

요통의 해부학적 이해

김성호 · 조수호

영남대학교 의과대학 신경외과학교실

Anatomy of Low Back Pain

Seong-Ho Kim, Soo-Ho Cho

*Department of Neurosurgery,
College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea*

—Abstract—

The sinuvertebral nerve(SVN) supplies the laterodorsal outer annulus of the intervertebral disc, the posterior longitudinal ligament(PLL), the anterior 2/3 of the dural sac and the anterior vascular plexus. Many blood vessels pass through the lateral neural canal: the anterior and posterior spinal canal branches, anterior and posterior radicular branches, and veins of the anterior and posterior internal vertebral venous plexus. The PLL is assumed to play an important role in proprio- and nociception. In the neighborhood of the SVN, other small branches emanate from the rami communicantes and join the dorsal ramus and the segmental artery that enters the neural canal. The sympathetic nerve plexus inside the anterior longitudinal ligament and the SVNs provide a network of nerve fibers around the vertebral bodies and intervertebral discs. These pathways explain the sympathetic component of the innervation of a number of spinal structures. The dorsal ramus innervates the facet joints at the corresponding level and one below, before it gives off muscular and cutaneous branches.

Key Words: Low back pain, Sinuvertebral nerve, Sympathetic nerve

서 론

요통이란 제 12늑골 하방에서 후상장골극
(posterior superior iliac spine)이나 장골능(iliac

crest)까지의 부위(요부)에서 생기는 통증을 말하는데, 요통만을 호소하는 경우도 있으나 요통과 방사통을 같이 호소하는 경우 등 다양한 형태로 증상이 나타난다. 전 인구의 50~80%가 일생 동안 한 번 이상 요통을 겪는다고 하며 성인의 약 2/3가 때때로 혹은 지속적으로 요통을 호소한다고 한다. 더욱 문제점은 한창 일할 나이인 30대에서 50대에 걸쳐 유병율이 높다는 점이다.^{1,2)}

요통은 통증의 지속기간에 따라 급성과 만성(3~6개월 이상 지속)으로 나눌 수 있고, 통증을 유발하는 원인에 따라 척추성(spondylogenic), 신경성(neurogenic), 혈관성(vascular), 내장기성(viscerogenic), 심인성(psychogenic)의 5가지로 분류하기도 한다. 그 중 가장 흔한 것이 척추성 통증과 신경성 통증이다. 척추성 통증은

심부통(deep pain)과 표재통(superficial pain)으로 구분할 수 있는데, 그 중 추간판에서 생기는 통증이 실제 임상에서 가장 많은 것으로 알려져 있다.³⁾ 요통의 치료는 적절한 조기치료가 매우 중요하며, 요통의 정확한 치료를 위해서는 요부의 해부학적 구조와 요통의 병태생리에 대해 알아야 한다.

피부분절, 근육분절, 뼈분절

환자는 실제 병소 부위가 아닌 부위에서 통증을 느끼는 경우도 있고, 여러 원인이 복합적으로 나타나는 경우가 많아 병소부위의 진단이나 통증의 원인을 진단하는데 어려움이 많다. 피부분절(dematome)을 따라 생기는 통증은 이해가 쉬우나 피부분절과 관계없이 생기는 연관통(referred pain)을 이해하기 위해서는 근육분

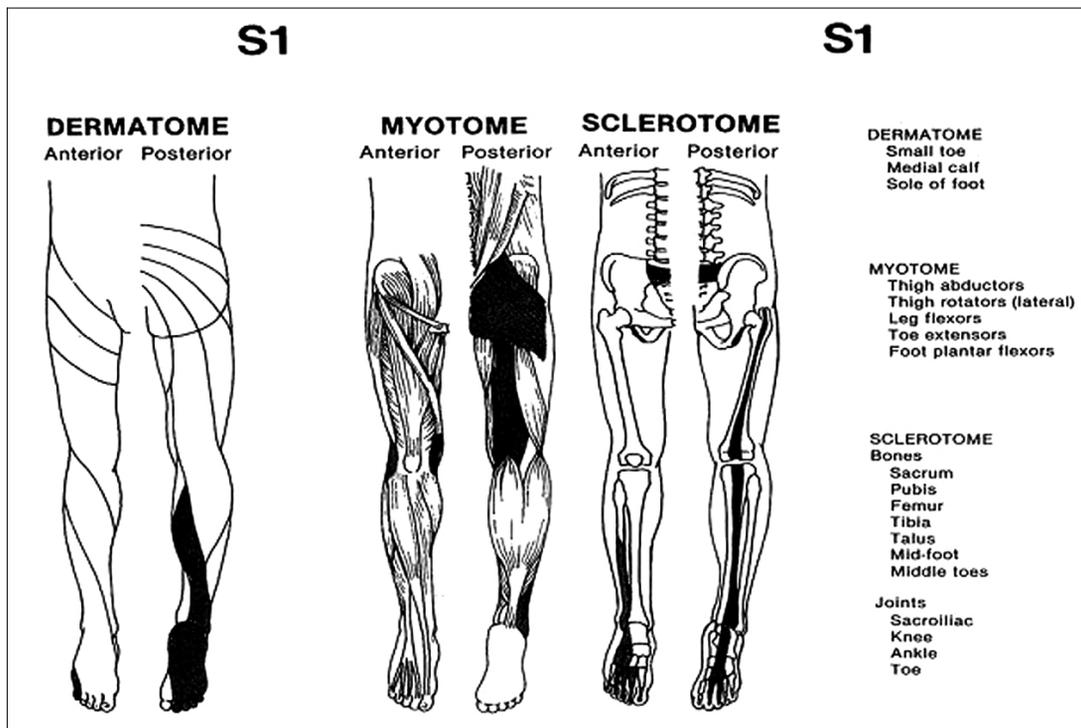


Fig. 1. Dermatome, myotome, and sclerotome of S1.

절(myotome)과 뼈분절(sclerotome)에 대해 알아야 한다.

발생학적으로 태생 19일째 중배엽(mesoderm)에서 체절(somite)들이 생긴다. 각 체절로부터 피부분절, 근육분절, 뼈분절이 발달하는데, 이들은 같은 척추신경(spinal nerve)의 지배를 받는다. 따라서 각 체절의 한 구조물의 손상으로 이 체절에서 기원한 모든 구조물의 통증으로 인식될 수 있다(Fig. 1). 피부의 표피(epidermis)는 외배엽(ectoderm)에서 기원하지만 진피(dermis)는 중배엽 기원의 피부분절과 관계가 있고, 근육분절에서 근육, 인대, 건 등이 기원하며, 뼈분절로부터는 뼈, 관절, 추간관섬유륜(annulus fibrosus) 등이 생겨난다. 요부에서 통증을 유발하는 비신경조직은 피부, 근육, 인대, 척추 후관절 및 천장관절 피막, 추간관섬유륜, 골막, 혈관, 경막 등이다.

척수, 경막낭, 경막외 공간

척수는 태생 3개월에 척주관(spinal canal)을 끝까지 채우고 있다가 출생 시에는 상승하여 제 2요추의 하부에 위치하게 되며, 생후 2개월이 되면 성인 부위에 도달해 제 1-2요추 사이에 위치한다. 그러나 이 척수 원추 말단의 위치는 변화가 많으므로 척추마취, 요추천자 등의 시술 시 예상치 못한 신경손상이 발생할 수도 있다.

척주관내의 경막낭(dural sac)도 제 2천추에서 끝난다고 하지만 개인에 따른 변화가 많기 때문에 추간공(intervertebral foramen)을 통한 경막외주사(caudal epidural injection)시 유의해야 한다. 한국인을 대상으로 조사한 바에 의하면 경막낭의 끝이 제 5요추-제 1천추 사이부터 제 3천추체 중간까지 다양하게 위치하는

데, 제 1천추-제 2천추 사이에서 끝나는 경우가 22.5%로 가장 많았고, 그 다음이 제 2천추체 부위로 21.5%였다. 신경근을 싸고 있는 경막 소매(dural sleeve)는 원위부로 갈수록 얇아지는데, 후근신경절(dorsal root ganglion) 바로 원위부에서는 신경근에 직접 부착되어 신경외막(epineurium)으로 이행된다. 경막낭의 뒤쪽 부위가 통증에 둔감하므로 이 부위로 요추천자를 해도 통증이 거의 없다.

요추부의 뒤쪽 경막외공간(posterior epidural space)은 요척주(lumbar column) 중간 부위가 5~6 mm로 가장 넓고, 점차 아래로 갈수록 좁아져 제 1천추 부위에서 2 mm로 좁아진다. 경막외공간의 단면은 삼각형 모양을 하며 중심 부위가 가장 넓고 옆으로 갈수록 좁아져서 척추 후관절 부위에서 가장 좁다. 경막외지방조직은 전내부(anteromedial part) 또는 측면부에 비해 후내부(posteromedial part)에 많이 분포한다. 경막외정맥은 척주관의 전외측부(anterolateral part)에 가장 많다. 경막외정맥은 척추정맥총(vertebral venous plexus)의 일부이며 내척추정맥총(internal vertebral plexus, Batson plexus)과 외척추정맥총(external vertebral plexus)을 통해 척추뼈몸통정맥(basivertebral vein)과 직접 연결된다.

척주 및 척추

보통 성인의 척주 전장은 남자가 약 70 cm 이고, 여자는 60 cm 정도이다. 척주의 길이는 아침에 가장 길고 오후에 약 1 cm 정도 감소되는데, 정상인에서 시간에 따른 척주 전장의 감소는 요추에서 전체 감소의 약 40%가 있게 된다. 즉 각 요추의 추간판 당 약 2 mm 씩 감소한다.

척주의 기능은 척수나 신경근 등 신경요소의 보호, 체중 부하에 대한 지지, 3관절 복합체(3-joint complex)에 의한 운동 등의 역할을 담당한다. 척주의 전방부위는 요추체와 추간판으로 구성되며 체중의 70%를 담당하고, 후방부위는 추궁관, 척추경, 극돌기, 횡돌기, 후관절 등으로 구성되며 체중의 30%를 담당한다.

척추 운동을 구성하는 최소의 단위를 척추의 운동절(motion segment)이라 하는데 이는 인접한 상하 두 개의 척추와 인대 조직으로 형성된다. 척추의 통증은 항상 운동절을 중심으로 이해되어야 하며, 뒤쪽에 있는 2개의 척추 후관절과 앞의 추간판이 이루는 3관절 복합체가 통증 유발의 주된 구조물이다. 즉 이 3개의 관절 변성은 서로 상호 유기적으로 발생하며, 대개 추간판의 변성이 척추 후관절의 변성보다 앞서 진행된다.

추간판

추간판은 중심부의 수핵(nucleus pulposus)과 수핵을 싸고 있는 섬유륜, 연골 종판(cartilage end-plate)으로 구성되어 있다. 수핵에는 proteoglycan이 풍부하며 섬유륜에는 아교질(collagen)이 대부분을 차지한다. 추간판이 성숙되면서 가장 뚜렷한 변화를 보이는 부위가 수핵이다.⁴⁾ 수핵의 아교질섬유(collagen fiber)는 수핵의 위쪽과 아래쪽에서 특정한 방향으로 배열되어 있어서 추간판 조영시 조영제가 아교질섬유다발 사이로 쉽게 퍼지는데, 정상 추간판의 영상이 lobular 혹은 hamburger형으로 보이게 된다.

요추 추간판의 섬유륜은 앞쪽과 뒤쪽이 서로 다른 양상을 보여 요추 전만에 기여를 하고 있다. 앞쪽은 20개 이상의 매우 섬유성이 강한 두꺼운 판으로 구성되어 있고 척추체 사이에서

수직 방향을 한다. 앞쪽 섬유륜의 바깥쪽 판은 전종인대(anterior longitudinal ligament)와 느슨하게 연결되어 있고, 안쪽 판은 상하로 종판과 연결된다. 측면의 섬유륜도 앞쪽에 위치한 섬유륜과 유사한 구조를 가지고 있다. 반면 뒤쪽과 후외측면의 섬유륜은 12~15개의 얇은 판으로 구성되어 있어 상대적으로 약하며, 바깥쪽 판은 후종인대와 연결되고 안쪽 판은 종판과 연결되는데 안쪽 섬유륜은 수핵과 잘 구분되지 않는다. 섬유륜의 판은 수직선에 대해 60도 각도로 방향을 유지하고 있어 서로 120도의 각을 이룬다.

종판은 수평방향을 하고 있고 두께는 1 mm 정도이다. 종판의 바깥쪽은 척추체와 골성 연결을 하고 있으며, 중간부는 수핵을 싸고 있다. 종판 전체 면적의 10% 정도는 작은 혈관이 통과하는데 이들 혈관의 혈액으로부터의 확산에 의해 영양을 공급받게 된다. 종판의 중앙부는 다른 부위에 비해 약해서 수직으로 가해지는 부하에 의해 쉽게 파괴되고 수핵이 척추체로 빠져나가서 Schmorl's node를 형성하게 된다.

척추 후관절

상부 요추의 척추 후관절면은 시상면(sagittal plane)에 가까이 접하고 있고, 아래로 갈수록 좌우면에 가까워지는 경향을 보인다. 즉 아래로 갈수록 시상면으로 가해지는 전단(shearing) 스트레스에 대한 저항력이 강하다. 요추의 척추 후관절각은 시상면에 대해 제 3-4요추는 약 58~59°, 제 4-5요추는 63~64°, 제 5요추-제 1천추는 66~68°이다. 요추의 척추 후관절의 비대칭(facet tropism)은 좌우 척추 후관절각의 차이가 제 3-4요추에서 12° 이상의 차이, 제 4-5요추에서 15° 이상, 제 5요추-제 1천추

에서 12° 이상의 차이가 있을 때라고 정의 한다.⁵⁾ 이 척추 후관절의 비대칭이 추간판에 미치는 영향은 추간판 탈출을 조장한다는 보고와 그렇지 않다는 의견이 있다. 최근에는 후관절의 비대칭이 생역학적으로 추간판의 탈출을 조장하는 직접적인 원인은 아닌 것으로 보고되고 있다.^{6, 7)}

추간관과 추관공

추간관(intervertebral canal)과 추간공을 혼용하여 사용하고 있으나 추간공은 추간관의 내측과 외측 출구를 의미한다. 척추의 병변으로 인한 통증과 이를 위한 중재적 시술에서 추간관은 임상적으로 매우 중요한 해부학적 구조물이다. 추간관은 내측 추간공과 외측 추간공을 가지며, 이 추간공 사이로 신경근이 경사지게 주행한다. 추간관은 기능적으로 세 부분으로 나뉜다. 입구부(entrance zone, lateral recess area), 중간부(mid-zone, sublamina blind zone), 그리고 출구부(exit zone)로 구별된다. 후근신경절은 중간부에 주로 위치하며 뇌척수액에 담겨져 있다. 추간관의 단면적은 제 1-2요추에서 제 4-5요추까지는 증가하다가 제 5요추-제 1천추에서는 오히려 감소한다. 실제 신경근의 크기는 제 5요추 신경근이 가장 크지만 추간관의 크기가 작기 때문에 이 부위의 신경근 압박의 빈도가 높다.

추간관을 통해 신경근 뿐만 아니라 경막외 정맥을 비롯한 신경근동맥(radicular artery) 등의 혈관이 주행한다. 특히 관심을 두어야 할 혈관은 Adamkiewicz동맥인데, 사람에 따른 변이는 있지만 제 8흉추에서 제 3요추사이의 외측 추간공을 통해 척주관내로 들어간다. 왼쪽에서 들어가는 경우가 오른쪽에 비하여 훨씬

많다. 이 동맥이 추간관이나 외측 추간공에서 주사바늘에 의해 손상되면 척수의 심각한 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 제 2요추를 포함한 상부의 왼쪽 경추간공 경막외주사를 시행할 때에는 특별한 주의를 요한다.

척추 주위의 인대 및 근육

추체와 추간판을 앞, 뒤에서 덮고 있는 인대로는 전종인대와 후종인대가 있는데, 특히 후종인대는 추간판 부위가 가장 약하다. 이외에도 황인대, 극상인대, 극간인대, 횡돌기간인대 등이 있다. Hoffman인대는 경막의 앞부분을 후종인대와 추체골막에 연결하는 구조물로 경막낭이나 신경근이 뒤로 밀릴 때 후종인대와 골막의 견인을 유발하여 요통을 일으키는데 기여하는 것으로 알려져 있다. 피부 밑에 요배근막(lumbodorsal fascia)이 있고, 그 아래 근육이 크게 3층으로 있는데, 가장 바깥쪽은 천극근(erector spinae)으로 장늑근(iliocostalis), 최장근(longissimus), 극돌기간(inetrspinalis)이 있고, 중간층으로 횡극돌기근(transversospinal muscles)인 회전근(rotators)과 다열근(multifidus)이 있으며, 가장 심부에 척추의 전방 혹은 측방 굴곡을 담당하는 요근(psoas)과 요방형근(quadratus lumborum)이 있다.⁸⁾

요통과 관련된 신경해부

척추 분절에 분포하는 신경에 관한 연구는 오랫동안 이루어져 왔으나, 아직도 많은 부분에서 논란이 거듭되고 있다. 척수는 요추 분절에서 각각 한 쌍의 신경근을 낸다. 각각의 신경근은 후근신경절을 거쳐 전일차가지(anterior primary ramus), 후일차가지(posterior primary ramus), 교감신경간(sympathetic nerve trunk)

으로 교통가지(rami communicantes) 등을 분지한다. 전일차가지는 요신경총(lumbar plexus)을 형성한 후 좌골신경(sciatic nerve), 대퇴신경(femoral nerve), 폐쇄신경(obturator nerve)이 되고, 후일차가지의 내분지는 후관절막, 극상인대, 극간인대, 골막 등을 지배하고 외분지는 척추 주위 근육을 지배한다. 발생학적으로 체절 마다 각각의 신경근이 발생하는데 이 신경근으로부터 나온 신경들이 각 체절에서 분화한 여러 가지 성분들, 즉 피부, 근육, 건, 인대, 뼈에 분포하므로 한 체절로부터 분화한 어떤 조직에 손상이 있으면 같은 체절에서 분화한 다른 부위에 통증을 느낄 수 있다.

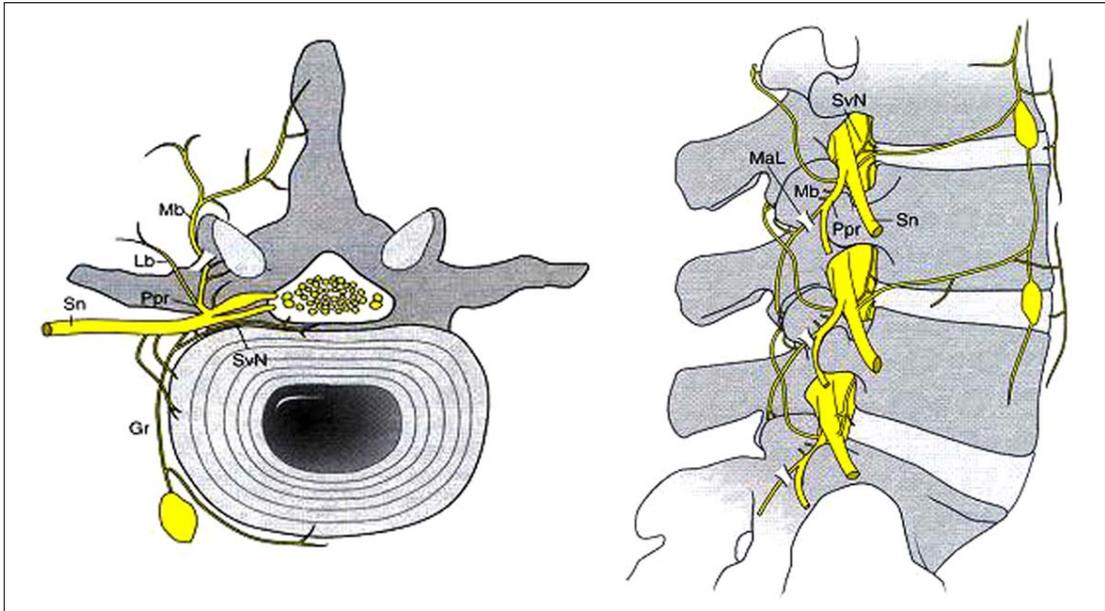
요부의 통증도 다른 척수신경계와 같이 후근신경절(dorsal root ganglion)의 말초 분지 즉 각 조직에 위치한 말초 감각신경섬유가 통증 정보를 후근신경절, 후근(dorsal root)을 통해 척추후각(dorsal horn)으로 전달한다. 척추에 분포하는 신경말단의 종류는 다양하게 있으며, 그 중 덩굴모양(plexiform) 혹은 자유종말(free ending) 무수(unmyelinated)신경섬유 말단이 화학적 또는 기계적인 자극에 대하여 통증을 유발하는 침해수용체(nociceptor)로 작용한다. 이러한 통증 정보는 A-delta 및 C 섬유에 의해 상부로 전달된다.⁹⁾

후근신경절은 요통의 조절과정에서 중요한 역할을 한다. 요추부에서 후근신경절의 위치는 신경근의 외측에 있으며 척주관내, 추간관내, 추간공 외측에 위치할 수 있으나 추간관내에 위치하는 경우가 대부분이며 원위부로 갈수록 크기가 커져 제 1요추에서는 길이와 폭의 평균이 4.3 mm와 3.7 mm이나 제 1천추에서는 11.2 mm와 6.2 mm에 달한다. 후근신경절은 크기가 다른 두 가지 세포들로 구성되어 있는

데 큰 직경의 세포에서는 A-beta 섬유가 나오고, 작은 직경의 세포에서는 주로 통증의 전달을 담당하는 A-delta와 C 섬유가 나온다. 후근신경절에서는 substance P(SP), calcitonin-gene-related peptide(CGRP), vasoactive intestinal peptide(VIP) 같은 신경전달물질들이 합성되며 이들 모두 통증의 전달 과정에서 필수적인 역할을 한다.^{10, 11)} 근신경절 자체는 단단한 피막으로 싸여있고, 신경근에 비해 영양공급이 저하되어 있으므로 기계적 압박이 가해지면 쉽게 신경내 부종을 일으키고, 결과적으로 후근신경절내 신경세포의 혈액공급저하가 초래되어 비정상적인 신경활동과 통증을 유발할 수 있다¹²⁾. 후근신경절의 신경외막에 있는 신경간신경(nervi nervorum) 역시 기계적 압박에 예민한 침해수용체로 작용하므로 후근신경절의 신경외막도 외부압력이나 기계적 자극에 대해서 직접적으로 활성화되어 통증을 유발할 수 있다.¹³⁾

척추 신경근은 다른 말초신경과는 달리 척주관 내에서는 연막(pia mater)에 싸여 있다. 즉 경막내의 신경근은 신경외막이 없어서 다른 신경조직에 비하여 신경 주위의 섬유화나 압박에 의해 허혈성 손상을 받기 쉽다.¹⁴⁾

요부에서 통증을 유발하는 비신경조직은 추간관섬유륜, 척추후관절 및 천장관절 피막, 인대, 경막, 골막, 근육, 피부, 혈관 등이다. 이들 조직으로부터 통증 자극을 전달하는 주요 신경이 척추신경의 후일차가지와 동추골신경(sinuvertebral nerve)이다(Fig. 2). 동추골신경은 주로 척주관내의 구조물인 후방 섬유륜, 후중인대, 경막, 추체골막 등에 분포한다. 대부분 연구에서 후일차가지는 후근신경절의 바로 원위부에서 분지되거나 자율신경 결합지에서 분지되고, 동추골신경은 후근신경절의 원위부의



Ppr: posterior primary ramus, Sn: spinal nerve, Lb: lateral branch, MaL: mammillo-accessory ligament, Gr: gray rami, Mb: medial branch, SvN: sinu-vertebral nerve.

Fig. 2. Lumbar spine innervation (left: transverse view, right: lateral view).

요추신경에서 나온다고 알려져 왔으나 최근에는 동추골신경이 요추신경과 교감신경을 연결하는 교통가지에서 나온다는 주장과 요추신경과 교통가지 모두로부터 나온 신경섬유들이 모여 형성되어 실제 신경간(nerve trunk)이 아니고 가는 신경섬유의 집합일 수도 있다는 주장이 있다.¹⁵⁾ 이 신경은 척주관내에서 상하지로 나뉘어 최소 2분절 이상의 후종인대, 경막, 후방 섬유륜 및 신경근 외막 등에 분포한다. 동추골신경이 교통가지에서 기시되므로 요추신경과 교감신경 모두 관여하는 것으로 보이나, 전방에서 여러 분절의 교감신경을 절제하였을 때 섬유륜에 분포하는 신경섬유의 숫자가 감소하므로 교감신경이 동추골신경의 주된 성분인지의 여부와 상관없이 교감신경의 성분이 추간판을 지배하는 것은 확실한 것 같다.¹⁶⁾ 실제 교감신경 사슬(sympathetic chain)과 연결되는

교통가지도 추간판과 추체 측면의 골막을 신경 지배한다. 따라서 추간판은 동추골신경과 일부 교통가지로부터 신경지배를 받고 추체는 교감신경계에서 나오는 신경, 교통가지, 전후종인대의 신경총, 동추골신경 등의 지배를 받는다.

후종인대는 동추골신경의 지배를 받는데 척추분절에서 신경섬유가 가장 풍부히 분포해 있으므로 추간판의 이상으로 인한 통증의 감지에 매우 예민하고 추간판 탈출로 인해 후종인대가 자극될 때 심한 통증을 유발할 수 있다. 전종인대는 교통가지와 교감신경 사슬로부터 나오는 분지의 지배를 받는다.

척추후관절은 후일차가지의 내분지의 지배를 받는데 이것의 상행지는 같은 분절의 후관절과 황인대를 지배하고, 하행지는 하나 아래 분절의 후관절을 지배한다.^{13, 14)} 따라서 한 후관절은 두 분절의 후일차가지로부터 신경지배

를 받는다(Fig. 2). 후관절의 변성에 의해 통증이 잘 유발되는 이유는 관절낭에 감각 신경지배가 많고, 척추후관절의 내측면이 추간관과 접해 있어서 신경근을 자극하기 쉽고, 척추신경의 후일차가지가 관절낭의 외측면의 근위부에 인접하여 주행하고 있다는 점 등이다.¹⁷⁾

천장관절은 제 5요추신경, 제 1-3천추신경 및 상둔신경의 분지들의 지배를 받는다. 요부 근육들의 신경분포는 요방형근, 대요근(psoas major)은 요추신경의 전일차가지에서 지배를 받고, 그 외의 요추 주위 근육과 요부 피부는 후일차가지의 외분지에 의해 지배를 받으며, 횡돌기근육은 전일차가지 및 후일차가지에서 동시에 지배를 받는다.¹⁸⁾

경막은 동추골신경의 분지로 구성된 여러 신경총의 지배를 받으며, 경막낭의 전방과 신경근에는 풍부한 신경총이 있으나 후외방에는 신경지배가 적고 후방에는 전혀 신경지배가 없다.

참 고 문 헌

1. Andersson GB. Epidemiologic aspects on low-back pain in industry. *Spine* 1981 Jan-Feb;6(1):53-60.
2. Boden SD, Davis DO, Dina TS, Patronas NJ, Wiesel SW. Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am* 1990 Mar;72(3):403-8.
3. Schwarzer AC, Aprill CN, Derby R, Fortin J, Kine G, Bogduk N. The prevalence and clinical features of internal disc disruption in patients with chronic low back pain. *Spine* 1995 Sep 1;20(17):1878-83.
4. Maroudas A, Stockwell RA, Nachemson A, Urban J. Factors involved in the nutrition of

the human lumbar intervertebral disc: cellularity and diffusion of glucose in vitro. *J Anat* 1975 Sep;120(Pt 1):113-30.

5. Ko HY, Park BK. Facet tropism in lumbar motion segments and its significance in disc herniation. *Arch Phys Med Rehabil* 1997 Nov;78(11):1211-4.
6. Dory MA. Arthrography of the lumbar facet joints. *Radiology* 1981 Jul;140(1):23-7.
7. Lippitt AB. The facet joint and its role in spine pain. Management with facet joint injections. *Spine* 1984 Oct;9(7):746-50.
8. Carr D, Gilbertson L, Frymoyer J, Krag M, Pope M. Lumbar paraspinal compartment syndrome. A case report with physiologic and anatomic studies. *Spine* 1985 Nov;10(9):816-20.
9. Olmarker K, Rydevik B, Holm S, Bagge U. Effects of experimental graded compression on blood flow in spinal nerve roots. A vital microscopic study on the porcine cauda equina. *J Orthop Res* 1989;7(6):817-23.
10. Chen C, Cavanaugh JM, Ozaktay AC, Kallakuri S, King AI. Effects of phospholipase A2 on lumbar nerve root structure and function. *Spine* 1997 May 15;22(10):1057-64.
11. Kang JD, Georgescu HI, McIntyre-Larkin L, Stefanovic-Racic M, Donaldson WF, 3rd, Evans CH. Herniated lumbar intervertebral discs spontaneously produce matrix metalloproteinases, nitric oxide, interleukin-6, and prostaglandin E2. *Spine* 1996 Feb 1;21(3):271-7.
12. Rydevik BL, Myers RR, Powell HC. Pressure increase in the dorsal root ganglion following mechanical compression. Closed compartment syndrome in nerve roots. *Spine* 1989 Jun;14(6):574-6.
13. Rydevik B, Brown MD, Lundborg G. Pathoanatomy and pathophysiology of nerve root compression. *Spine* 1984 Jan-Feb;9(1):7-15.
14. Spencer DL, Irwin GS, Miller JA. Anatomy

- and significance of fixation of the lumbosacral nerve roots in sciatica. *Spine* 1983 Sep;8(6): 672-9.
15. Groen GJ, Baljet B, Drukker J. The innervation of the spinal dura mater: anatomy and clinical implications. *Acta Neurochir (Wien)* 1988;92 (1-4):39-46.
16. Nakamura S, Takahashi K, Takahashi Y, Morinaga T, Shimada Y, Moriya H. Origin of nerves supplying the posterior portion of lumbar intervertebral discs in rats. *Spine* 1996 Apr 15;21(8):917-24.
17. Yamashita T, Cavanaugh JM, el-Bohy AA, Getchell TV, King AI. Mechanosensitive afferent units in the lumbar facet joint. *J Bone Joint Surg Am* 1990 Jul;72(6):865-70.
18. Bogduk N. The innervation of the lumbar spine. *Spine* 1983 Apr;8(3):286-93.