의미가 없으며²⁹ 저자 역시 이런 의견에 동의한다. 하지마비는 중요한 혈관을 통한 혈류의 차단에 의한 엄청난 손상이다. 이러한 혈류차단은 혈전(embolization), 혈관내 신경블록침 삽입(cannulation), 혈관내 피병(intimal flap), 혈관수축(vasospasm), 동맥 손상 등에 의해 유발된다. 이러한 합병증은 “unsafe triangle”에 대한 접근을 완전히 포기함으로써 피할 수 있다. 이러한 제약에 가까운 합병증은 검은 고니 효과(black swan effect)이며 근본적 원인에 대한 조사가 요구된다. 저자는 근본적 원인은 “unsafe triangle”이라고 믿는다. 따라서 요부에서의 TFESI을 안전하고 효율적으로 시행하기 위하여 “safe triangle”이 아닌 새로운 해부학적 구조물을 목표로 하는 전경막외강내 접근법에 대한 연구가 요구된다.

본 론

1. 전경막외강 주사 시행의 전제조건

임상적으로 이러한 TFESI은 요추 및 경추에서 유래하는 신경근성 통증으로 고통 받는 환자에게 적용된다. 경막외강내

스테로이드 투여는 의학적 합의 및 open study에서의 임상적 결과에 근거하여 수십 년 간 시행되고 있다. 그러나 TFESI에 국한할 경우 유효기간이 상대적으로 짧은 신경근성 통증(recent onset lumbar radicular pain)이 단기적으로 개선되는 것 외에는, TFESI의 임상적 효율성에 관한 통계적 근거는 결여되어 있다.³³ 대조연구의 수가 매우 적은 것은 재정적 이유 외에, 이러한 대조연구의 임상적 목적에 대한 다음과 같은 합의에 도달하기 어렵기 때문인 것으로 설명할 수 있다; 1) 장기간의 경구적 치료 후에 신경근성 통증을 치료할 것인가? 혹은 만성화에 의한 저항성을 피하기 위하여 단기간 경과 관찰 후에 치료할 것인가? 2) 스테로이드 주사가 단지 단기적인 개선만을 가져오는 것은 아닌가? 혹은 장기적 개선이 유지될 것인가? 3) 스테로이드 주사 후 증상 개선을 평가함에 있어, 통증만을 기준으로 할 것인가? 혹은 전체적인 기능의 장애를 고려할 것인가?

따라서 환자 자신의 신경근성 통증(radicular pain)은 대부분 시간경과에 따라 자연적으로 개선될 가능성이 있고, TFESI시행 그 자체로 인하여 사망 혹은 심각한 마비(paralysis) 발생 위험성이 있음을 환자에게 미리 고지한 이후에 TFESI 시행을 제안함이 적절하다.

2. TFESIs의 문제점

“Safe triangle”에 대한 접근법은 ISIS에 의하여 기본적인 방법으로 추천되고 있다.³⁴ “Safe triangle” 내에 신경블록침을 위치시키는 것은 흉요추부위 TFESI을 시행하는 정확한 방법으로 인정되며, 그 방법상의 위험성에도 불구하고 널리 시행되고 있다. “Safe triangle” 내 혈관분포의 해부학적 면이 TFESI 시행과 관련된 부분이 충분히 이해되지 않고 있음에도 불구하고 이러한 수기가 널리 시행되고 있는 것이다. 따라서 이율배반적이지만, 추천되는 목표점에 신경블록침을 정확하게 위치시키면 시킬수록 오히려 동맥천자 발생 가능성이 증가하는 것이며 그 이유는 척수신경과 신경근 수질동맥이 인접하기 지나기 때문이다. 그러함에도 불구하고 의사들은 마치 면제권을 가진 것처럼 “safe triangle” 수기를 계속하고 있다.

TFESI에 의한 하지마비는 검은 고니 효과로서, 극단적으로 예외적이어서 발생 가능성이 없어 보이지만 일단 발생하면 엄청난 충격과 파급효과를 가져오는 것에 해당한다. 이러한 일이 발생한 후 그 사건은 마치 그런 일을 예견할 수 있었던 것처럼 뒤늦게 합리화된다. TFESI과 연관된 하지마비는 매

우 드문 사건이고, 하지마비가 유발되기도 하므로 그 발생에 의한 충격은 매우 크며, 일단 사건이 발생하고 나면 그 사건은 시간이 지나고 나서 소송과 증언에 의하여 합리화된다. 시술자들은 TFESI과 연관된 하지마비를 방어하기 위한 서로 다른 전략을 개발하였다. 투자에 성공한 사람들의 보이지 않는 노력과 리스크 관리에 무시한 채 오로지 그 결과만 쫓는 오류를 범하게 된다. 이렇게 다른 사람이 성공한 사례, 그 중에서도 그 결과만 보고 자신도 이를 할 수 있다고 여기는 것을 생존편의(survivorship bias)라고 한다. 신경블록에서도 많은 시술자들이 생존편의- TFESI 시행 시 매우 드물게 발생할 수 있는 하지마비에 초점을 맞추지 못하고 TFESI 시행을 합병증 없이 마친 많은 수의 시술자에 초점을 맞추는 논리적 오류-를 가지고 있다. 이러한 검은 고니 효과는 시행방법을 변경함으로써 제거할 수 있다.

3. “Safe triangle”을 피해야 하는 해부학적 근거

“Safe triangle”을 기술함에 있어 혈관해부에 관한 부분이 결여되어 있다. 흉요추부위 척수의 전방부분은 전척수동맥에 의하여 혈액을 전적으로 공급받는다. 전척수 동맥은 국제 부위가 매우 다양한 신경근 수질동맥을 통한 혈류공급에 의존한다. 대동맥우회술(aortic bypass) 후의 하지마비는 이러한 신경근 수질동맥을 통한 혈류공급의 장애로 설명할 수 있다. 따라서 수술 시행 전에 이러한 신경근 수질동맥의 위치를 확인함이 중요하다. 아울러 중재적 요법 시행 중에 이러한 동맥에 대한 손상을 피하는 것은 역시 매우 중요하다. 신경근 수질동맥에 관련되어 신경블록에 관련된 임상적 내포사항에 관한 많은 보고가 있다.³⁵⁻³⁷ 이러한 신경근 수질동맥 외에 신경블록 시행 시 예측하지 못한 이형동맥, 이전 수술 등에 의한 혈관신생에 대하여 기술한다.

1) 해부학적 변이; 이형동맥(arterial variants)

2005년에 발표된 사체연구에서 Huntroom³⁸은 경부 추간공 부위에 위치한 이형동맥에 관하여 기술하였다. 이 연구에서 몇 구의 사체에서 추간공 동맥(foraminal artery)이 척추동맥과 만나거나, 척수에 혈류를 공급함을 관찰하였다. 따라서 경부에서는 추간공 동맥이 이형동맥에 해당한다.

요추에서는 1882년 Adamkiewicz가 기술한 바와 같이 척수 원추(medullary cornu)에 혈액을 공급하는 이형동맥이 관찰된다. Desproges-Gotteron은 10,000명의 좌골신경통 호

소 환자 중에서 좌골신경통과 함께 중등도 이상의 운동력 소실(motor loss)을 동반하는 91명의 환자를 관찰하였다. 그의 관찰중의 중요한 사항은 추간관 탈출증의 크기가 운동력 소실의 발생과 연관되지 않는 것이었다. 따라서 혈관요소(vascular factor)를 의심하지 않을 수 없었으며, L5 및 S1 신경근에 대한 혈액공급을 연구할 목적으로 신선사체(flesh cadaver)에 대하여 혈관내 주사(vascular injection technique)를 시행하였다. 12 구 사체 중 3 사체에서 L5 및 S1에 혈류를 공급하는 소동맥(arteriole)이 척수전각까지 확장됨을 관찰하였다. 그 직경이 다양하지만 이러한 소동맥을 “Desproges-Gotteron arteries”로 명명하였다.³⁹ 즉 L5 혹은 S1 신경근 동맥(radicular artery)의 해부학적 이형(anatomic variant)가 신경근 및 척수전각에 혈액을 공급한다. Desproges-Gotteron이 제시한 병태생리기전-탈출된 추간관 크기와 마비성 하지 방산통(paralyzing sciatica)간의 독립성에 대한 설명-은 동시에 L5 혹은 S1 TFESI후 척수경색 발생을 설명한다. 이러한 이형혈관에 대한 손상은 해당 신경근 외에도 인근 신경근이 기시하는 척수에도 운동력 소실을 동반하는 허혈을 유발한다. Desproges-Gotteron은 이형성 신경근 동맥에 의한 예기치 못한 허혈 발생 설명을 가설함에 있어 Huntoon³⁸보다 앞섰으며, 전자는 요부를 후자는 경부를 대상으로 한 차이가 있을 뿐이다. 추간공 부위에서 Desproges-Gotteron artery는 신경근에 인접하여 따라서 경추간공 경막의 블록 시 손상에 취약하다.

2) 혈관신생(neoangiogenesis)

요추 레벨에서는 Houte과 Errico의 세 증례,¹⁹ Huntoon과 Martin의 증례²⁴ 등 척수경색 발생의 대부분은 요추수술과 거력이 있는 환자에서 관찰된다. 수술 후 척주관 주위 근처의 및 척주관 내부의 반흔조직 형성으로 유발된 혈관신생이 전 척수동맥에서 가지에서 기시할 수 있다.

4. TFESI 시행 시 고려사항

퇴행성 변화에 의하여 경막낭(dural sac)이 심하게 협착된 부위 그 자체에, 우발적으로 정확하게 신경블록이 시행될 경우, 요부 척주관(central lumbar canal)의 신경근 수질동맥은 신경블록침 선단 근처에 위치할 가능성이 높고 따라서 혈관손상의 가능성이 현저하게 증가한다. 저자는 신경블록침 국제화 및 약제주입은 협착이 가장 심한 곳에서는 시행하지 않는 것을 권한다. 또한 저자는 주사부위의 기계적 저항에 대

하여 약제를 주입하는 것에 반대한다. TFESI시행 후 발생한 척수경색에 관한 보고에서는 방시상접근법(parasagittal route-transforaminal) 보다는 시상접근법(sagittal route-sacroccygeal hiatus 혹은 interspinous) 시행을 고려할 필요가 있음을 암시한다. 그러나 이러한 결정에 앞서 경색발생 증례보고에서 표준적인 시행이 이루어졌는가에 대한 평가를 요한다.

5. Kambin triangle TFESI (KT-TFESI)

신경근 주위에 접근하기 위한 보조적 접근법으로써 추간관 후방 접근법(retrodiscal approach; RA)⁴⁰이 소개되었으며 추후 추간관 후방에 도관을 삽입하는 방법⁴¹이 소개되었다. 추간관 후방에 삽입된 신경블록침 혹은 도관이 위치하는 해부학적 구조를 Glaser²⁹가 Kambin triangle로 설명하기 전까지는 신경블록침 혹은 도관이 위치하는 해부학적 구조가 명확하게 설명되지 못하였다. Glaser는 Kambin triangle을 목표점으로 하는 TFESI을 Kambin triangle TFESI (KT-TFESI)로 명명하였다. RA 시행 시 신경블록침의 목표점은 Glaser가 설명한 Kambin triangle 범위 내에 포함되므로 RA 수기 자체를 KT-TFESI에 포함되는 것으로 간주된다.

1) 추간관 후방 TFESI (Retrodiscal approach TFESI; RA-TFESI)

원래는 TFESI에 대한 보조적 목적의 수기로 소개되었다. TFESI 시행하였음에도 불구하고 척주관 협착증 등의 해부학적 요인에 의하여 신경근의 신경절 상방 근위부 약제 확산이 제한될 수 있다. 그 이유는 TFESI 시행 시 삽입되는 신경블록침 선단 위치보다 상방 추간관 레벨에서 척주관협착증, 추간관 탈출증 등에 의한 협착이 존재하기 때문이다. 이러한 경우 TFESI의 보조적 목적으로 시행하였다.

방사선 측면상에서 전경막외강의 모양은 추간관 레벨에서는 좁고, 추간공 부근에서는 넓은 형태가 반복적으로 지속됨을 알 수 있다(Fig. 1). 따라서 추간관 레벨에서 후방으로부터 신경블록침을 삽입하는 RA 시행 그 자체에는 추간관내 주사의 위험성이 상존한다. 더욱이 추간관내 주사의 가능성이 상대적으로 적을 것으로 추측되는 TFESI에서 조차 추간관내 주사에 관한 증례⁴²⁻⁴⁵가 보고되고 있다.

Lew 등⁴⁰은 전 후근신경절 접근법(preganglionic approach) 시행을 위한 방사선적 지표를 기술하였으며, 상관절돌기 외측을 목표로 하여 신경블록침을 추체상연과 평행하게 삽입한

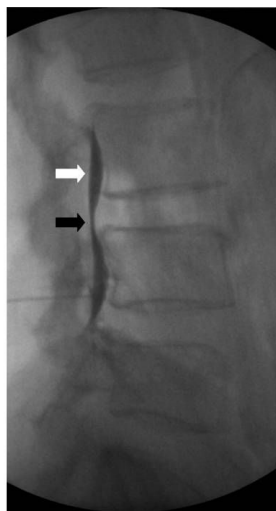


Fig. 1. Fluoroscopic lateral image of a ventral epidural space with contrast media spreading. Ventral epidural space is narrow at the disc level (black arrow) compared with supra-raminal level (white arrow).

다는 면에서 추간판내 주사와 유사하다. 신경블록침의 최종 위치는 상위 척추의 추간공 하부, 섬유륜 및 후종인대의 바로 후방이다. 이 부위에서 주사할 경우 주입된 약제는, 가로지르는 신경근(traversing nerve root)이 추간판에 가장 근접하여 위치하는 부위 즉 압박되는 해당 척수신경의 전 후근신경절 부근의 경막외강(epidural preganglionic site of neural impingement)에 위치한다. 주입된 약제는 해당 추간공을 빠져나가는 신경근(exiting nerve root)의 추간공하 부위 및 경막외강내 부위로 내려간다(Fig. 2).

따라서 RA-TFESI를 시행하는 경우, 탈출된 추간판의 이동 여부 등 환자 개개인의 특이적 해부에 대한 상세한 파악과 준비가 필요하다. 추간판이 상방 및 측방으로 전이되는 경우는 매우 드물지만 이러한 경우 추간판내 주사 가능성이 증가한다. 더 흔히 관찰되는 측방 추간판탈출증(lateral disc herniation)의 경우, TFESI 혹은 RA-TFESI 시행 시 추간판내 주사 가능성이 증가한다. 이 경우 척수신경은 척추뿌리 하방을 향하여 상방으로 밀려서 들어올려지고 척수신경이 존재하던 공간을 추간판이 대신하여 점유하게 됨으로써 추간판내 주사 발생 가능성이 증가한다.

추간판내 주사는 보존적으로 치료할 수 있지만 진행될 경우에는 좀더 침습적 치료가 요구된다. 드물기는 하지만 추간판내 주사에 의하여 추간판염, 더욱 진행되어 골수염이 병발할 수 있다. 추간판염의 경우 외과적 수술(추체절제술 및 유합술)을 피하기 위하여는 수주간의 항생제 투여가 필요하다.

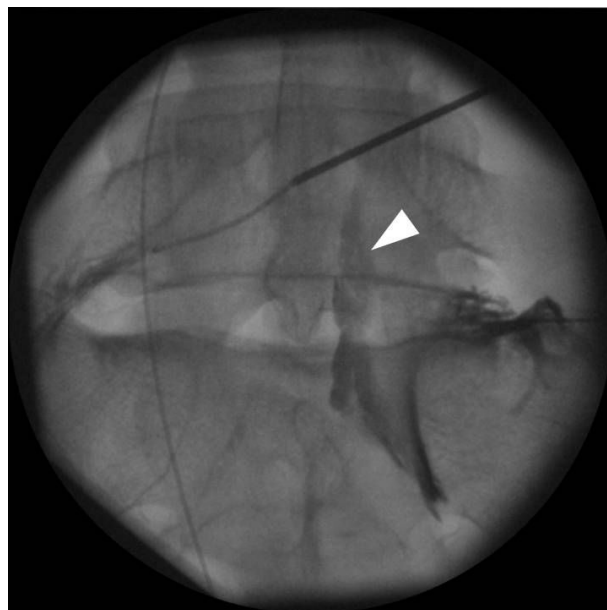


Fig. 2. Fluoroscopic image (antero-posterior view) of epidural steroid injection of the right S1 root. Arrow, intraforaminal and epidural portion of the exiting nerve root.

2) Kambin triangle의 정의

후측방 내시경 추간판 절제술(posterolateral endoscopic discectomy; PED)을 시행하기 위한 외과적 접근방법으로 추간판 후방으로 접근하게 되었다. 이러한 추간판 후방부위는 Kambin triangle^{46, 47}로 명명되었으며 추간판의 후측방부를 덮고 있는 직삼각형 모양이다. 삼각형은 빗변, 밑변, 높이로 구성되며 빗변은 추간공을 빠져나가는 척수신경(exiting nerve), 밑변은 하방의 추체, 높이는 아래 레벨로 진행되는 척수신경(traversing nerve)이다. 추간판을 비스듬하게 대각선으로 하강할 때, 추간판절개(annulotomy) 부위는 아래 쪽으로는 위부추 체, 후방은 하위 추체의 상관절돌기로 구성된다. 척수신경은 추간공으로부터 전측방으로 진행하면서 삼각형의 전방을 구성한다.

3) KT-TFESI의 안전성 및 시행상의 이점

Kambin triangle내에는 기구를 삽입할 수 있는 충분한 공간이 있다. PED를 시행하는 경우, 다양한 굵기의 기구가 삼각형을 통과함에도 불구하고, 이러한 조작에 의하여 절제술 시행 시 기구에 의한 부작용 발생은 매우 적다. KT-TFESI를 시행하는 경우 조작이 적고 삽입되는 기구 역시 PED 시행 시보다 훨씬 적은 작은 직경의 신경블록침을 삽입하므로 기구 자체에 의한 부작용 발생은 없다.

TFESI 시행에 의한 하지마비 등의 위험성을 피하고, 추간판 신경근 접점(disc-nerve root interface; DNRI)으로의 용이한 접근을 목적으로 Glaser에 의하여 KT-TFESI이 제안되었다. PED의 상대적 안전성은 신경근 및 혈관손상 측면에서 KT-TFESI의 안전성이 뒷받침됨을 암시한다. 더욱이 TFESI의 목적은 DNRI를 목표점으로 하는 것이며, Kambin triangle은 이러한 해부학적 목표점에 쉽게 접근할 수 있는 통로이다. 더욱이 “safe triangle” 대신 Kambin triangle을 목표점으로 하는 것은 TFESI의 효율성을 개선시키는 것으로 가정할 수 있다. 이러한 KT-TFESI에서는 스테로이드가 DNRI에 바로 점적주입(instillation)된다. 반면 “safe triangle”에 행하는 TFESI에서는 직접적으로 DNRI를 목표점으로 하는 것이 아니고 DNRI의 원위부에 스테로이드를 투여하게 되는 것이다.

KT-TFESI에는 RA-TFESI, pars interarticularis TFESI (PI-TFESI), 경막외 도관을 이용한 lumbar interlaminar ventral epidural steroid injection (LIVESI) 등이 포함되는 것으로 간주하였다. 그러나 RA-TFESI에서는 추간판내 주사 가능성이 현저하고, 이러한 접근법 저자^{40, 41}들이 Kambin triangle을 언급하지 않았던 사실에 근거하여 RA-TFESI과 KT-TFESI은 별개의 접근법으로 구분하였다.

4) KT-TFESI의 수기

KT-TFESI을 시행함에 있어 C자형 영상증강장치에 골성 구조로 표시되는 지표가 있을 경우 신경블록을 시행함에 있어 방사선 노출이 감소될 수 있음을 짐작할 수 있다. 간헐적으로 측면상을 관찰할 경우 방사선 노출이 증가되므로 골성 지표를 정할 필요가 있다. 따라서 어떠한 구조물을 골성 지표로 잡을 것인가⁴⁸ 하는 것에 관심을 가질 수 밖에 없다. 골성 구조를 지표로 할 경우 방사선 노출을 감소시킬 수 있는 면 등에서 유리하다. KT-TFESI을 시행함에 있어 후방요소는 삽입된 신경블록침의 깊이를 예측할 수 있는 중요한 지표이다. 신경블록침은 추간공의 후면 경계를 구성하는 상관절돌기의 기부 혹은 하측방에 도달하도록 한다. 항상 일정하게 이 지표를 이용한다면 방사선 측면상을 자주 관찰할 필요는 없으며 C자형 영상증강장치가 신체와 평행하지 않아 시각 차가 발생하는 경우에도 도움이 된다. 골성 지표의 가장 중요한 점은 KT-TFESI을 시행함에 있어 삽입된 신경블록침이 신경근에 혈류를 공급하는 혈관 및 신경근을 피할 수 있다는 것이다. 신경블록침을 위치시키는 데 필요한 방사선적 지표는

RA-TFESI의 경우와 유사하여 신경블록침을 상관절돌기의 측면, 추체의 상단종면과 평행하게 한다. 신경블록침의 최종적인 위치는 추간공의 하방이며 신경블록침의 선단은 섬유륜 및 후종인대의 바로 뒤이다.

5) KT-TFESI의 임상적 의의

그 동안 일반적으로 인정되었던 “safe triangle”을 목표점으로 하는 인정된 수기가 실제적으로는 심각한 혈관 합병증을 유발할 수 있는 위험성이 보고되고 있다. Artery of Adamkiewicz가 추간공의 전상방을 통과함을 증명하고 결과적으로 “safe triangle”에 접근함이 신경블록침에 의한 artery of Adamkiewicz 손상을 유발할 수 있음을 제시함은 임상적으로 매우 중요하다. 더 나아가 추간공 하부 즉 Kambin triangle을 통하는 새롭고 안전한 수기인 KT-TFESI가 소개됨으로써 artery of Adamkiewicz 손상에 의한 척수 허혈 등의 심각한 사고를 방지할 수 있게 되었다.

6. Kambin triangle내 주사를 위한 실제적 접근방법

1) 후측방 TFESI (Posterolateral TFESI; PL-TFESI)

신경블록침을 관절간부(pars interarticularis)의 선단(tip)에 도달할 때까지 전진한다. 이때 신경블록침은 약간 두축 방향으로 진행한다. 신경블록침은 방사선 측면상에서 선단이 추간공의 후상방에 도달할 때까지, 전후상에서 척추뿌리와 일치할 때까지 전진한다.⁴⁹ 즉, 신경블록침은 상관절돌기 상방에 위치한다. KT-TFESI의 경우 신경블록침을 상관절돌기 하방에 위치시킴으로써 Kambin triangle을 목표점으로 한다.

PL-TFESI의 경우 신경근에 신경블록침이 접촉할 위험성이 있으며, KT-TFESI의 경우 추간판에 블록침이 닿을 위험성이 있다. 각각에서 극단의 경우 PL-TFESI은 “safe triangle” 접근법에서처럼 신경손상의 잠재적인 위험성이 있으며, KT-TFESI의 경우 추간판염의 잠재적인 위험성이 있다. 두 가지 합병증 하반신마비(paraplegia)에 비하면 모두 유병율은 높지 않으며, 치료 결과는 더욱 양호하다. 하지 마비는 즉각적으로 발생하며, 비가역적이다.

합병증 면에서 ILES는 잠재적이지만 현저한 위험성과 유병율과 연관된다. 경막 천자 후 두통, 경막외 농양, 경막외 혈종, 지주막염, 척수 및 신경근 손상, 경막하 주사 등이 합병증으로 보고된 바 있다. 이처럼 합병증이 다양하다는 것은 정확한 문제점을 파악하기 어려움을 의미한다. 신경블록을 시행

하는 의사는 가능한 다양한 합병증을 직면하게 되며 따라서 진단과 적절한 치료가 지연될 수 있다.

2) 관절간부 TFESI (Pars interarticularis TFESI; PI-TFESI) 황돌기 기시부와 하관절돌기 기시부에 해당하는 관절간부를 통한 접근방법으로,⁵⁰ 압박된 척수신경에 스테로이드를 주입하기 위하여 “safe triangle” 대신에 Kambin triangle을 통한 접근방법이다. 혈관이 상대적으로 적게 분포하는 Kambin triangle에 접근함으로써 동맥 내 주사 가능성을 피하고 척수 허혈에 의한 이차적인 하지마비의 위험도가 감소하기 때문이다.

Lew 등⁴⁰은 전 후근신경절 접근법(preganglionic approach) 시행을 위한 방사선적 지표를 기술하였으며, 상관절돌기 외측을 목표로 하여 신경블록침을 추체 상연과 평행하게 삽입한다는 면에서 추간판내 주사와 유사하다. 신경블록침의 최종위치는 상위 척추의 추간공 하부, 섬유륜 및 후종인대의 바로 후방이다. 이 부위에서 주사할 경우 주입된 약제는, 가로지르는 신경근이 추간판에 가장 근접하여 위치하는 부위 즉 압박되는 해당 척수신경의 전 후근신경절 부근의 경막외강(epidural preganglionic site of neural impingement)에 위치한다. 주입된 약제는 추간공의 척추뿌리 하부에서 빠져나가는 신경(exiting nerve root)의 추간공하 부위 및 경막외강내 부위로 내려간다. Jeong 등⁵⁰은 이러한 전 후근신경절 접근법을 변형하여 신경블록침 삽입 시 목표점의

기준이 되는 골성 지표를 관절간부의 바로 외측(방사선 상 관찰 하에서), 신경근이 상위 레벨 추간판에 의해 충돌(impinge) 되는 부근인 추간공으로 하여 신경블록을 시행하였다(Fig. 3).

3) Lumbar interlaminar ventral epidural steroid injection (LIVESI)

TFESI은 추간공의 척추뿌리 하부에서 빠져나가는 신경(exiting nerve)의 측면에서 시행되므로, 주입된 약제는 신경근의 원위부, 후근신경절에 도달한 후 두측, 내측으로 확산된다. 신경블록침을 추간공 내에서 내측 전방으로 위치시킬수록 신경근으로부터 전경막외강으로 약제확산이 용이하다.⁵¹ Bowtin 등⁵²은 TFESI후 20/20 (100%)에서 전경막외강내로 약제가 확산됨을 보고하였다. Manchikanti 등⁵³은 TFESI 247예 중 97%에서 신경근 주위 조영제 확산, 239예 중 88%에서 전경막외강내 조영제 확산을 보고하였다. 확실한 것은 TFESI 시행 시 신경근의 전경막외강내로 조영제가 확산된다. C자형 영상증강장치 유도 하에 행하는 TFESI에 의하여 근성통증(radicular pain)의 원인이 되는 신경근 인접부위에 스테로이드를 선택적으로 투여할 수 있다는 면에서 판간접근법(interlaminar approach)에 비해 유리하다. TFESI의 유리한 면에도 불구하고, 판간접근법의 범주 내에서 경막외강 외측으로 약제 확산을 용이하게 할 목적으로, 신경블록침을 직접 경막외강 외측에 위치하도록 하는 수기가

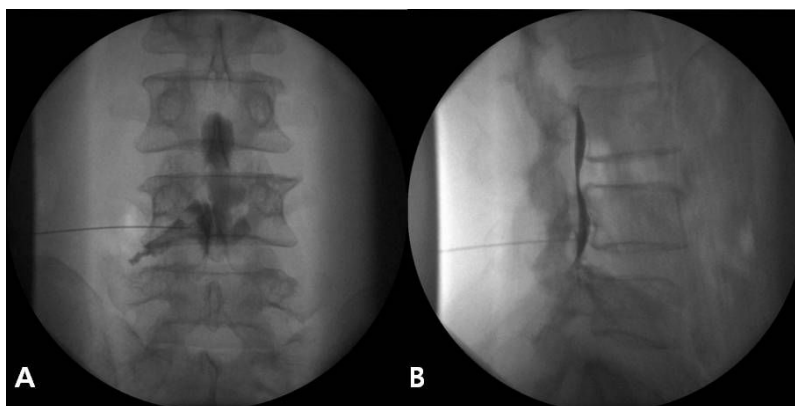


Fig. 3. Radiographs of 57-year-old woman with radiating pain to left buttock and lower leg in L4 dermatome. MR image (not shown) revealed left paracentral L3/4 disc herniation with compression of left L4 nerve root. Pars interarticularis TFESI was performed at L4 neural foramen. (A) Antero-posterior view with contrast media spreading to L3/4 disc through the epidural space. (B) Lateral view showing needle tip in posterior aspect of the L4/5 neural foramen.

소개되었다.^{5, 49} Candido 등⁴⁹은 판간 방시상 접근법(interlaminar parasagittal approach)의 경우 29/29 (100%) 환자에서, 경추간공 접근법의 경우 21/28 (75%)에서 전경막 외강내 약제 확산을 보고하였다. 판간 방시상 접근법의 경우 신경블록침은 판간 공간(interlaminar space)의 가장 외측에 위치하였고, 주입된 약제는 신경근과 경막의 후외방으로 주입되었다. 주입된 약제는 신경근과 경막의 전측방으로 확산되었지만, 신경근과 경막 전방으로의 충분한 확산은 일정하지 않게 관찰되었을 것으로 추측된다. 신경근을 목표로 하는 판간 방시상 접근법에서 Candido 등⁴⁹의 접근법과 또 다른 접근법은 신경블록침을 통하여 도관을 삽입하여 약제를 주입하는 도관 유도하 주사(catheter-guided injection)이다.⁵⁴ 도관은 신경근의 후방에 위치하며 전경막외강내 확산이 부분적으로 관찰된다. TFESI에서 전경막외강내 주사(ventral epidural injection)가 빠져나가는 신경(exiting nerve)의 전측방(ventrolateral aspect)에서 이루어지는 것처럼, 경막외강 외측부에서 도관이 근위부 신경근의 전측방에 위치한다면 전경막외강내 효율적 약제 주입이 가능할 것으로 가정할 수 있다. Choi 등⁵⁵은 TF 접근을 위하여 신경블록침 대신 도관을 이용하여 40명의 환자를 대상으로 제 5 요신경근에 요부 판간 전경막외강내 스테로이드 주사(lumbar interlaminar ventral epidural steroid injection; LIVESI)을 시행함으로써 전경막외강내 조영제의 확산양상을 관찰하였다. 조영제 1 mL 주입 시 40명의 환자 모두에서 제 5 요신경근(L5 nerve root)의 전경막외강내 조영제 확산이 관찰되었다. 조영제 2 mL 주입 후에는 26/40 (65%)의 환자에서 두측 방향으로, 34/40 (85%)의 환자에서 미측으로의 조영제 확산이 관찰되었다. 이는 대상환자 모두에서 신경근 및 전경막외강내로의 조영제 확산이 관찰되었음을 나타낸다. Choi 등⁵⁵은 이 부위에서 도관의 위치를 유지할 목적으로 stylet이 들어있는 뿔뿔한 도관(semi rigid catheter)을 척추뼈리와 제 5 요신경근 사이의 움푹 패인 곳(gorge)로 삽입하였으며 이 위치는 신경근 수질동맥의 주행부위와 일치한다. 물론 삽입되는 도관의 선단이 spring tip으로 구성되어 있으므로 신경 및 혈관 손상 가능성은 감소하겠지만 완전하게 피할 수는 없는 단점이 있다.

4) Retrograde lumbar interlaminar ventral epidural steroid injection (RLIVESI)

TFESI은 수기적으로 간단하며 용이하지만 추간공 협소, 척

추 전방전이증, 척추 측만증, 이전의 수술력 등에 의한 추간공의 이상이 존재할 경우, “safe triangle” 전방에 신경블록침 선단을 위치시키는 것이 어려울 수 있다. 또한 신경주위 부종(perineural swelling), 섬유성 유착, 골성 이상(bony abnormality) 존재할 경우 신경근과 경막의 전방 공간이 협소화하며 경막외강내 약제확산이 제한을 받는다. 따라서 원위부에서의 이러한 해부학적 구조에 의한 제한을 극복할 수 있는 방법의 필요성이 있다. Shim 등⁵⁶은 요통 및 하지 방산통을 호소하는 환자를 대상으로 17G Tuohy needle을 통하여 19G Theracath (Arrow international, Pennsylvania, USA)를 판간접근법을 이용하여 신경근의 주행을 따라 삽입하였다. 이러한 방법을 이용할 경우 spring tip으로 구성된 도관은 신경근 수질 동맥이 주행 부위와 떨어진 추간공 하부(intraforaminal level)를 통과한다. 흉요추 부위에서 Artery

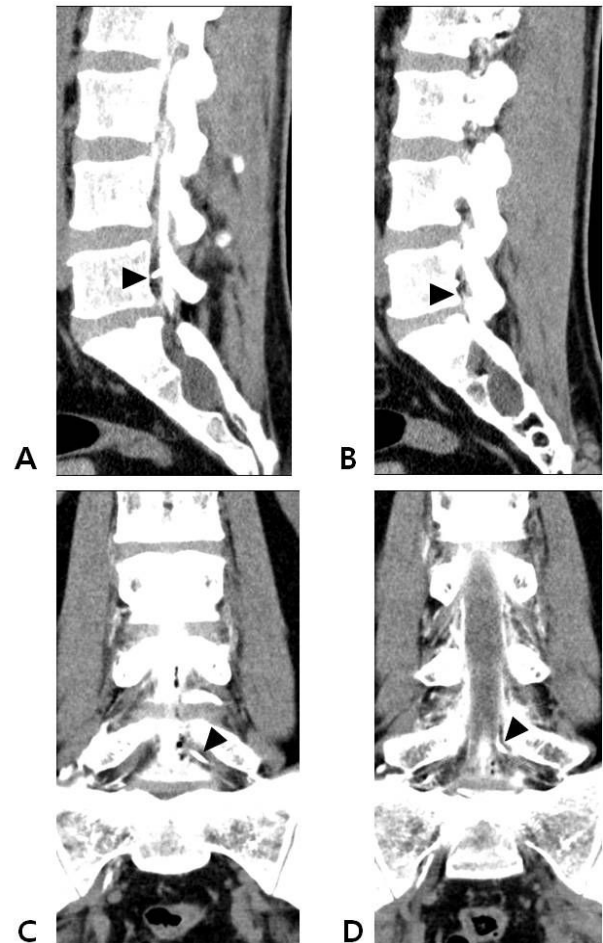


Fig. 4. CT images showing the path of catheter at sagittal view (A, B) and coronal view (C, D). Black arrow heads indicate the localization of catheter tip.

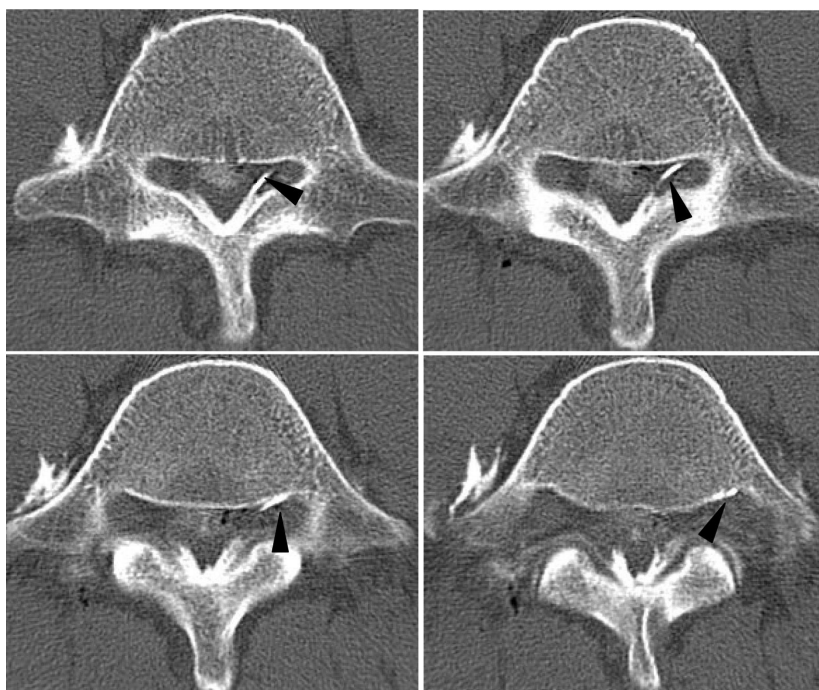


Fig. 5. CT axial view at S1 level showing the path of catheter. The catheter was advanced through the space between dural sac and left S1. The catheter tip (black arrow head) is located at the ventrocaudal aspect of left S1 nerve root.

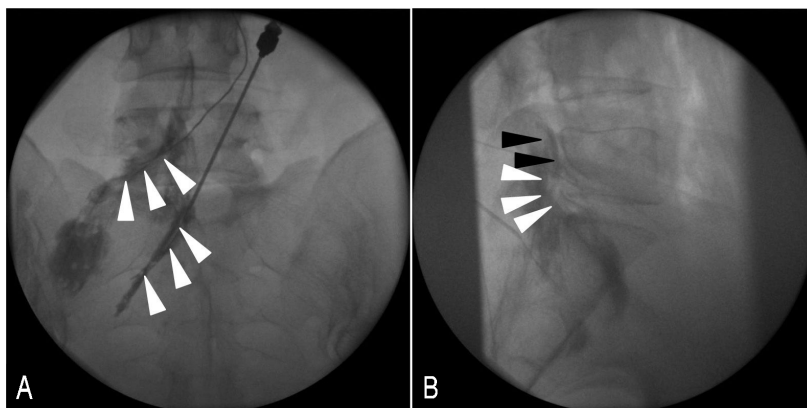


Fig. 6. Fluoroscopic antero-posterior (A) and lateral (B) image of left L5, S1 RLIVESI. The catheter was placed in the ventrocaudal aspect of exiting nerve root in antero-posterior view (white arrow head). Note that the contrast media spreads through the ventral epidural space at the L5 level (black arrow head) in lateral view. Contrast media filling defect was observed at the L5S1 disc level due to left posterolateral disc extrusion (white arrow head).

of Adamkiewicz의 88%는 추간공의 상단 1/3 부위를 통과한다.⁵⁷ RLIVESI 시행 시 삽입된 도관은 추간공 하부에 존재하므로 도관에 의한 혈관손상의 가능성은 현저하게 감소한다. 더욱이 Choi 등⁵⁵의 접근법의 경우 도관이 신경근 수질동

맥에 대하여 수직으로 삽입됨에 비하여 Shim 등⁵⁶의 접근법의 경우 도관은 신경근 수질동맥의 주행과 평행하므로(Fig. 4) 혈관 손상의 가능성은 더욱 감소한다. 삽입된 도관은 경막 낭과 해당 요추 레벨에서 빠져나가는 신경근(exiting nerve

root)의 거드랑이에 해당하는 부분을 지나(Fig. 5) 신경근의 전미측(ventrocaudal aspect)에 위치한다(Fig. 6).

결 론

요통 및 하지 방산통에 대한 신경블록 시행이 일차적 목표는 주입된 약제가 전경막외강 및 후근신경절에 도달하는 것이다. TFESI은 수기적으로 간단하며 용이하지만 추간공 협소, 척추 전방전위증, 척추 측만증, 이전의 수술력 등에 의한 추간공의 이상이 존재할 경우, “safe triangle” 전방에 신경블록침 선단을 위치시키는 것이 어려울 수 있다. 또한 신경주위 부종, 섬유성 유착, 골성 이상 존재할 경우 신경근과 경막의 전방 공간이 협소화하며 경막외강내 약제확산이 제한을 받는다. 더욱이 TFESI이 처음 소개될 때에는 신경근 수질동맥 손상의 가능성을 고려하지 못하였다. 이러한 퇴행성 변화, “safe triangle” 접근의 위험성을 고려할 때 전경막외강 접근을 위한 새로운 방법이 연구되어 할 시점이다. “safe triangle”을 통한 접근을 전제로 하여 그 시행 방법상의 문제점을 개선하는 것으로는 TFESI의 합병증을 방지하는 데 한계가 있기 때문이다. 전경막외강에 도달하기 위한 새로운 방법들이 최근 소개되고 있으며 이에 대한 전향적 대조연구가 요구된다.

Reference

1. Botwin KP, Natalicchio J, Hanna A. Fluoroscopic guided lumbar interlaminar epidural injections: a prospective evaluation of epidurography contrast patterns and anatomical review of the epidural space. *Pain Physician* 2004;7:77-80.
2. Ackerman WE, 3rd, Ahmad M. The efficacy of lumbar epidural steroid injections in patients with lumbar disc herniations. *Anesth Analg* 2007;104:1217-22.
3. Schaufele MK, Hatch L, Jones W. Interlaminar versus transforaminal epidural injections for the treatment of symptomatic lumbar intervertebral disc herniations. *Pain Physician* 2006;9:361-6.
4. Karppinen J, Malmivaara A, Kurunlahti M, Kyllonen E, Pienimäki T, Nieminen P, Ohinmaa A, Tervonen O, Vanharanta H. Periradicular infiltration for sciatica: a randomized controlled trial. *Spine* 2001;26:1059-67.
5. Kraemer J, Ludwig J, Bickert U, Owczarek V, Traupe M. Lumbar epidural perineural injection: a new technique. *Eur Spine J* 1997;6:357-61.
6. Vad VB, Bhat AL, Lutz GE, Cammisa F. Transforaminal epidural steroid injections in lumbosacral radiculopathy: a prospective randomized study. *Spine* 2002;27:11-6.
7. Viton JM, Rubino T, Peretti-Viton P, Bouvenot G, Delarque A. Short-term evaluation of periradicular corticosteroid injections in the treatment of lumbar radiculopathy associated with disc disease. *Rev Rhum Engl Ed* 1998;65:195-200.
8. Weiner BK, Fraser RD. Foraminal injection for lateral lumbar disc herniation. *J Bone Joint Surg Br* 1997;79:804-7.
9. Brouwers PJ, Kottink EJ, Simon MA, Prevo RL. A cervical anterior spinal artery syndrome after diagnostic blockade of the right C6-nerve root. *Pain* 2001;91:397-9.
10. Hodges SD, Castleberg RL, Miller T, Ward R, Thornburg C. Cervical epidural steroid injection with intrinsic spinal cord damage. Two case reports. *Spine* 1998;23:2137-42; discussion 41-2.
11. Ludwig MA, Burns SP. Spinal cord infarction following cervical transforaminal epidural injection: a case report. *Spine* 2005;30:E266-8.
12. Muro K, O'Shaughnessy B, Ganju A. Infarction of the cervical spinal cord following multilevel transforaminal epidural steroid injection: case report and review of the literature. *J Spinal Cord Med* 2007;30:385-8.
13. Rozin L, Rozin R, Koehler SA, Shakir A, Ladham S, Barnada M, Dominick J, Wecht CH. Death during transforaminal epidural steroid nerve root block (C7) due to perforation of the left vertebral artery. *Am J Forensic Med Pathol* 2003;24:351-5.
14. Tiso RL, Cutler T, Catania JA, Whalen K. Adverse central nervous system sequelae after selective trans-

- foraminal block: the role of corticosteroids. *Spine J* 2004;4:468-74.
15. Suresh S, Berman J, Connell DA. Cerebellar and brain-stem infarction as a complication of CT-guided transforaminal cervical nerve root block. *Skeletal Radiol* 2007;36:449-52.
16. Beckman WA, Mendez RJ, Paine GF, Mazzilli MA. Cerebellar Herniation After Cervical Transforaminal Epidural Injection. *Regional Anesthesia and Pain Medicine* 2006;31:282-5.
17. Bose B. Quadriplegia following cervical epidural steroid injections: case report and review of the literature. *Spine J* 2005;5:558-63.
18. Glaser SE, Falco F. Paraplegia following a thoracolumbar transforaminal epidural steroid injection. *Pain Physician* 2005;8:309-14.
19. Houten JK, Errico TJ. Paraplegia after lumbosacral nerve root block: report of three cases. *Spine J* 2002; 2:70-5.
20. Kennedy DJ, Dreyfuss P, Aprill CN, Bogduk N. Paraplegia following image-guided transforaminal lumbar spine epidural steroid injection: two case reports. *Pain Med* 2009;10:1389-94.
21. Quintero N, Laffont I, Bouhmidi L, Rech C, Schneider AE, Gavardin T, Dizien O. Transforaminal epidural steroid injection and paraplegia: case report and bibliographic review. *Ann Readapt Med Phys* 2006;49:242-7.
22. Wybier M, Gaudart S, Petrover D, Houdart E, Laredo JD. Paraplegia complicating selective steroid injections of the lumbar spine. Report of five cases and review of the literature. *Eur Radiol* 2010;20:181-9.
23. Baker R, Dreyfuss P, Mercer S, Bogduk N. Cervical transforaminal injection of corticosteroids into a radicular artery: a possible mechanism for spinal cord injury. *Pain* 2003;103:211-5.
24. Huntoon MA, Martin DP. Paralysis after transforaminal epidural injection and previous spinal surgery. *Regional Anesthesia and Pain Medicine* 2004;29:494-5.
25. Rathmell JP, Aprill C, Bogduk N. Cervical transforaminal injection of steroids. *Anesthesiology* 2004;100: 1595-600.
26. Scanlon GC, Moeller-Bertram T, Romanowsky SM, Wallace MS. Cervical transforaminal epidural steroid injections: more dangerous than we think? *Spine* 2007;32:1249-56.
27. Okubadejo GO, Talcott MR, Schmidt RE, Sharma A, Patel AA, Mackey RB, Guarino AH, Moran CJ, Riew KD. Perils of intravascular methylprednisolone injection into the vertebral artery. An animal study. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90:1932-8.
28. Dawley JD, Moeller-Bertram T, Wallace MS, Patel PM. Intra-arterial injection in the rat brain: evaluation of steroids used for transforaminal epidurals. *Spine* 2009; 34:1638-43.
29. Glaser SE, Shah RV. Root cause analysis of paraplegia following transforaminal epidural steroid injections: The 'unsafe' triangle. *Pain Physician* 2010;13:237-44.
30. Benzon HT, Chew TL, McCarthy RJ, Benzon HA, Walega DR. Comparison of the particle sizes of different steroids and the effect of dilution: a review of the relative neurotoxicities of the steroids. *Anesthesiology* 2007;106:331-8.
31. Malhotra G, Abbasi A, Rhee M. Complications of transforaminal cervical epidural steroid injections. *Spine* 2009;34:731-9.
32. Smuck M, Fuller BJ, Chiodo A, Benny B, Singaracharlu B, Tong H, Ho S. Accuracy of intermittent fluoroscopy to detect intravascular injection during transforaminal epidural injections. *Spine* 2008;33:E205-10.
33. Buenaventura RM, Datta S, Abdi S, Smith HS. Systematic review of therapeutic lumbar transforaminal epidural steroid injections. *Pain Physician* 2009;12:233-51.
34. Bogduk N. Lumbar spinal nerve block. In: *Practice guidelines for spinal diagnostic and treatment procedures*. 1st ed. ed. San Francisco: International Spinal Injection Society; 2004:3-19.
35. Alleyne CH, Jr., Cawley CM, Shengelaia GG, Barrow DL. Microsurgical anatomy of the artery of Adamkiewicz.

- wicz and its segmental artery. *J Neurosurg* 1998;89:791-5.
36. Biglioli P, Spirito R, Roberto M, Grillo F, Cannata A, Parolari A, Maggioni M, Coggi G. The anterior spinal artery: the main arterial supply of the human spinal cord—a preliminary anatomic study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000;119:376-9.
 37. Lo D, Vallee JN, Spelle L, Cormier E, Saillant G, Rancurel G, Chiras J. Unusual origin of the artery of Adamkiewicz from the fourth lumbar artery. *Neuroradiology* 2002;44:153-7.
 38. Huntoon MA. Anatomy of the cervical intervertebral foramina: vulnerable arteries and ischemic neurologic injuries after transforaminal epidural injections. *Pain* 2005;117:104-11.
 39. Balblanc JC, Pretot C, Ziegler F. Vascular complication involving the conus medullaris or cauda equina after vertebral manipulation for an L4-L5 disk herniation. *Rev Rhum Engl Ed* 1998;65:279-82.
 40. Lew HL, Coelho P, Chou LH. Preganglionic approach to transforaminal epidural steroid injections. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83:378.
 41. Jasper JF. Lumbar retrodiscal transforaminal injection. *Pain Physician* 2007;10:501-10.
 42. Levi D. Intradiscal flow during a transforaminal epidural steroid injection. *Pain Med* 2010;11:716-8.
 43. Moon HS, Shin BC, Im HS, Song BH, Cha YD. Inadvertent discogram during transforaminal epidural injection in patients with lumbar disc herniation - a report of 2 cases. *Korean J Anesthesiol* 2010;58:104-8.
 44. Plastaras CT, Casey E, Goodman BS, Chou L, Roth D, Rittenberg J. Inadvertent intradiscal contrast flow during lumbar transforaminal epidural steroid injections: a case series examining the prevalence of intradiscal injection as well as potential associated factors and adverse events. *Pain Med* 2010;11:1765-73.
 45. Vallejo R, Benyamin R, Yousuf N, Kramer J. Intradiscal intravasation of contrast during a transforaminal epidural injection. *Pain Pract* 2007;7:285-7.
 46. Kambin P. Arthroscopic microdiscectomy. *Mt Sinai J Med* 1991;58:159-64.
 47. Kambin P, Savitz MH. Arthroscopic microdiscectomy: an alternative to open disc surgery. *Mt Sinai J Med* 2000;67:283-7.
 48. Ruan X, Chiravuri S. Truly a critical review: root cause analysis of paraplegia following transforaminal epidural steroid injections: "unsafe" triangle. *Pain Physician* 2011;14:E82-E3.
 49. Candido KD, Raghavendra MS, Chinthagada M, Badiie S, Trepashko DW. A prospective evaluation of iodinated contrast flow patterns with fluoroscopically guided lumbar epidural steroid injections: the lateral parasagittal interlaminar epidural approach versus the transforaminal epidural approach. *Anesth Analg* 2008;106:638-44.
 50. Jeong HS, Lee JW, Kim SH, Myung JS, Kim JH, Kang HS. Effectiveness of transforaminal epidural steroid injection by using a preganglionic approach: a prospective randomized controlled study. *Radiology* 2007;245:584-90.
 51. Wolff AP, Groen GJ, Wilder-Smith OH. Influence of needle position on lumbar segmental nerve root block selectivity. *Reg Anesth Pain Med* 2006;31:523-30.
 52. Botwin K, Natalicchio J, Brown LA. Epidurography contrast patterns with fluoroscopic guided lumbar transforaminal epidural injections: a prospective evaluation. *Pain Physician* 2004;7:211-5.
 53. Manchikanti L, Cash KA, Pampati V, Damron KS, McManus CD. Evaluation of lumbar transforaminal epidural injections with needle placement and contrast flow patterns: a prospective, descriptive report. *Pain Physician* 2004;7:217-23.
 54. Friedman R, Li V, Mehrotra D, Mosuro Y, Atkinson G. Foraminal injection of a painful sacral nerve root using an epidural catheter: case report. *Reg Anesth Pain Med* 2002;27:214-6.
 55. Choi YK, Barbella JD. Evaluation of epidurographic contrast patterns with fluoroscopic-guided lumbar interlaminar ventral epidural injection. *Pain Pract* 2009;9:275-81.

56. Shim JC, Koh SY, Shim JH, Jeong MA, Kim DW. Lumbar interlaminar ventral epidural injection: anterograde vs retrograde approach. In: Society TKP, ed. The 50th scientific meeting of the Korean Pain Society. Seoul: The Korean Pain Society; 2010:81.
57. Murthy NS, Maus TP, Behrns CL. Intraforaminal location of the great anterior radiculomedullary artery (artery of Adamkiewicz): a retrospective review. *Pain Med* 2010;11:1756-64.