

# 요추부 퇴행성 불안정성

안면환

영남대학교 의과대학 정형외과학교실

## Degenerative Instability of the Lumbar Spine

Myun Whan Ahn, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea

### – Abstract –

Degenerative instability is difficult to define, diagnose, and treat. Diagnosis and treatment of degenerative instability are based on the biomechanical stability of the functional spinal unit as well as on the pathologic diagnosis of the disease. Recent advancements in biomechanical studies on the functional spinal unit and radiological diagnostic methods have introduced new diagnostic criteria. In this review, biomechanical stability of the functional spinal unit, changes in stability associated with degeneration and diagnosis, and treatment of degenerative instability are discussed.

**Key Words:** Lumbar spine, Degeneration, Instability, Biomechanics

### 서 론

이미 1910년경부터 퇴행성 병변에 의한 척추의 불안정성이 요통의 원인의 하나일 것이라는 주장이 있는 후에, 척추의 불안정성이 퇴행성 요추부 병변에서 요통 유발의 흔한 인자의 하나일 뿐 아니라 감압술 시에는 유합 여부를 결정하는 가장 중요한 인자로 여겨지고 있다.<sup>1,2,3)</sup>

Kirkaldy-Willis 등이 퇴행성 척추불안정성은 시간이 경과함에 따라 안정화되기 때문에 척추관 협착증에서는 단순감압이 충분하고, 퇴행성 척추 전방전위증에서는 고정술이 요구된다고 주장하였다<sup>4,5,6)</sup>. 이들은 섬유륜의 파열(annular tear)은 그 자체가 불안정한 것으로 보고 하였으며, 그 후에도 많은 생역학적 실험을 통하여 이를 증명하여 왔다<sup>7,8,9)</sup>. 그러나 생역학적으로 모든 척추관 협착증은 안정하고 퇴행성 척추 전방전위증은 불안정한 것인지에 대해서는 아직도 이견이 있다. 최근에는 척

추관 협착증에서 극돌기간에 기기를 삽입하고, 추간판 파열증후군에는 인공추간판 수술을 시행하고 있다. 이러한 수술 후에도 변화된 생역학적 환경이 어떠한 영향을 미칠지에 대해서는 많은 연구가 필요하다.

많은 생역학적 연구를 통해서 척추분절이 정역학적으로 특이한 점탄성적 특성(viscoelastic property)을 가지고 있다는 점<sup>10,11,12,13)</sup>과 동역학적으로 3차원적 면에서 복합적으로 움직이는 독특한 coupling 운동<sup>14,15,16,17,18,19)</sup>을 하고 있다는 점 등을 확인하였다. 최근 follower load의 역할<sup>20,21,22)</sup>과 신경근육계의 조절 작용<sup>23,24)</sup> 및 neutral zone의 변화 등<sup>24,25)</sup>의 다양한 생역학적 개념이 소개되고 있다. 이러한 생역학적 개념에 근거하여서 어떻게 불안정성을 정의하고, 진단하며, 치료할 것인지를 결정하는 것은 쉽지가 않다.

임상에서 퇴행성 병변에 의한 분절간 불안정성의 진단을 위하여서 주로 역동적 방사선 검사를 이용하여 확

Address reprint requests to

**Myun-Whan Ahn, M.D.**

Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Yeungnam University  
317-1, Daemyng-Dong, Nam-Gu, Taegu, Korea

Tel: 82-53-620-3640, Fax: 82-53-628-4020, E-mail: mwahn@med.yu.ac.kr

인하고 있다<sup>26)</sup>. 전후 굽힘에서 전후방의 과운동이 발견된 경우에는 비교적 의견이 일치하지만, 척추분절의 creep 혹은 이상운동 형태에 대해서는 방사선검사로 확인하기가 거의 불가능한 것이 현실이다. 이 때문에, 이러한 불안정성의 정의도 분절간 불안정성(segmental instability)<sup>3)</sup>, 임상적 불안정성(clinical instability)<sup>24,27)</sup>, 기능적 불안정성(functional instability)<sup>23)</sup> 등의 다양한 정의를 하여 오고 있다. 과운동 자체도 개인적인 차이가 많기 때문에 정상과 비정상을 구분하는 판별점을 찾기가 쉽지 않다. 최근 전산화단층 촬영<sup>4)</sup> 및 개방형의 자기공명술<sup>28,29,30)</sup>이 개발됨에 따라 불안정성에 따른 새로운 진단이 가능하게 되었다.

이에 본 종설에서는 문헌고찰을 통하여 1) 척추 분절의 기능 해부학 및 생역학적 특성과 안정성에 대해 고찰하고, 2) 요추의 퇴행성 변화에 따른 불안정성을 기술한 후에, 3) 방사선적 진단과 4) 퇴행성 불안정성의 치료에 대해 정리하여 퇴행성 불안정성의 진단과 치료의 방향 결정에 도움을 얻고자 한다.

## 1. 척추 분절의 기능해부학 및 생역학적 특성 및 안정성

### 1) 척추분절의 기능해부학적 특성

정상인에서 척추 각 분절, 기능성 단위(functional spinal unit)는 2개의 척추체와 그 사이의 추간판이 다양한 전후방의 인대와 주변 근육에 의하여 구성되어 척추강 내의 신경 조직을 보호할 뿐만 아니라 다양한 자세를 만들고 유지하게 함으로써 상하지의 운동이 효과적으로 이루어지도록 하고 있다.

기능해부학적 견지에서 보면, 각 기능성 단위는 전방에 추간판을 중심으로 연결된 안정성 위주의 섬유연골 결합(symphysis)로 구성되어 있어서 하중 부하를 주로 담당하고 있다. 후방에는 윤활관절(synovial joint)로 구성된 후관절(facet joint)에 의하여 굴곡 및 회전 운동의 특징적인 양상이 결정되고 있으며, 또한 상극돌기 인대(supraspinous ligament), 극돌기간 인대(interspinous ligament) 등의 다양한 인대에 의하여 인대 결합(syndesmosis joint)을 구성하여 안정성을 부여하고 있다.

전방 구조물, 섬유연골 결합은 추간판을 중심으로 2개 추체가 전중 인대와 후중 인대에 의하여 연결되어 있는 치골결합(symphysis pubis)와 같은 안정성 위주의 관절로, 각 분절의 하중 담당 기능은 주로 추간판의 물리적 특성에 의하여 결정된다<sup>31)</sup>. 추간판은 내부의 유동성 수핵은 친수성(hydrophilic)의 proteoglycan 등으로 주로 구성되고, 외측에는 섬유륜에 의하여 둘러 싸여져 있다. 수핵의 친수성에 기인된 유체 정역학적 물성(hydrostatic

property)에 의하여 운동시에 추간판이 각 분절의 지렛대로 작용하게 되고, 외부로부터 부하된 하중을 방사형으로 분산하여 응력의 집중을 방지한다. 섬유륜은 주로 제2형 교원질(type II collagen)로 구성된 여러 섬유성 층판의 특징적인 복합적인 구조적 특징을 가지고 있다. 부하된 하중은 수핵에 의하여 분산되며, 섬유륜의 특징적 구조에 의하여 분산된 인장력을 효과적으로 담당한다. 특히 섬유륜은 추체의 골과 Sharpey씨 섬유에 의하여 직접적으로 강력하게 연결되어 있어서 각 분절의 안정성을 유지시킨다.

후방의 후관절은 초자연골의 관절면 및 활액막과 관절낭(joint capsule)으로 구성된 윤활관절이기 때문에, 퇴행성 골관절염을 초래하여 요통을 유발하기도 한다. 운동 양상은 후관절면의 경사 방향에 의하여 결정되는데, 요추부의 근위부에서는 관절면이 시상면으로 배열되고, 원위부에서는 관상면으로 배열(coronal orientation)되어 있어서 요추부에서는 전후 굽힘 운동이 용이한 반면에, 측방향의 운동(side-bending)과 회전 운동에 다소간의 제한이 있다.

척추 분절의 후방에는 후궁 및 극돌기 사이를 다양한 인대들이 연결하여 각 분절을 안정시킨다. 이러한 인대들은 구조적으로 인장력에 대해 저항을 분절을 안정시키지만, 압박력에 대해서는 안정을 시키지 못한다. 후궁 사이의 황색 인대는 탄력성이 뛰어나서 후궁 사이를 당겨서 고정한다. 그 외에 상극돌기 인대, 극돌기간 인대 및 횡돌기간 인대들이 분절을 안정시키고 있다는 것을 여러 생역학적 연구를 통해 증명하여 오고 있다. 특히 상극돌기 인대가 안정성에 주된 기여를 하는 것으로 보고되고 있다.

### 2) 생역학적 특성과 안정성

1970년대 이후에 활발한 사체 혹은 동물의 척추를 이용한 생체역학적 실험적 연구를 통해, 척추 분절의 다양한 물리적 특성에 대한 많은 연구 결과가 보고되었다. 척추분절의 안정성에 대한 생역학적 실험은 추간판, 후관절 및 다양한 인대들의 기능에 대한 각 부분을 절단하여서 그 역할을 확인하고자 하였다. Tamaki 및 Panjabi는 후방구조물과 주위 조직을 제거하고 추간판에 굴곡, 신전 및 측방향으로 반복적인 모멘트(moment)를 부하하여 점탄성에 대한 특성을 분석하였다<sup>10)</sup>. Myklebust 등은 시험하고자 하는 후방의 인대를 제외한 부분을 절단하여서 분석한 결과, 특징적인 S-형의 force deflection curve를 관찰할 수가 있었을 뿐만 아니라 상극돌기 인대가 가장 큰 힘에 저항하여서 가장 중요하고, 극돌기간 인대는 큰 역할을 하지 못한다고 보고하였다<sup>32)</sup>.

1975년 Kazarian<sup>8)</sup>이 척추 분절에 지속적인 하중을 부

하하여서 시간의 경과에 따른 특징적인 변형 및 회복, 즉 creep 현상을 관찰하여 보고한 이래로 이에 대한 많은 연구가 진행되어 보고되고 있다<sup>11,12,33,34,35,36</sup>. Kazarian은 이러한 시간의 경과에 따른 변형은 수핵의 물성에 관계하고, 추간판과 후관절면의 모양이 영향을 미치게 한다고 보고하였다. Keller 등은 사체 실험모델을 이용한 것은 생체와 차이가 있다는 점을 확인하고<sup>9</sup>, 생체 내에서 다양한 형태의 실험을 시도하였다<sup>9,13,37,38</sup>. Keller 등<sup>9</sup>은 돼지 척추의 생체내 실험을 통하여 creep-recovery 및 추간판 내 압력을 측정 한 결과, 성숙한 돼지의 척추 분절이 미성숙 돼지의 것에 비하여 creep이 서서히 일어나고, 수핵의 점도는 높았다. 이러한 변화는 사망 후에 물리적 성질이 많이 변한다는 것을 확인할 수 있었고, 살아 있을 때 보다 빨리 반응하였다. 또한 생체 내에서 섬유륜의 사소한 파열도 추간판의 큰 범위의 절제만큼 생역학적으로 해롭다고 보고하였다. 이러한 보고는 섬유륜의 파열이 불안정하다는 Kiraldy-Willis의 보고<sup>4,5,6</sup>와 일치하였다.

Panjabi 등<sup>39</sup>이 1976년 척추 분절의 운동을 3차원적으로 관찰한 결과, 모든 운동은 3차원적으로 coupling이 일어나며, 축방향의 부하는 전위를 초래하고, 굴곡 시에 축방향의 회전이 증가하고, 신전 시에는 감소하는 것을 발견하여 보고 하였다. 이후에 척추 분절의 coupling이 흉추 및 요추 등의 위치에 따라 특징적인 운동의 형태로 있다고 보고하였다. 척추분절의 안정성이 손상되었을 때 이러한 특징적인 coupling 운동의 변화가 나타나게 되며, 또한 이상 운동이 척추 운동의 장애를 초래하기도 한다는 점을 알게 되었다<sup>14,17,18,39,40,41</sup>. 이러한 견해가 chiropractics의 치료근거<sup>42,43,44</sup> 및 척추측만 발생기전의 해석 및 치료의 근거<sup>40,41</sup>를 제공하고 있다.

그러나 이러한 생역학적 모델을 이용한 실험적 연구에서는 척추의 분절이 불과 2 kg 정도의 하중에 무너지게 되기 때문에, 그 해석과 임상적 적용에 많은 제한점이 있었다. 최근 이에 대해 1) neuromuscular protective 기전<sup>23,45</sup>과 2) follower load 개념이 도입되어 연구에 많은 발전이 있었다. Panjabi<sup>45</sup>는 척추를 안정시키는 시스템에는 3개의 시스템으로, ① 추간판 및 추체와 인대로 구성된 수동적 안정 시스템, ② 복부 및 척추전 후방의 근육에 의한 동적 안정 시스템과 ③ 이를 조정하는 신경근육 시스템이 있다고 가정하였다. 이러한 시스템이 서로 작용하여서 생리적 변화에 적응하거나 병변을 초래하게 된다고 주장하였다. 척추 주변에는 다열근(multifidus) 및 횡복근(transversus abdominis) 등의 국소적인 심부 근육군(local, deep unisegmental muscles)과 외복사근(external obliquus), 척추기립근(erector spinae) 및 복직근(rectus abdominis) 등의 광범위하게 표재성으로 분포하고 있는 다분절 근육군(global superficial multisegmental muscles)

이 있다. 심부 근육이 척추의 안정에 주로 관여하고, 외측의 근육군은 주로 체간을 움직이는데 사용되는 것으로 보고하고 있다<sup>23</sup>.

Patwardhan 등<sup>20</sup>은 생역학적 실험모델을 이용하여서 척추의 만곡을 따라 수직으로 압박력을 미리 부하한 후에 하중을 부하한 결과, 미리 follower load를 부하하지 않은 경우에는 불과 100 N에서 무너졌으나, follower load를 부하한 후에는 1200 N까지 견딜 수 있는 것을 보고하였다. 이러한 현상이 생체 내에서 신경근육계의 조절에 의하여 가장 효율적으로 하중이 전달되는 경로를 따라서 부하되는 follower load가 작용하기 때문에 척추가 무거운 하중을 담당 할 수 있다고 주장하였으며, 현재도 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다<sup>21,22,46,47,48</sup>. 이러한 연구 결과는 동적 시스템과 신경근육 시스템을 훈련하여 치료하고자 하는 요통교육 및 재활치료 등에 적용되고 있다.

## 2. 퇴행성 변화와 불안정성

### 1) 척추 분절의 퇴행성 변화

척추의 퇴행성 변화는 인간에게 만성적 장애를 일으키는 가장 흔한 원인의 하나이다.

추간판의 퇴행성 변화는 추간판의 기계적 손상, 영양 장애 및 선천성 요인에 의하여 발생하여서 화학적 변화 및 구조적 파손을 초래하게 된다<sup>31,49</sup>. 퇴행성 변화가 진행됨에 따라 추간판 내의 proteoglycan 및 수분의 양이 감소하고, 섬유륜의 파열과 물리적 특성의 변화를 초래하여 불안정성을 초래하는 것으로 알려져 있다. 20~30대의 사체 부검 연구 결과 약 50% 이상에서 섬유륜의 주변부에 열상이 관찰된다고 보고하고 있다<sup>50</sup>. Yong-Hing과 Kirkaldy-Willis<sup>51</sup>는 척추 각 분절은 전방에 추간판 중심의 관절과 후방에 2개의 후관절로 구성된 3관절 복합체로 한쪽의 퇴행성의 변화는 결국 다른 관절들에 퇴행성 변화를 초래한다고 보고하였다. 이러한 3관절 복합체는 기능부전기, 불안정기 및 재안정기의 연속적인 단계를 거치게 된다고 주장하였다. 추간판은 처음에는 생화학적인 변화에 따른 물성의 변화가 서서히 초래되어, 기능부전기에 주변으로 열상(circumferential tear)이 생기고 진행하여서 불안정기에 방사형으로 열상(radial tear), 추간판 파열(internal disruption)에 이어 추간판이 흡수(disc resorption)되었다가, 골극을 형성하여 재안정 된다. 후관절은 활액막염에 의해 가동성이 감소하였다가 퇴행성 변화가 지속되어 불안정기에 들어가면서 관절막의 이완과 아탈구가 발생하며, 최종 안정기에는 관절연골이 비후되어 척추관 협착을 초래한다고 설명하였다. 또한 이에 따른 각 분절의 생역학적 변화는 상하의 분절

에 영향을 미쳐서 점차적으로 다분절의 퇴행성 변화와 척추관 협착증을 초래한다고 하였다. 이러한 연속적 과정에서 후관절의 심한 관절염에 의한 불안정성이 초래되면, 퇴행성 척추전방전위증을 발생한다고 보고하였다. 반면에, 척추관 협착증은 퇴행성 변화가 진행되어 재안정기에 발생하기 때문에 대부분에서는 수술적 고정이 요하지 않는다고 판단하였다. 그러나 모든 퇴행성 변화가 이러한 연속적으로 발생한다는 이론에 대해서는 이견이 있어오고 있다<sup>52,53)</sup>. 근래에 Tanaka 등<sup>54)</sup>의 생역학적 실험적 연구를 통해 추간판에 퇴행성 변화가 진행되면 가동성이 증가하고, 특히 섬유륜의 방사형의 파열(annular tear)이 있는 경우에는 더 심한 증가가 있는 것을 관찰하였다. 추간판의 간격이 좁아지고, 골극 형성이 되는 심한 퇴행성 변화에서는 가동성이 감소되어 안정화되는 것을 생역학적 실험으로 증명하였다. 최근 Axelson 및 Karlsson<sup>55)</sup>이 18명의 환자를 대상으로 방사선적 측정을 시행한 결과, 퇴행성 변화에 의한 재안정 되기 위하여서는 적어도 추간판의 높이가 50% 이상 감소되어야 하며, 50% 이상 감소된 후에도 어느 정도의 가동성이 있다고 보고하였다.

## 2) 퇴행성 불안정성의 정의

불안정성이라는 용어는 기계, 토목 및 금속 등의 다양한 공학과 물리학 및 화학 등의 여러 분야에서 널리 사용되고 있는 전문용어의 하나이다. 백과사전을 찾아 보면, 공통되는 의견은 작은 외력에 과도한 변위 등의 반응을 보이거나 쉽게 균형이 깨지거나 파손되는 상태를 의미한다. 척추의 불안정성에 대하여서 그간 많은 학자들에 의하여서 임상적 불안정성(clinical instability)<sup>24,27,56)</sup>, 분절간 불안정성(segmental instability)<sup>3)</sup> 혹은 기능적 불안정성(functional instability)<sup>23)</sup> 등의 다양한 정의가 있어왔고, 그 판정의 기준에 있어서도 다소간의 이견이 있었다. 그러나 종합하면, 척추 분절의 강성도 등의 물리적 성질의 변화가 초래되어서, 사소한 또는 생리적 범위내의 외력 혹은 외적 환경의 변화에 의하여 척추의 안정성이 소실되어서 운동범위가 증가되거나 동역학적으로 비정상적 운동 양상을 초래하여, 참을 수 없는 통증이 유발되거나, 기형 및 신경학적 손상이 초래되고 진행되는 상태를 의미한다.

상기한 척추 분절의 생역학적 특성에 대한 고찰에서 척추 분절은 지속적(constant loading) 혹은 반복적(repetitive loading)인 하중 하에서 특이한 nonlinear stress-strain curve형의 거동 양상을 가진 점탄성의 구조물이라는 점을 확인할 수가 있었다. 척추 분절은 다양한 물질로 구성된 복합체이기 때문에, 시간의 경과에 따른 변형을 일으키는 독특한 creep 등의 특성을 가지고 있었다. 척추의

운동은 단순한 한 방향의 운동이 아니고 복합적으로 움직이며, 해부학적 위치 및 운동의 종류에 따른 다른 특이한 coupling 운동을 한다는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 척추 분절의 손상 혹은 퇴행성 변화 시에 단순한 기계적 강성도의 약화에 의한 전후, 좌우 혹은 측방향의 운동범위의 증가뿐만 아니라, 각 분절의 다양한 형태의 운동 양상 변화를 초래하여서 통증을 유발하고 기형을 초래할 수 있다는 점을 알게 하였다.

이러한 생역학적 특성을 고려할 때, 과연 어느 정도가 생리적 범위의 하중이며 사소한 것인지, 또한 다양한 정역학적 물성 중에 어떠한 특성이 변화되었는지 혹은 어떻게 비정상적 운동 양상을 어떻게 판정할 것인지 등등 모든 것이 어렵다. 골절 등의 외상에 의한 불안정성은 비교적 쉽게 판정할 수가 있고, 실험실에서 퇴행성 병변에 의한 추간판의 파열을 생역학적으로 creep 및 neutral zone의 변화, coupling 등 다양한 물성의 변화를 증명할 수가 있으나, 임상에서 방사선적으로 증명하기는 쉽지가 않다.

## 3) 퇴행성 불안정성의 진단

분절간 불안정성의 임상적 특징은 사소한 기계적 외력에 반복적인 급성 요통 혹은 방사통이 유발되며, “instability catch”, “painful catch”, “giving-way” 등의 소견이 있을 때 의심하게 된다<sup>3,4,6,23,57)</sup>. 불안정성의 진단을 확정하기 위해서는 일차적으로 척추 분절의 물성의 변화에 따른 기계적 불안정성을 증명하고, 통증과 기형 혹은 신경학적 손상이 이 기계적 불안정성과 관련이 있다는 점을 증명하여야 한다. 그러나 이러한 임상적으로 증상 및 진찰소견의 진단적 가치에 대해서는 이견이 있다. 불안정성에 의한 요통 여부를 확인하기 위하여서, 체외 고정구를 이용하여 의심되는 분절을 고정한 후에 증상의 경감을 확인하여서, 고정술 여부 및 범위와 예후를 결정하기도 하였다<sup>24,58,59,60)</sup>. 그러나 이러한 검사는 기본적으로 침습적이기 때문에 쉽게 적용하기 어려우며, 일반적으로 비침습적인 방사선 검사를 이용하여 확인하고 있다.

Osti 등<sup>7)</sup>은 돼지의 추간판을 단계적으로 절단하여 퇴행성 추간판의 생체내 생역학적 모델을 개발한 후에, 그 특성을 분석한 결과, 추간판의 작은 파열도 큰 결손만큼 creep의 변화가 초래되는 것을 확인하였다. 그 후에 생역학적 연구에서도 섬유륜의 파열<sup>8,9)</sup>이 불안정한 것으로 보고하고 있다. Panjabi는 생역학적 실험 등을 통하여, 단순한 총 운동범위의 증가가 아닌, 최소의 외력으로 쉽게 움직일 수 있는 소위 “neutral zone”이 생리적 범위 이상으로 증가된 상태를 불안정하다고 판정하는 것이 바람직하다고 하였다<sup>25)</sup>. 운동범위 자체는 정상이고 neutral

zone만이 증가된 경우 혹은 creep의 변화를 실험용 동물에서는 측정이 가능하나, 시간에 관련된 미세한 변화 등을 임상 환자에서 방사선적으로 확인하는 것은 매우 어렵다. 이러한 점에서 임상적으로 퇴행성 척추전방전위증에서 분절간 불안정성은 동적 방사선 검사 등을 이용하여 불안정성을 확인할 수가 있으나 동통성 섬유륜의 파열에서는 기계적 불안정성이 있어도 방사선적으로 neutral zone의 증가나 이상운동 양상을 증명하기는 매우 어려운 것이 현실이다.

Demoulin 등<sup>23)</sup>은 이러한 neutral zone이 증가된 소위 기능적 불안정(functional instability)은 방사선적으로 확인하기는 어렵기 때문에, 임상적 증상과 징후 및 도수적 검사를 통하여 확인 할 수가 있다고 하였다. 이러한 도수적 검사의 술자간 혹은 술자내의 신뢰도에 관련된 점을 극복하기 위하여서 Cook 등<sup>20)</sup>은 전문적인 물리치료사들을 대상으로 조사하여 15개의 identifier를 제안하였다. 그러나 이러한 임상적 증상 및 도수적 검사에 진단을 의존한다는 재활의학 혹은 물리치료학 분야의 의견을 정형외과 등의 기타 의학분야에서 일반적으로 받아들여지기에는 쉽지가 않다. Frymoyer와 Selby<sup>3)</sup>는 척추의 퇴행성 병변에 관련된 퇴행성 불안정성을 임상적, 방사선적 그리고 생역학적 개념에 근거하여서 전위 혹은 각운동의 축에 따라 축방향의 회전성(axial rotational syndrome), 전위성(translational syndrome), 후방전위성(retrolisthetic syndrome) 및 수술 후 불안정성(postsurgical instability syndrome)으로 분류하여서, 유합술의 선택에 도움을 얻고자 하였다. 회전성 불안정성에는 후관절 유합술(anti-torsion facet fusion)을, 전위성 불안정성에는 전방 혹은 후방 추체간 유합술을, 후방전위에서는 굴곡 상태에서 유합 혹은 Knot rod 기기술을 시행하는 것이 바람직하다고 주장하기도 하였다. 이러한 주장은 이론적으로는 매우 합당하나 현실적으로 여러 방향의 운동이 서로 혼재하여 있기 때문에 큰 의미가 없고, 단지 각 병변의 상태에 따른 특이한 치료기준의 설정이 요한다는 점은 의미가 있다고 판단된다.

결론적으로 척추의 분절간 불안정성의 진단 기준을 요약하면, 임상적으로 사소한 외력에 의하여 반복적으로 요통 혹은 방사통이 발생되는 것을 확인하고, 퇴행성 변화에 의하여 척추분절의 운동범위가 증가하거나 운동 양상의 이상을 방사선적으로 확인하여야 한다. 그러나 불안정성이 있는 상당한 경우에서 현실적으로 방사선적으로 확인할 수가 없는 경우도 상당할 것으로 예상되어서 불안정성이 의심되는 경우에는 병리적 소견과 임상적 소견 등을 충분히 고려하여서 유합술을 결정하여야 한다.

### 3. 퇴행성 불안정성의 방사선적 진단

과학의 발달과 더불어 방사선 검사 방법도 단순 방사선 촬영에서 전산화단층촬영 및 자기공명영상검사 등으로 발전을 거듭하여 왔다. 퇴행성 불안정성의 방사선적 진단 역시 1930년 Junghanns<sup>61)</sup>가 “pseudo-spondylolisthesis”를 보고하고, Knutson<sup>62)</sup>이 1944년 기립위에서 전후방 굽힘 방사선 촬영의 의미를 확인이래 진화를 거듭하여 왔다<sup>1)</sup>.

방사선적 진단은 1) 척추 분절의 불안정성에 의하여 발생하는 병리적 소견을 확인하여 간접적으로 확인하는 방법과 2) 동적 촬영을 이용하여 과운동 혹은 이상운동 형태를 확인하는 방법으로 구분된다.

#### 1) 불안정성의 병리적 소견

일반적으로 Knutson<sup>62)</sup>이 보고한 추간판 내에 공기 음영이 보이는 진공현상(vacuum phenomenon)이 분절간 불안정성과 관련된 첫 방사선적 병리 소견으로 알려져 있다. 척추 분절의 불안정성에 의하여 추간판 내에 질소가스가 축적되어 검은 음영이 나타나는 것으로 추정하였다. 전산화단층 촬영이 도입됨에 따라 추간판 뿐만 아니라 후관절 내에 진공현상을 보다 정확하게 진단할 수 있게 되었다. 그 외에도 견인성 골극, 중등도의 추간판의 퇴행성 변화에 의하여 추간판 간격의 경도 협소와 더불어 주변에 골경화의 소견, 후관절면의 비대칭, 자기공명영상에서 골수의 음영변화 및 섬유륜의 파열 등이 불안정성과 관련된 병리적 소견으로 거론되고 있으나, 이러한 소견의 불안정성과의 관련에 대해서는 다양한 의견이 있다. 단순방사선 검사에서 진공현상<sup>63,64,65)</sup>, 견인성 골극, 추간판 간격의 협소 및 주위의 골경화 등이 발견될 경우에는 현재 불안정성의 반응으로 판단하기 보다는 대부분이 불안정성의 결과 혹은 복구 반응으로 판단하는 것이 바람직하다<sup>26)</sup>.

최근 자기공명영상검사가 임상에도 도입됨에 따라 새로이 발견되는 골수의 음영 변화 및 추간판 파열과 후관절의 액체 음영 및 활액낭 형성 등의 변화에 대하여서도 다양한 의견이 제시되고 있다. Modic 등은 퇴행성 척추 분절에서 추체의 골수의 변화를 3가지로 분류하였다. 제 1형의 골수 변화는 T1 강조영상에서는 음영이 감소되고 T2 강조영상에서 증가되고 조직검사에서는 혈관 및 섬유조직이 증식되며, 미세한 불안정성 등이 관련하여 통증을 유발하는 것으로 보고 하고 있다<sup>49)</sup>. Lang 등<sup>66)</sup>은 유합술 후에 불안정성이 확인된 14예 중에 10예에서 추체 내에 제 1형의 골수변화를 확인하였으며, 이러한 소견은 동통을 유발하는 불안정성을 확인하는데 매우 의미 있는 소견이라고 주장하였다. 그 외에도 여러 학자

들에 의하여 제 1형의 골수 변화가 있는 척추분절에 추간판 조영술을 시행한 결과, 통증 유발되는 것을 확인한 바가 있다. 그러나 **Brams** 등<sup>67)</sup>은 60명의 환자에서 300 척추분절에 대해 기능적 방사선검사를 통한 불안정성을 확인한 후에 자기공명영상 검사소견과 상관관계를 분석한 결과, 견인성 골극과 섬유륜의 파열이 발견된 경우에는 역동적 촬영을 시도하는 것이 바람직하나, 그러나 골수의 변화와 불안정성은 통계적으로 유의한 상관관계가 없다고 보고하기도 하였다. **Aprill**과 **Bogduk**<sup>68)</sup>은 자기공명영상검사서 T2강조영상에서 섬유륜에 증가된 음영(**high-intensity zone; HIZ**)이 심하게 파열되어 증상을 유발하는 추간판의 약 86%에서 발견되며, 추간판 파열 증후군에서 특이도 및 양성예측도가 높은 진단방법이라고 보고하였다. 그러나 **Carragee** 등<sup>69)</sup>은 HIZ가 증상이 있는 환자에서 많이 관찰되지만, 무증상에서도 약 25%에서 관찰되기 때문에 그 진단적의 의미를 갖기에는 문제가 있다고 보고하였다. 결과적으로 이러한 소견이 관찰되는 경우에는 동적 사진을 촬영하여서 불안정성을 확인하고, 추간판 조영술을 시행하여서 통증유발과의 관계를 확인하여 치료를 결정하여야 한다.

퇴행성 변화가 진행함에 따라 후관절의 골관절염이 진행되고, 이에 따른 활액막의 비후와 더불어 종창 및 활액낭을 형성되어, 관절이 불안정하여 지고 신경을 압박하게 된다. 1998년 **Mailleux** 등<sup>70)</sup>이 퇴행성 척추전방전위증에서 누운 자세에서 자기공명영상을 촬영하게 됨에 따라서, 전위된 추체가 정복되어서 전위증을 확인할 수가 없었으나, 후관절에 관절액이 관찰된 2예를 보고하면서, 이렇게 관절액이 관찰될 경우에는 불안정성을 의심하여야 한다고 보고하였다. **Ben-Galim** 및 **Reitman** 등<sup>71)</sup>은 척추관 협착증 환자의 누운 자세에서 촬영한 자기공명영상에서 관절액으로 차여져 있는 넓은 후관절이 일어났을 때는 전위가 일어나 신경을 압박하게 된 6예의 증례보고를 통해 “**distended facet sign**”이라고 명명하였다. **Rihn** 등<sup>72)</sup>은 동적 방사선 사진과 자기공명영상검사서 후관절내 관절액과 상관관계를 분석한 결과, 통계적으로 유의한 선형의 상관관계가 있는 것을 확인하여서, 관절액이 확인된 경우에는 불안정성을 의심하여야 한다고 하였다.

## 2) 역동적 방사선검사

현재까지 척추의 분절간 불안정성을 확인하는 가장 신뢰도가 높은 방사선적 검사는 역동적 촬영을 통한 척추분절의 과운동 혹은 운동 양상의 이상을 검증하는 것이다. 전후굽힘<sup>1,6,73)</sup> 혹은 측방향으로 견인 혹은 압박 상태<sup>74)</sup>에서 단순방사선 검사를 시행하는 역동적 방사선검사가 가장 흔히 사용되고 있다. 측방향의 견인 혹은 압

박 상태의 검사법은, 체중의 약 30% 정도 무게의 모래주머니를 메거나, 봉에 손을 잡고 매달린 상태에서 시상면의 방사선 사진을 촬영하여서 확인하게 된다. **Pitkanen** 등<sup>75)</sup>은 좌우굽힘 사진과 비교하여 진단적 가치를 평가한 결과, 큰 의미가 없는 것으로 보고하였다. 역동적 사진의 촬영 시에 기립위<sup>62,76)</sup>, 옆으로 누운 자세<sup>77)</sup> 또는 앉은 자세<sup>1)</sup>에서 촬영할 것인지에 대해서도 이견이 있어 왔다. 그러나, 이러한 자세의 선정에는 과연 어떠한 자세가 생리적 하중에 해당하며, 과운동을 최대한 효과적으로 유발할 수 있는 지와 촬영 당시에 통증에 의한 근육의 경직이 운동제한을 어떻게 제어할 것인지가 주된 문제이다. 기립위에서는 체중의 부하에 의하여 증가될 수 있으나, 누운 자세에서는 통증이 감소되고, 자세에 관련된 복근 및 배근의 작용이 감소되어 보다 전위가 증가될 수 있다.

측면 방사선 사진의 측정에 있어서, 측정하는 방법, 방사선 사진의 질 및 동반된 회전 운동 등에 의하여서 측정오차가 발생할 수 있다. **Shaffer** 등<sup>78)</sup>의 실험적 연구결과에 의하면 방사선 사진의 질이 좋지 않을 경우에는 5 mm 이하의 전위에서는 측정치가 실제값 보다 크게 측정될 수도 있다고 보고하였다. 측정방법은 **Morgan**과 **King**의 방법 등<sup>1)</sup>의 방법이 시행하기에 가장 좋은 방법이라고 보고하였다. 그 외에도, **Posner** 등<sup>79)</sup>의 방법, **Dupis** 등<sup>73)</sup>의 방법이 널리 사용되며, 전위를 백분율로 계산하기 때문에 확대에 의한 오차를 줄일 수 있다.

그러나 이러한 측정법들은 수동적으로 최대 2차원적인 운동범위를 측정하기 때문에 그 정확도가 의심받게 된다. 최근 척추체 여러 개의 표시자를 삽입하여서 이들의 움직임을 2방향에서 측정하여서 해석하는 소위 **radiostereometric analysis (RSA)**의 방법을 이용한 3차원적 분석이 시도되고 있다.<sup>55,80,81,82)</sup> 현재로서는 이 방법이 가장 정확한 방법으로 여겨지고 있으며, 측정오차가 각 운동은 1도, 전위는 1 mm 이하로 보고되고 있다. 이러한 측정법은 아주 정밀한 값이 요구되는 고정술 후의 미세한 움직임을 확인하는데 도움이 된다. 그러나 침습적인 방법이기 때문에 임상적용에 있어서 제한점이 있다. 이러한 침습에 따른 문제점을 해결하기 위하여 **distortion-compensated roentgen analysis (DCRA) protocol**을 이용하여 해부학적 위치를 전산적으로 보정하여서 처리하여 측정한 결과, RSA에 비해서는 측정오차가 크지만 전통적인 방법에 비해서는 많이 개선되었다고 보고하고 있다.<sup>83,84,85,86)</sup>

이러한 동적 방사선검사서 결정하기 어려운 것의 하나는 정상 운동범위를 결정하는 것이다. 정상의 범위가 광범위하고, 환자와 정상 사이에 서로 공동 부분이 상당하기 때문에 이를 결정하기가 쉽지 않다. 그러나 일반적으로 시상면상에서 각운동이 10도 이상, 전위가 4



mm 이상을 불안정성으로 판정하고 있다<sup>1,73)</sup>. Posner 등<sup>79)</sup>은 제1 요추에서 5 요추 사이에서는 추체 넓이의 약 8% 이상의 전위를, 제5 요추-천추에서는 6% 이상의 전위를 불안정으로 판정하였고, 상기 각 부위의 시상면에서 굴곡 시에 각운동을 -9도, 1도를 각각 판별점으로 결정하였다. 이러한 기준을 적용하여 수술을 시행하여 Yone과 Sakou<sup>7)</sup>는 양호한 결과를 얻었다고 보고하였다.

운동 양상의 이상을 확인하기 위하여 좌우 굽힘 사진에서 coupling의 이상을 확인할 수가 있다. 허리를 좌우 방향으로 굽힐 때 정상인의 요추부에서는 측면으로 굽힘 운동과 측방향의 회전 운동이 동시에 일어나는데, 오목한 쪽의 추간판의 간격이 상대적으로 좁아지고 극돌기의 끝이 회전에 의하여 만곡의 오목한 쪽(concave side)으로 향하게 된다<sup>4,87)</sup>. 극돌기의 방향이 볼록한 쪽으로 향하거나, 오목한 쪽의 추간판 간격이 오히려 넓어지는 소위 'paradoxical opening'은 coupling 운동의 이상으로 판단할 수가 있다. Kirkaldy-Willis는 좌우 굽힘 사진에서 이러한 소견을 기능 부전시기에 관찰할 수가 있다고 하였다. Pikanen과 Mainninen<sup>87)</sup>은 전후 굽힘과 좌우 굽힘 사진을 비교하여 진단적 가치를 평가한 결과, 좌우 굽힘 사진은 전후 굽힘 사진의 단지 보조적 기능을 가지고 있다고 보고하였다.

전산화 단층촬영이 개발됨에 따라 이러한 측방향의 이상 운동을 보다 직접적으로 촬영하고 측정이 가능해졌다. Kirkaldy-Willis와 Farfan<sup>4)</sup>은 소위 "twist test"라는 기능적 전산화단층촬영법을 소개하였다. 골반을 바닥에 밴드 등으로 고정을 시킨 상태에서 상체를 회전시켜 촬영하여 관절의 아탈구 혹은 관절 간격의 확대 등을 관찰하여서 회전성 불안정성을 확인하였다. 최근에도 Ochia 등<sup>28)</sup>은 환자와 정상인을 대상으로 3차원 영상 재구성을 이용하여 회전성 운동과 자기공명영상검사상의 추간판의 퇴행성 변화를 비교 분석한 결과, 두군 모두에서 추간판의 퇴행 정도와 회전, 측방향의 굽힘 및 전방전위 등의 분절간 운동이 상관관계가 없음을 확인하였다.

최근 자기공명영상검사의 촬영 시스템의 진화하여서, 원형의 폐쇄형이 아닌 C-형의 개방형 시스템이 임상에도 도입됨에 따라 자기공명영상검사를 이용한 역동적 검사가 가능하게 되었다. Funk 등<sup>29)</sup>이 1998년 요추부의 동적 촬영에 대한 첫 보고 후에 기립위 혹은 앉은 자세에서 척추분절의 불안정성을 확인하고자 하여 오고 있다. 최근 Jinkins 및 Dworkin<sup>88)</sup> 누운 자세, 기립위에서 검사를 시행하고, 또한 전후 굽힘에 대한 동적 검사를 시행하여 비교하였다. 누운 자세에서는 발견되지 않았으나, 기립위 혹은 전후 굽힘 동적 검사에 다음과 같은 새로운 소견들을 확인할 수가 있었다. 전후의 동요하는 추간판 탈출(fluctuating anterior and posterior disc herniation), 과운

동성 불안정성(hypermobility spinal instability), 중심성 및 신경공성 척추관 협착증(central spinal canal and spinal neural foramen stenosis) 및 시상면상의 전반적인 모양 변화(general sagittal spinal contour change) 등의 관찰되었다. 이러한 시스템은 고가로 일반적인 병원에서 현재 보유하기는 매우 어렵다. 그러나, 앞으로 과거에 누운 상태에서 확인되지 못하였던 퇴행성 불안정성에 의한 새로운 병리해부학적 변화를 관찰할 수가 있을 것으로 예상된다.

그 외에도 척추분절의 동역학적 이상을 확인하기 위하여서, 영화방사선 촬영술(cineradiography)을 이용하여 불안정성의 특성을 분석하고 있다<sup>89,90,91,92)</sup>. Takayanagi 등<sup>90)</sup>은 퇴행성 척추 전방전위증 환자를 대상으로 영화방사선 촬영술을 시행하여 분석한 결과 15% 이하 전위된 제1 군에서는 분절간 불안정성에 의하여 f-e 각이 증가되면서 변질된 운동 양상을 보였다. 제2 군에서는 전위가 감소되면서 변질된 이상 운동 양상을 보였으며, 이러한 현상은 재안정화에 의한 것으로 판단하였다. 이러한 운동역학적 분석은 앞으로 인공추간판 및 후방 연성고정술 등의 새로운 술식에 의한 운동 양상의 변화 등을 분석하고 해석하는데는 많은 도움이 될 수 있을 것으로 예상되나 아직 일반적인 퇴행성 불안정성을 평가하는데는 추가적 연구가 요한다.

#### 4. 치료

퇴행성 불안정성의 치료 방법의 결정에 있어서 해당 질병의 자연적 경과(natural history of disease)와 치료 방법의 효과와 부작용을 가장 먼저 고려하여야 한다는 일반적인 원칙은 다를 바가 없다. American Association of Neurological Surgeon과 Congress of Neurological Surgeon이 합동으로 2년간 조사한 보고에 따르면, 현재까지 보고된 논문들을 종합한 결과, 척추관 협착증은 감압술 단독으로, 퇴행성 척추 전방전위증에서는 유합술을 동시에 하는 것이 합당한 것으로 보고하고 있다<sup>93)</sup>. 그러나 앞에서 밝힌 바와 같이 Yone과 Sakou<sup>2)</sup>는 척추관 협착증에서 불안정성이 확인된 경우에는 유합술을 시행한 것이 결과가 양호한 것으로 보고하고 있다. Kristof 등<sup>94)</sup>은 노인에서 불안정성이 없는 퇴행성 척추 전방전위증 환자에서는 감압술 단독으로 양호한 결과를 얻을 것으로 보고하였다. 또한, Kinoshita 등<sup>95)</sup>도 편측도달법에 의한 저침습적 감압술로도 좋은 결과를 얻은 것으로 보고하고 있다. 이러한 보고들은 단순한 질병의 개괄적으로 자연적 경과만을 중심으로 치료방법을 결정하기 보다는 앞에서 거론된 여러 가지 퇴행성 불안정성의 진단적 기준을 고려하여서 결정하여 한다는 점을 강조하는 것으로

판단된다. 척추관 협착증으로 후관절의 활액낭 및 관절 간격의 확대 혹은 골수내에 Modic 1형의 변화가 관찰된 경우에는 유합술을 고려할 수가 있다. 보존적 처치에 실패하여서 지속적 통증으로 일상생활에 심한 지장을 초래하는 추간판 파열증후군이거나 섬유륜의 파손의 경우에 자기공명영상 검사에서 후방섬유륜에 음영의 증가 외에는 저명한 불안정성에 관련된 방사선적 소견을 확보 하기가 어렵다. 이러한 경우들에서는 결국 추간판 조영술 및 후관절 주사법 등을 이용한 증상의 유발과 완화를 통하여 병소를 확인하여서 유합술 등의 수술 여부와 범위를 결정하게 된다.

최근 Panjabi 등이 인공추간판 치환술후에 주변 분절에 유합에 의한 효과를 감소한다는 생역학적 보고<sup>22,96,97)</sup>와 10년 이상 장기 추적 결과<sup>98,99,100)</sup>가 보고됨과 동시에 다양한 합병증에 의하여 재수술의 결과<sup>101,102,103,104,105)</sup>가 보고되고 있다. 극돌기 사이에 동적 고정을 위한 다양한 기구<sup>106,107,108)</sup>들이 소개되고 있으며, 역시 기구에 따라서 높은 실패율<sup>109)</sup>이 보고되고 있다. 아직은 보다 정확한 평가를 위한 시간이 필요한 것으로 판단된다.

## 결 론

퇴행성 병변에서 유합술 여부 등을 결정함에 있어서 무엇보다 중요한 것은 각 질병의 자연적 경과와 불안정성 여부를 확인하는 것이다. 척추관 협착증은 일반적으로 안정화되어서 대부분 단순 감압술로 충분한 반면에 퇴행성 척추 전방전위증에서는 불안정하여서 유합술을 동시에 시도하는 것이 바람직하다. 단순 방사선 검사 뿐만 아니라 자기공명술 등의 다양한 검사를 통한 병리적 소견과 과운동 혹은 이상 형태의 운동을 확인하여서 불안정성을 확인된 경우에는 척추관 협착증이라도 유합술을 고려하여야 하며, 전위증이라도 없는 노인의 경우에는 단순감압을 고려하여야 한다.

섬유륜의 파열에 의하여 퇴행성 불안정성이 있어도 실험실적 연구에서는 creep 혹은 coupling 등의 이상이 확인될 수가 있으나 방사선 검사에서는 확인되지 않을 수 있다. 또한, 개인적인 차이에 의하여 과운동 및 이상운동의 판별점을 결정하기가 쉽지 않기 때문에, 추간판 조영술 등을 이용하여 유합술의 결정 전에 증상과의 관련을 확인하는 것이 바람직 하다.

## 참고문헌

1) Morgan FP, King T: Primary instability of lumbar ver-

tebrae as a common cause of low back pain. *J Bone Joint Surg Br* 1957; 39: 6-22.

- 2) Yone K, Sakou T: Usefulness of Posner's definition of spinal instability for selection of surgical treatment for lumbar spinal stenosis. *J Spinal Disord* 1999; 12: 40-44.
- 3) Frymoyer JW, Selby DK: Segmental instability. Rationale for treatment. *Spine* 1985; 10: 280-286.
- 4) Kirkaldy-Willis WH, Farfan HF: Instability of the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 1982: 110-123.
- 5) Kirkaldy-Willis WH, McIvor GW: Editorial: Lumbar spinal stenosis. *Clin Orthop Relat Res* 1976: 2-3.
- 6) Kirkaldy-Willis WH, Wedge JH, Yong-Hing K, Reilly J: Pathology and pathogenesis of lumbar spondylosis and stenosis. *Spine* 1978; 3: 319-328.
- 7) Osti OL, Vernon-Roberts B, Fraser RD: 1990 Volvo Award in experimental studies. Anulus tears and intervertebral disc degeneration. An experimental study using an animal model. *Spine* 1990; 15: 762-767.
- 8) Kazarian LE: tear characteristics of the human spinal column. *Orthop Clin North Am* 1975; 6: 3-18.
- 9) Keller TS, Holm SH, Hansson TH, Spengler DM: 1990 Volvo Award in experimental studies. The dependence of intervertebral disc mechanical properties on physiologic conditions. *Spine* 1990; 15: 751-761.
- 10) Tamaki T, Panjabi MM: Identification of viscoelastic property of intervertebral disc under flexion, extension and lateral bending. *Biomed Mater Eng* 1991; 1: 203-214.
- 11) Koeller W, Funke F, Hartmann F: Biomechanical behavior of human intervertebral discs subjected to long lasting axial loading. *Biorheology* 1984; 21: 675-686.
- 12) Keller TS, Nathan M: Height change caused by creep in intervertebral discs: a sagittal plane model. *J Spinal Disord* 1999; 12: 313-324.
- 13) Bass CR, Planchak CJ, Salzar RS, et al: The temperature-dependent viscoelasticity of porcine lumbar spine ligaments. *Spine* 2007; 32: E436-442.
- 14) Panjabi MM: Experimental determination of spinal motion segment behavior. *Orthop Clin North Am* 1977; 8: 169-180.
- 15) Parnianpour M, Nordin M, Kahanovitz N, Frankel V: 1988 Volvo award in biomechanics. The triaxial coupling of torque generation of trunk muscles during isometric exertions and the effect of fatiguing isoinertial movements on the motor output and movement patterns. *Spine* 1988; 13: 982-992.



- 16) **Pearcy MJ**: Stereo radiography of lumbar spine motion. *Acta Orthop Scand Suppl* 1985; 212: 1-45.
- 17) **Cholewicki J, Crisco JJ, 3rd, Oxland TR, Yamamoto I, Panjabi MM**: Effects of posture and structure on three-dimensional coupled rotations in the lumbar spine. A biomechanical analysis. *Spine* 1996; 21: 2421-2428.
- 18) **Keller TS, Colloca CJ, Gunzburg R**: Neuromechanical characterization of in vivo lumbar spinal manipulation. Part I. Vertebral motion. *J Manipulative Physiol Ther* 2003; 26: 567-578.
- 19) **Harrison DE, Harrison DD, Troyanovich SJ**: Three-dimensional spinal coupling mechanics: Part I. A review of the literature. *J Manipulative Physiol Ther* 1998; 21: 101-113.
- 20) **Patwardhan AG, Havey RM, Meade KP, Lee B, Dunlap B**: A follower load increases the load-carrying capacity of the lumbar spine in compression. *Spine* 1999; 24: 1003-1009.
- 21) **Rohlmann A, Neller S, Claes L, Bergmann G, Wilke HJ**: Influence of a follower load on intradiscal pressure and intersegmental rotation of the lumbar spine. *Spine* 2001; 26: E557-561.
- 22) **Panjabi M, Henderson G, Abjornson C, Yue J**: Multi-directional testing of one- and two-level ProDisc-L versus simulated fusions. *Spine* 2007; 32: 1311-1319.
- 23) **Demoulin C, Distree V, Tomasella M, Crielaard JM, Vanderthommen M**: Lumbar functional instability: a critical appraisal of the literature. *Ann Readapt Med Phys* 2007; 50: 677-684.
- 24) **Panjabi MM**: Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2003; 13: 371-379.
- 25) **Panjabi MM**: The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord* 1992; 5: 390-396; discussion 397.
- 26) **Leone A, Guglielmi G, Cassar-Pullicino VN, Bonomo L**: Lumbar intervertebral instability: a review. *Radiology* 2007; 245: 62-77.
- 27) **White AA, 3rd, Johnson RM, Panjabi MM, Southwick WO**: Biomechanical analysis of clinical stability in the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res* 1975: 85-96.
- 28) **Ochia RS, Inoue N, Takatori R, Andersson GB, An HS**: In vivo measurements of lumbar segmental motion during axial rotation in asymptomatic and chronic low back pain male subjects. *Spine* 2007; 32: 1394-1399.
- 29) **Funk C, Beyer HM, Volle E**: [Functional MRT of the LS in an open magnet system-the initial results]. *Rofo* 1998; 169: 27-32.
- 30) **McGregor AH, Anderton L, Gedroyc WM, Johnson J, Hughes SP**: The use of interventional open MRI to assess the kinematics of the lumbar spine in patients with spondylolisthesis. *Spine* 2002; 27: 1582-1586.
- 31) **Moon S**: Biochemical factors of intervertebral disc degeneration: Implications for disc regeneration. *Journal of Korean Spine Surg* 2007; 14: 120-128.
- 32) **Myklebust JB, Pintar F, Yoganandan N, et al**: Tensile strength of spinal ligaments. *Spine* 1988; 13: 526-531.
- 33) **Adams MA, McMillan DW, Green TP, Dolan P**: Sustained loading generates stress concentrations in lumbar intervertebral discs. *Spine* 1996; 21: 434-438.
- 34) **Masuoka K, Michalek AJ, MacLean JJ, Stokes IA, Iatridis JC**: Different effects of static versus cyclic compressive loading on rat intervertebral disc height and water loss in vitro. *Spine* 2007; 32: 1974-1979.
- 35) **Silva P, Crozier S, Veidt M, Pearcy MJ**: An experimental and finite element poroelastic creep response analysis of an intervertebral hydrogel disc model in axial compression. *J Mater Sci Mater Med* 2005; 16: 663-669.
- 36) **Williams JR, Natarajan RN, Andersson GB**: Inclusion of regional poroelastic material properties better predicts biomechanical behavior of lumbar discs subjected to dynamic loading. *J Biomech* 2007; 40: 1981-1987.
- 37) **Hodges PW, Cresswell AG, Daggfeldt K, Thorstensson A**: In vivo measurement of the effect of intra-abdominal pressure on the human spine. *J Biomech* 2001; 34: 347-353.
- 38) **Perie D, Korda D, Iatridis JC**: Confined compression experiments on bovine nucleus pulposus and annulus fibrosus: sensitivity of the experiment in the determination of compressive modulus and hydraulic permeability. *J Biomech* 2005; 38: 2164-2171.
- 39) **Panjabi MM, Brand RA, Jr., White AA, 3rd**: Mechanical properties of the human thoracic spine as shown by three-dimensional load-displacement curves. *J Bone Joint Surg Am* 1976; 58: 642-652.
- 40) **Pope MH, Stokes IA, Moreland M**: The biomechanics of scoliosis. *Crit Rev Biomed Eng* 1984; 11: 157-188.
- 41) **Aubin CE, Dansereau J, de Guise JA, Labelle H**: Rib cage-spine coupling patterns involved in brace treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 1997; 22: 629-635.
- 42) **Harrison DE, Harrison DD, Troyanovich SJ**: Three-dimensional spinal coupling mechanics: Part II. Implica-

- tions for chiropractic theories and practice. *J Manipulative Physiol Ther* 1998; 21: 177-186.
- 43) **Plaughner G, Burrow MN:** Three-dimensional spinal coupling mechanics--Part II: implications for chiropractic theories and practice. *J Manipulative Physiol Ther* 1999; 22: 353-355.
  - 44) **Keller TS, Colloca CJ, Harrison DE, Harrison DD, Janik TJ:** Influence of spine morphology on intervertebral disc loads and stresses in asymptomatic adults: implications for the ideal spine. *Spine J* 2005; 5: 297-309.
  - 45) **Panjabi MM:** The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord* 1992; 5: 383-389; discussion 397.
  - 46) **Patwardhan AG, Havey RM, Ghanayem AJ, et al:** Load-carrying capacity of the human cervical spine in compression is increased under a follower load. *Spine* 2000; 25: 1548-1554.
  - 47) **Wilke HJ, Rohlmann A, Neller S, Graichen F, Claes L, Bergmann G:** ISSLS prize winner: A novel approach to determine trunk muscle forces during flexion and extension: a comparison of data from an in vitro experiment and in vivo measurements. *Spine* 2003; 28: 2585-2593.
  - 48) **Cloutier LP, Aubin CE, Grimard G:** Biomechanical study of anterior spinal instrumentation configurations. *Eur Spine J* 2007; 16: 1039-1045.
  - 49) **Modic MT, Ross JS:** Lumbar degenerative disk disease. *Radiology* 2007; 245: 43-61.
  - 50) **Krismer M, Haid C, Ogon M, Behensky H, Wimmer C:** [Biomechanics of lumbar instability]. *Orthopade* 1997; 26: 516-520.
  - 51) **Yong-Hing K, Kirkaldy-Willis WH:** The pathophysiology of degenerative disease of the lumbar spine. *Orthop Clin North Am* 1983; 14: 491-504.
  - 52) **Soini J, Antti-Poika I, Tallroth K, Konttinen YT, Honkanen V, Santavirta S:** Disc degeneration and angular movement of the lumbar spine: comparative study using plain and flexion-extension radiography and discography. *J Spinal Disord* 1991; 4: 183-187.
  - 53) **Murata M, Morio Y, Kuranobu K:** Lumbar disc degeneration and segmental instability: a comparison of magnetic resonance images and plain radiographs of patients with low back pain. *Arch Orthop Trauma Surg* 1994; 113: 297-301.
  - 54) **Tanaka N, An HS, Lim TH, Fujiwara A, Jeon CH, Haughton VM:** The relationship between disc degeneration and flexibility of the lumbar spine. *Spine J* 2001; 1: 47-56.
  - 55) **Axelsson P, Karlsson BS:** Intervertebral mobility in the progressive degenerative process. A radiostereometric analysis. *Eur Spine J* 2004; 13: 567-572.
  - 56) **Panjabi MM, Lydon C, Vasavada A, Grob D, Crisco JJ, 3rd, Dvorak J:** On the understanding of clinical instability. *Spine* 1994; 19: 2642-2650.
  - 57) **Cook C, Brismee JM, Sizer PS, Jr:** Subjective and objective descriptors of clinical lumbar spine instability: a Delphi study. *Man Ther* 2006; 11: 11-21.
  - 58) **Grob D, Panjabi M, Dvorak J, et al:** [The unstable spine--an "in vitro" and "in vivo study" on better understanding of clinical instability]. *Orthopade* 1994; 23: 291-298.
  - 59) **Soini J, Slati P, Kannisto M, Sandelin J:** External transpedicular fixation test of the lumbar spine correlates with the outcome of subsequent lumbar fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1993: 89-96.
  - 60) **Faraj AA:** External fixation in lumbar segmental instability. *Acta Orthop Belg* 2003; 69: 9-12.
  - 61) **Junghanns H:** Spondylolisthesis ohne spalt in zwischen-gelenstuck. *Arch Orthop Unfall-Chirurg* 1930; 29: 118-127.
  - 62) **Knuttson F:** The instability associated with disc degeneration in the lumbar spine. *Acta Radiol* 1944; 25: 593-609.
  - 63) **Latif AB:** [Vacuum phenomenon in the intervertebral disc]. *Magy Traumatol Orthop Helyreallito Seb* 1991; 34: 297-300.
  - 64) **Anda S, Stovring J, Ro M:** CT of extraforaminal disc herniation with associated vacuum phenomenon. *Neuroradiology* 1988; 30: 76-77.
  - 65) **Kloc W:** [Gaseous degeneration of the intervertebral disc within the lumbar spine]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol* 1998; 63: 117-122; discussion 123-114.
  - 66) **Lang P, Chafetz N, Genant HK, Morris JM:** Lumbar spinal fusion. Assessment of functional stability with magnetic resonance imaging. *Spine* 1990; 15: 581-588.
  - 67) **Bram J, Zanetti M, Min K, Hodler J:** MR abnormalities of the intervertebral disks and adjacent bone marrow as predictors of segmental instability of the lumbar spine. *Acta Radiol* 1998; 39: 18-23.
  - 68) **Aprill C, Bogduk N:** High-intensity zone: a diagnostic sign of painful lumbar disc on magnetic resonance imaging.

- ing. *Br J Radiol* 1992; 65: 361-369.
- 69) **Carragee EJ, Paragioudakis SJ, Khurana S:** 2000 Volvo Award winner in clinical studies: Lumbar high-intensity zone and discography in subjects without low back problems. *Spine* 2000; 25: 2987-2992.
- 70) **Mailleux P, Ghosez JP, Bosschaert P, Malbecq S, Coulier B:** [Distension of the inter-facet joints in MRI: and indirect sign of an existing underestimation of spondylolisthesis and canal stenosis]. *J Belge Radiol* 1998; 81: 283-285.
- 71) **Ben-Galim P, Reitman CA:** The distended facet sign: an indicator of position-dependent spinal stenosis and degenerative spondylolisthesis. *Spine J* 2007; 7: 245-248.
- 72) **Rihn JA, Lee JY, Khan M, et al:** Does lumbar facet fluid detected on magnetic resonance imaging correlate with radiographic instability in patients with degenerative lumbar disease? *Spine* 2007; 32: 1555-1560.
- 73) **Dupuis PR, Yong-Hing K, Cassidy JD, Kirkaldy-Willis WH:** Radiologic diagnosis of degenerative lumbar spinal instability. *Spine* 1985; 10: 262-276.
- 74) **Friberg O:** Lumbar instability: a dynamic approach by traction-compression radiography. *Spine* 1987; 12: 119-129.
- 75) **Pitkanen M, Manninen HI, Lindgrer KA, Turunen M, Airaksinen O:** Limited usefulness of traction-compression films in the radiographic diagnosis of lumbar spinal instability. Comparison with flexion-extension films. *Spine* 1997; 22: 193-197.
- 76) **Lowe RW, Hayes TD, Kaye J, Bagg RJ, Luekens CA:** Standing roentgenograms in spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1976: 80-84.
- 77) **Wood KB, Popp CA, Transfeldt EE, Geissele AE:** Radiographic evaluation of instability in spondylolisthesis. *Spine* 1994; 19: 1697-1703.
- 78) **Shaffer WO, Spratt KF, Weinstein J, Lehmann TR, Goel V:** 1990 Volvo Award in clinical sciences. The consistency and accuracy of roentgenograms for measuring sagittal translation in the lumbar vertebral motion segment. An experimental model. *Spine* 1990; 15: 741-750.
- 79) **Posner I, White AA, 3rd, Edwards WT, Hayes WC:** A biomechanical analysis of the clinical stability of the lumbar and lumbosacral spine. *Spine* 1982; 7: 374-389.
- 80) **Axelsson P, Karlsson BS:** Standardized provocation of lumbar spine mobility: three methods compared by radiostereometric analysis. *Spine* 2005; 30: 792-797.
- 81) **Halldin K, Zoega B, Nyberg P, Karrholm J, Lind BI:** The effect of standard lumbar discectomy on segmental motion: 5-year follow-up using radiostereometry. *Int Orthop* 2005; 29: 83-87.
- 82) **Johnsson R, Stromqvist B, Aspenberg P:** Randomized radiostereometric study comparing osteogenic protein-1 (BMP-7) and autograft bone in human noninstrumented posterolateral lumbar fusion: 2002 Volvo Award in clinical studies. *Spine* 2002; 27: 2654-2661.
- 83) **Leivseth G, Brinckmann P, Frobin W, Johnsson R, Stromqvist B:** Assessment of sagittal plane segmental motion in the lumbar spine. A comparison between distortion-compensated and stereophotogrammetric roentgen analysis. *Spine* 1998; 23: 2648-2655.
- 84) **Pellise F, Hernandez A, Vidal X, Minguell J, Martinez C, Villanueva C:** Radiologic assessment of all unfused lumbar segments 7.5 years after instrumented posterior spinal fusion. *Spine* 2007; 32: 574-579.
- 85) **Lerner T, Frobin W, Bullmann V, Schulte T, Brinckmann P, Liljenqvist U:** Changes in disc height and posteroanterior displacement after fusion in patients with idiopathic scoliosis: a 9-year follow-up study. *J Spinal Disord Tech* 2007; 20: 195-202.
- 86) **Teyhen DS, Flynn TW, Bovik AC, Abraham LD:** A new technique for digital fluoroscopic video assessment of sagittal plane lumbar spine motion. *Spine* 2005; 30: E406-413.
- 87) **Pitkanen M, Manninen H:** Sidebending versus flexion-extension radiographs in lumbar spinal instability. *Clin Radiol* 1994; 49: 109-114.
- 88) **Jenkins JR, Dworkin J:** Proceedings of the State-of-the-Art Symposium on Diagnostic and Interventional Radiology of the Spine, Antwerp, September 7, 2002 (Part two). Upright, weight-bearing, dynamic-kinetic MRI of the spine: pMRI/kMRI. *Jbr-Btr* 2003; 86: 286-293.
- 89) **Fujiwara A, Lim TH, An HS, et al:** The effect of disc degeneration and facet joint osteoarthritis on the segmental flexibility of the lumbar spine. *Spine* 2000; 25: 3036-3044.
- 90) **Takayanagi K, Takahashi K, Yamagata M, Moriya H, Kitahara H, Tamaki T:** Using cineradiography for continuous dynamic-motion analysis of the lumbar spine. *Spine* 2001; 26: 1858-1865.
- 91) **Bronfort G, Jochumsen OH:** The functional radiographic examination of patients with low-back pain: a study of different forms of variations. *J Manipulative Physiol Ther* 1984; 7: 89-97.

- 92) **McGregor AH, Cattermole HR, Hughes SP:** *Global spinal motion in subjects with lumbar spondylolysis and spondylolisthesis: does the grade or type of slip affect global spinal motion?* *Spine* 2001; 26: 282-286.
- 93) **Resnick DK, Choudhri TF, Dailey AT, et al:** *Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 9: fusion in patients with stenosis and spondylolisthesis.* *J Neurosurg Spine* 2005; 2: 679-685.
- 94) **Kristof RA, Aliashkevich AF, Schuster M, Meyer B, Urbach H, Schramm J:** *Degenerative lumbar spondylolisthesis-induced radicular compression: nonfusion-related decompression in selected patients without hypermobility on flexion-extension radiographs.* *J Neurosurg* 2002; 97: 281-286.
- 95) **Kinoshita T, Ohki I, Roth KR, Amano K, Moriya H:** *Results of degenerative spondylolisthesis treated with posterior decompression alone via a new surgical approach.* *J Neurosurg* 2001; 95: 11-16.
- 96) **Panjabi M, Malcolmson G, Teng E, Tominaga Y, Henderson G, Serhan H:** *Hybrid testing of lumbar CHARITE discs versus fusions.* *Spine* 2007; 32: 959-966; discussion 967.
- 97) **SariAli el H, Lemaire JP, Pascal-Mousselard H, Carrier H, Skalli W:** *In vivo study of the kinematics in axial rotation of the lumbar spine after total intervertebral disc replacement: long-term results: a 10-14 years follow up evaluation.* *Eur Spine J* 2006; 15: 1501-1510.
- 98) **David T:** *Long-term results of one-level lumbar arthroplasty: minimum 10-year follow-up of the CHARITE artificial disc in 106 patients.* *Spine* 2007; 32: 661-666.
- 99) **Freeman BJ, Davenport J:** *Total disc replacement in the lumbar spine: a systematic review of the literature.* *Eur Spine J* 2006; 15 Suppl 3: S439-447.
- 100) **Putzier M, Funk JF, Schneider SV, et al:** *Charite total disc replacement--clinical and radiographical results after an average follow-up of 17 years.* *Eur Spine J* 2006; 15: 183-195.
- 101) **Punt IM, Visser VM, van Rhijn LW, et al:** *Complications and reoperations of the SB Charite lumbar disc prosthesis: experience in 75 patients.* *Eur Spine J* 2007.
- 102) **Zeh A, Planert M, Siegert G, Lattke P, Held A, Hein W:** *Release of cobalt and chromium ions into the serum following implantation of the metal-on-metal Maverick-type artificial lumbar disc (Medtronic Sofamor Danek).* *Spine* 2007; 32: 348-352.
- 103) **van Ooij A, Kurtz SM, Stessels F, Noten H, van Rhijn L:** *Polyethylene wear debris and long-term clinical failure of the Charite disc prosthesis: a study of 4 patients.* *Spine* 2007; 32: 223-229.
- 104) **Mehren C, Suchomel P, Grochulla F, et al:** *Heterotopic ossification in total cervical artificial disc replacement.* *Spine* 2006; 31: 2802-2806.
- 105) **van Ooij A, Oner FC, Verbout AJ:** *Complications of artificial disc replacement: a report of 27 patients with the SB Charite disc.* *J Spinal Disord Tech* 2003; 16: 369-383.
- 106) **Christie SD, Song JK, Fessler RG:** *Dynamic interspinous process technology.* *Spine* 2005; 30: S73-78.
- 107) **Phillips FM, Voronov LI, Gaitanis IN, Carandang G, Havey RM, Patwardhan AG:** *Biomechanics of posterior dynamic stabilizing device (DIAM) after facetectomy and discectomy.* *Spine J* 2006; 6: 714-722.
- 108) **Kim KA, McDonald M, Pik JH, Khoeir P, Wang MY:** *Dynamic intraspinal spacer technology for posterior stabilization: case-control study on the safety, sagittal angulation, and pain outcome at 1-year follow-up evaluation.* *Neurosurg Focus* 2007; 22: E7.
- 109) **Verhoof OJ, Bron JL, Wapstra FH, van Royen BJ:** *High failure rate of the interspinous distraction device (X-Stop) for the treatment of lumbar spinal stenosis caused by degenerative spondylolisthesis.* *Eur Spine J* 2007.

## 국문초록

퇴행성 불안정성의 합당한 정의, 진단 및 치료에 있어서 많은 이견이 있다. 퇴행성 불안정성의 진단과 치료의 결정은 병리학적 진단 뿐만 아니라 척추 분절에 대한 생역학적 안정성 여부에 근거하여서 결정된다. 최근 follower load 등의 생역학적 개념의 발전과 개방형 자기공명영상검사법 등의 방사선적 진단방법의 진보에 의하여 불안정성의 진단기준이 추가되었다. 이에 본 종설에서는 척추 분절의 생역학적 안정성, 퇴행성 변화에 따른 안정성의 변화 및 퇴행성 불안정성의 진단 및 치료에 대해 문헌고찰을 통한 고찰을 하였다.

**색인단어:** 요추, 퇴행성 변화, 불안정성, 생역학

※ 통신저자 : 안 면 환

대구광역시 남구 대명동 317-1

영남대학교 의과대학 정형외과학교실

Tel: 82-53-620-3640 Fax: 82-52-628-4020 E-mail: mwahn@med.yu.ac.kr