

# 척추의 生力學(Biomechanics)에 대하여

이화대학교 의과대학 정형외과학교실

왕 진 만

- Abstract -

## Biomechanics of the Spine

Jin Man Wang, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Ewha University, College of Medicine, Seoul, Korea

A comprehensive knowledge of spinal biomechanics is of importance for the understanding of all aspect of spinal kinematics, clinical analysis and management of spinal problems.

The spine is a biomechanical structure.

The spine is a composit of the motion segments including sophisticated ligaments and reinforced muscles on the back, abdomen and rib cage.

With an integrity of the biomechanical structure of spine, it has fundamental biomechanical functions such as allowing the physiologic motion smoothly between the head & pelvis, resist the destructive motions by stiffening the spine, transfer the weight evenly and protect the delicate vulnerable spinal cord.

The data of the biomechanical aspects enable to know the characteristics of spine, to analysis the clinical situations, and to manage the spinal problems in ideal manner so as to contribute spine in healthy.

**Key words :** Spine Biomechanics.

## 서 론

정형외과 영역에서 척추의 병변이 차지하는 비중은 막대하며 병변의 원인, 병리등의 본태가 규명되지 않은 경우도 허다하며 따라서 치료의 기본방침을 결정 하는데도 학자에 따라서 상당한 차이를 나타내는 실례도 많다. 척추를 연구함에 있어서도 초기에는 대부분 해부학, 생리학, 그리고 병리학적인 분야에서 집중적인 연구가 진행되어 왔으며 이를 토대로 임상분야에의 적용과 함께 척추의 물리적 특성, 생역학, 그리고 동역학(Kinematics)의 활발한 연구도 진행되어 왔다. 저자는 최근까지의 척추의 生力學을 간략하게 정리하였다.

## 척추의 生力學

\* 본 논문의 요지는 1980년 1월 31일 대한정형외과학회 제215차 월례집담회에서 발표되었음.

척추의 생역학은 척추체(Vertebral body)와 추간판(intervertebral disc)과 이에 관련된 척추인대, 늑골, 척추근육, 그리고 척수(spinal cord)등이 조화가 되어 고도의 기계적인 특성을 유지한다. 즉 척추는 복잡한 관절, 인대등으로 관절을 형성하고 긴 척추는 늑골과 고도로 발달된 신경근(neuromuscular) 구조 등으로 안정성을 유지하고 척수를 보호한다. 따라서 척추의 生力學적 기능은 첫째 체중을 전달하고 골반에 대해서 머리와 체간(trunk)의 bending을 자유롭게 하며, 둘째 머리, 체간, 그리고 골반사이의 생리적인 운동을 시켜주며, 셋째 척수를 damaging force 또는 damaging motion 으로부터 보호하여 주는 것이다.

척추를 전면에서 보면 대칭적으로 끝나 드물게는 우측으로 편재되는 흉추부의 곡선을 나타낼 경우가 있으며 이는 동맥이 우측에 위치하며 오른손을 사용하는 경향 등으로 설명할 수 있다.

척추를 측면에서 보면 네개의 곡선을 볼 수있으며 이

는 앞쪽으로 굴곡되는 경추부와 요추부 뒷쪽으로 굴곡되는 흉추부와 천추부이다. 이들 곡선은 각기 생역학적으로 특성을 가지며 흉추와 천추곡선은 구조곡선(structural curve)으로서 척추의 안정성 및 생리적경직(physiologic stiffness)을 특징으로하며 경추와 요추곡선은 척추의 유연성(flexibility)을 주어 최대한의 척추운동을 허용한다. 척추측면에서 중력선(gravity line)이 교차하는 부위는 경추하단부, 흉요추부, 그리고 요천추부이고, 이 부위에서 선천성질환, 척추측만증, 염증성척추염 등을 제외한 대부분의 척추질환이 발생되며 이러한 사실은 유연성(flexibility)과 안정성(stability)이 교차되는 부위에서 생리적 상태를 초과할때 병리적 상태를 유발함을 의미한다.

## 1. 추간판의 생역학

### 1) 압박(compression)

운동분절(motion segment : 추간판과 상하의 척추체를 가리키며 근육은 제외됨. 흉추에서는 늑골과의 연결 부분도 포함됨)의 load-deformation curve는 sigmoid 곡선을 나타내어 적은 부하에서는 저항이 적고 많은 부하에서는 강직된다. 따라서 전자에서는 flexibility가 있으며 후자에서는 stability가 있다. 또한 영구 변형이 될 정도의 compression을 운동분절에 가하거나 섬유윤의 후측방에 종결제를 가해도 추간판의 탈출 현상은 없다. 오히려 운동분절에서 추간판이 파괴되기 전에 종판(end plate)이 골절되며 더 진행되면 수핵이 척추체내로 이동하여 소위 Schmorl's node와 같은 현상을 일으킨다. 설사 추간판이 압박으로 돌출되어도 일정한 방향으로 돌출되는 것은 아니며 따라서 임상에서 흔히 후측방으로 돌출되는 것은 압박력 이외에 다른 부하가 작용하기 때문으로 생각된다.

추간판은 연령에 따라서 compression force를 흡수하는 능력이 다르다. 젊은 나이에서는 수핵이 "제라틴" 양상으로 탄력성을 가지며 따라서 압축력을 가하면 수핵에 일정한 압력이 생기고 모든 방향으로 주위조직을 밀며 섬유윤의 바깥쪽으로 장력(tension) 상태로 균등하게 분포되며 섬유윤의 방향인  $\pm 30^\circ$ 의 방향으로 최대한의 tension을 흡수 소화하게 된다. 그러나 수핵이 탄력성을 잃으면 수핵의 압력은 없어지고 부하를 가하면 힘은 추간판의 밖으로 편재하고 섬유윤 자체에도 퇴행성 변화가 있어서 장력이 점점 적어지고 힘의 방향은 축추(axial)방향이며 힘의 형태도 압박상태로 지속된다. 따라서 늙은 나이에서는 압박력을 소화할 수 있는 능력이 적고 소화능력이 초과되면 골절이 쉽게 발생할 수 있다.

### 2) Tension

운동분절을 축추방향으로 당길때와 생리적인 굴곡, 신전 그리고 lateral bending 시에 장력이 생기며 후자의 굴곡, 신전 그리고 lateral bending에서는 순간회전축(Instantaneous Axis of Rotation 이하 I. A. R : 물체가 평면에서 움직일때 물체의 점 또는 이의 연장 부분으로 움직이지 않는 부분을 가리킴. 대부분의 움직임은 I. A. R을 축으로 움직임)을 중심으로 한쪽은 장력이 발생되고 다른쪽은 압박이 발생된다. 따라서 척추는 모든 방향의 운동에서 장력이 발생된다. motion segment에서 추간판의 부분적인 장력을 비교하여 보면 전면과 후면의 추간판이 측면보다 강하며 중심부는 제일 약하다. 이는 추간판 탈출이 가장 많이 일어나는 후면을 보강하여서 탈출을 적게하려는 자연적인 배려로 간주된다. 추간판의 stiffness 정도는 axial 방향에서 제일 유연하고  $15^\circ$ 방향에서 가장 stiff하다. 또한 strength는 섬유윤의 방향( $30^\circ$ )이 평면 방향보다 3배 정도 강하다. 따라서 이는 평면으로 작용하는 shear force에서 추간판의 강도가 가장 약하다는 의미도 된다.

### 3) Bending

이 운동은 추간판에 가장 많은 손상을 일으키는 운동이며 Brown 등은 6~8도의 전면(frontal) 또는 종단면(sagittal)으로 굽혔을때는 추간판은 파손되지 않았으나 posterior element를 제거하고  $15^\circ$ 로 굽혔을때는 추간판이 파손되었다고 한다<sup>2)</sup>. 또 생리적 운동때 추간판은 언제나 척추의 concave side로 compression과 함께 돌출되며 convex side는 언제나 tension 상태로 되며 오히려 flat한 상태가 된다. 이러한 굴곡 또는 신전의 bending motion시에 수핵자체의 모양이나 위치에는 변함이 없다. 따라서 요추의 lordosis의 증가는 추간판의 후방으로의 bulging을 의미하며 이러한 원리로 요통 또는 추간판탈출증 환자에서 통증을 줄이기 위하여 요추가 굴곡 위치로 변형되거나 또는 인위적으로 요추를 바르게 하는 운동이나 보조기로 교정 시켜주는 예방 또는 치료효과에 적용시키며, Fahrni는 동양인 중에서 쭉그리고 앉아서 생활을 하는 종족에서는 자연적으로 척추가 전방으로 굴곡되며 이들에서는 요추부질환들이 서양인에 비하여 아주 드물다고 하며 동양인과 같은 척추위치료의 생활변혁을 주장하기도 하였다<sup>3)</sup>.

### 4) Torsional behavior

torsion은 굽힘과 함께 추간판을 파괴시키는 주된 원인이 된다. 후방구조물을 포함한 운동분절에 torsional force를 가하고 추간판이 파괴될 때까지의 변화를 load-deformation curve에서 관찰하면 S자형을 그리는 3단계의 곡선을 나타내며 초기단계( $0\sim 3^\circ$ )에서는 추간판에 변형이 일어나며 중간단계( $3\sim 12^\circ$ )에서는 torsion과 deformation은 직선형이며 말기단계

(20°이상)에서는 파괴가 나타난다고 하며 파괴시에는 예리한 소리를 내는데 이는 섬유유리가 손상되는 것이며 종판은 파괴되지 않아서 압박력때와는 반대현상이 일어난다. 또 정상 추간판이 퇴행성 추간판보다 파괴시의 torsion이 25%이상 더 요구되며 정상 추간판의 torsion의 파괴각도는 16°이고 퇴행성 추간판에서는 14.5°라고 한다. 또한 큰 추간판은 작은 추간판보다 torsion의 강도가 크고 중간 추간판이 타원형의 추간판보다 강도가 크다.

torsion의 경우에서도 shearing force가 축추와 평행방향으로 나타나고 또한 섬유유리의 방향으로 장력도 동시에 나타난다.

### 5) Shear

응력은 torsion이 발생될 때 생길수 있으며 순수한 응력은 실제 실험적으로 발생시킬수도 없다. 따라서 torsion의 실험때에 측정하므로 정확한 수치가 거의 불가능하나 Markolf는 요추의 motion segment에 shearing force를 가하여서 횡면으로의 응력경직(shear stiffness)은 260 N/mm ( $N \times 0.225 = \text{Ibf}$ ,  $N = \text{Newton}$ )의 대단히 큰 힘이 요하며, 따라서 임상적으로 순수한 응력으로 추간판의 파괴되는 경우는 드물고 대부분 beding, torsion, tension 등의 힘이 함께 작용하여 추간판이 파괴된다<sup>10)</sup>.

### 6) Creep and Relaxation

추간판은 소위 creep(viscoelastic material은 일정한 무게를 주면 증상이 없이 천천히 변형되는 현상)과 relaxation을 나타낸다. Kazarian은 정상 추간판에서는 creep이 서서히 진행되고 변형이 일정하게 유지되나 퇴행성 추간판에서는 creep이 급격히 일어나고 변형은 정상 추간판보다 2배정도가 더 일어난다고 한다<sup>7)</sup>. 따라서 퇴행성 추간판에서는 creep이 감소하며 "축"과 하중을 일정하게 받지 못함을 의미한다. 또 이러한 creep과 relaxation의 개념은 척추 만곡증에서 halo-femoral 견인 Harrington씨 rod의 증식등의 임상개념에도 널리 이용되고 있다.

### 7) Hysteresis

추간판을 포함한 viscoelastic material은 hysteresis 현상(주기적인 무게의 부하 및 비부하는 에너지의 감소를 나타내는 현상)이 있다. 이는 일종의 척추의 보호 현상이며, 이런 현상은 젊은사람일수록 무게가 클수록 크며 요추하단이 흉추하단 및 요추상부보다 크다. 또 같은 추간판에 계속해서 무게를 주면 hysteresis는 감소한다. 이는 운동을 계속하는 사람에서 축추진동(axial vibration)을 연속적으로 추간판에 반응으로써 추간판탈출증 또는 추간판의 퇴행성 변화가 정상인보다 발생빈도가 높다는 원인중의 하나이다.

### 8) Fatigue tolerance

현재까지 추간판에 대한 피로한도(fatigue tolerance)를 정확하게 평가한 기록은 없으나 Brown등은 사체에서 일정한 axial load와 연속적인 5°의 굴곡운동을 시켜서 200회전에서 파괴의 증후를 보였고 1000회에서는 완전히 파괴되었다고 하였다<sup>2)</sup>. 이에 더하여 추간판은 재생력이 타조직보다 낮은 것을 감안할때 중요한 의의를 갖는다. 또한 추간판에 가해지는 힘은 시간과 진폭에 따라서 짧은시간에 강한 진폭의 힘(jerk, lifting)은 긴 시간의 약한 진폭의 힘(일상 생리적 운동)보다 추간판 파괴율이 높다. 그러나 실제로 실험적인 범위를 넘어서의 과격한 운동량은 운동선수들에서는 많으며 이는 추간판의 보호능력(hysteresis, creep, relaxation, self sealing)으로 극복된다고 하나 생체에서의 fatigue tolerance는 아직까지 판명되지 않았다.

### 9) Intradiscal pressure

추간판 내압력은 사체에서는 일정한 부하를 주어도 측정치를 결정할 수 없었으나 최근 Nachemson 및 Morris 등이 수해내에 특수전자를 하여 압력계와 연결하여 추간판내압력을 측정하였으며 추간판에는 prestress가 있고 0.07 MPa (1 MPa = 145 lbf/in<sup>2</sup>)이며 compressive prestress로 약 120N (26 lbf)에 상응하는 힘이다<sup>11)</sup>. 이것은 척추의 중력선이 추체의 앞쪽으로 하향하며 척추굴곡을 하므로서 받는 추간판 전면의 compressive pressure와 지렛대 역할을 하는 back muscle의 수축으로 인한 압력이 추간판에 가해지는 압력을 합한 양이다. 또한 생체에서 제3요추의 intradiscal pressure를 여러 체위에서 측정한 결과 척추를 전방으로 굴곡하고 입위와 좌위에서는 체중의 2배이며 따라서 장기간의 입위와 좌위는 추간판의 압력을 증가시켜서 피로의 정도를 증가시키므로 좋지않다. 인간공학(ergonomics)적으로 가장 이상적인 체위를 유지하여 추간판에 가해지는 압력을 줄여서 건강한 상태를 유지하고 척추질환을 예방하는 방법에서 첫째, 입위는 척추를 약간 전면으로 구부리는 것이 가장 편한 상태라고 하며 이때 고관절을 굴곡시킴으로써 psoas muscle의 tension을 줄여서 추간판의 압력을 감소시킬 수 있다. 둘째, 와위의 가장 이상적인 위치는 실험적으로 등반이가 120°로 기울고 5cm 두께의 요추의 보조버개를 받쳤을 때가 추간판의 압력이 가장 적고 등반이가 90°이고 요추의 보조버개가 없을때 가장 압력이 크다. 셋째, 생리학적으로 가장 능률적인 상태는 중력선이 척추의 I.A.R에 일치 할 때이며 이때는 척추에 stress가 전혀 없다. 반대로 부하를 주었을때 중력선이 척추체에서 멀면 멀수록 지렛대는 길어지고 따라서 back muscle에 stress가 더욱 많이 가해지며 intradiscal

pressure 가 증가된다. 따라서 물건을 들 때는 되도록 척추에 가깝게 접근시켜서 드는 것이 이상적이며 물건을 끄는 것보다 미는 것이 효과적이다. 물건을 허리에 댈 때 허리를 구부리면 오히려 중력선이 I.A.R 과 일치하며 들때보다는 용이한 상태이다. 뱃계는 추간판에 압력을 증가시키는 활동들을 피하여야 한다. 표 1 에서와

표 1. 각 체위의 활동에서 제 3 요추간판의 부하량

활 동 의 종 류	부하량 (kgt)
앙와위 전인	10
앙 와 위	30
입 위	70
좌위(90°) 보조베개 없는 것	100
등장복부근육운동	110
복와위 척추신전	150
상체 거상운동(무릎신전위)	175
들어올림(20kg), 무릎 구부림, 곧은허리)	210
" " (무릎신전위, 굽힌 허리)	340

(Nachamson, A. L.: In vivo discometry in lumbar discs with irregular radiograms, Acta. Orthop. Scand., 36: 418, 1965)

같이 앙와위에서의 전인상태는 추간판의 압력을 가장 적게하는 것이며 정형외과에서 척추의 병변 또는 동통이 있을때 임상적으로 가장 많이 이용하는 치료방법이다. 또 복부근육 및 등배근육을 강화시키기 위하여 isometric exercise 를 시키는 경우에 대해서 상반되는 의견이 대두되나 임상에서 척추질환의 경증을 고려치 않고 복와위 신전이나 상체거상운동을 실시함은 지양되어야 할 것으로 사려된다. 현재까지는 급성의 요통 또는 추간판탈출증과 40대 이후에서는 대부분 근육강화운동을 시키지 않는 것이 치료의 지침이다.

#### 10) "Self-Sealing" phenomenon

Markolf 및 Morris 는 운동분절에서 섬유윤에 천공을 가하고 압력을 가한 실험을 통하여 정상적인 운동분절에서와 천공을 가한 분절에 load-deformation 을 표시한바 천공분절에서는 변형이 초기에는 심하나 연속적인 압력에서는 정상적인 운동분절에서의 load-deformation curve 와 거의 일치할 정도로 회복된다고 하며 정상 또는 퇴행성 추간판과의 차이도 없다고 한다<sup>10)</sup>. 그러나 위의 실험은 compression 만으로의 실험이며 bending 또는 tension 으로써의 자료는 얻지 못하였고 또 생체내에서도 self-sealing 현상이 일어나는가 하는것은 규명되어야 할 문제이다.

## 2. 척추인대의 생리학

7개의 척추인대는 uniaxial structure 로 공통적인 구조를 가지며 tensile force 에는 저항력이 있으나 compression force 에서는 구부러지며 저항력이 약하다. 척추인대는 첫째 근육의 최소한의 에너지로서 척추의 생리적인 운동을 허용하고 체위를 고정시켜 주며, 둘째 제한된 범위내에서 운동을 저지하여 척수를 보호하고, 셋째 외상으로부터 부하되는 무게를 흡수하여 척수를 보호하는 기능을 갖는다.

### 1) Anterior and Posterior Longitudinal Ligaments

전종 및 후종인대는 나이에 따라서 퇴행성변화를 일으킨다. 즉 세가지의 지침(maximum deformation, permanent deformation, hysteresis)에서 모두 생역학적으로 기능이 저하되며 특히 에너지흡수능력(energy absorption value)이 현저히 저하된다. 이는 "속"의 흡수능력이 나이에 따라서 감소함을 의미한다. 또 failure test에서 전종 및 후종인대는 비슷한 기능적 구조를 나타내며 굴곡, 신전에서는 파괴가 없되나 회전에서는 파괴가 일어난다.

### 2) 황색인대(Ligamentum Flavum)

이 인대는 타 인대보다 가장 많은 pretension 을 가지며 20세이하에서는 18 N 70세이상에서는 5 N 이다. 조직학적으로 이 인대는 신체조직중 가장 많은 elastic fiber 를 함유하며 따라서 가장 많은 pretension 을 갖도록 하며 이는 임상적으로 척추가 갑자기 굴곡과 신전운동을 할 때 변형없이 pretension 과 함께 spinal cord 를 누르지 못하게 하는 중요한 역할을 한다.

### 3) Interspinous and Supraspinous Ligaments

생체내에서 tension 이 척추를 굴곡시킴으로써 증가한다는 이외에는 별다른 의의가 없다.

### 4) Intertransverse and Capsular Ligaments

별로 특이한 생역학적 의의는 없다.

## 3. 추체(Vertebra)의 생리학

### 1) 추체(Vertebral body)

추체의 생역학에서 보편적으로 쓰이는 방법은 compression strength 의 측정이며 compression 에 대한 부위별 차이는 없다. 따라서 척추의 각 level 에서의 강도의 차이는 추체의 크기에서 오는것 뿐이며 하향식으로 추체의 강도가 증가한다.

### 2) Cortical Shell 과 Cancellous Core

load 를 소화시키는 부분이 cortical shell 인지 cancellous core 인지는 오랫동안 논란된 과제이며 Rockoff 등은 40세 이전에서는 cortical shell 이 45% cancellous core 가 55%의 부하능력을 가지며 40세

이후에서는 전자가 65% 후자가 35%의 부하능력이 있다고 한다<sup>15</sup>.

### 3) Cancellous core

해면골은 특이한 기계적인 특징이 있다. Lindahl은 각형의 해면골 block을 compression force를 주고 failure point에 도달할 때까지 load-deformation curve를 측정하였으며 3개의 상반되는 곡선을 얻었다<sup>8</sup>. 제 1형(13%)에서는 최대 부하시까지 강도가 점점 약화되고, 제 2형(49%)은 강도를 계속 유지하며, 제 3형(38%)은 강도가 failure point 이후에도 계속 증가하는 형이며 따라서 제 3형은 생리학적으로 가장 이상적인 형으로서 이는 40세 이전의 남자에 많다고 하며 40세 이후의 여자에서는 제 1형이 대부분이고 계속해서 변형이 일어날 수 있다고 하였으며 철저한 치료를 요한다. 또 해면골은 cortical bone 보다 약 4배의 compressive deformation이 있고 따라서 손상후의 동통은 골피질의 골절로 인한 것이다.

Bone marrow 자체도 shock 흡수능력이 있으며 특히 dynamic 상태에서 더 강력하다. 일반적으로 골조충증은 골조직의 소실이며 골조직의 소실에 비해서 강도의 감소는 더 크다. 25%의 골조직소실로 50%의 강도의 감소를 나타내며 공학적인 구조에서 vertical trabecula (vertical column)와 horizontal tie (horizontal trabecula)의 상관관계에서 compressive strength는 column의 단면과 비례하며 길이와 반비례한다. 따라서 50%의 단면적감소는 1/4의 강도의 소실을 가져오며 이는 horizontal tie의 50%감소때도 마찬가지이다. 골조충증에서는 column 또는 tie가 감소될 수 있으나 초기에는 tie가 소실되나 동시에 vertical trabecula가 상대적으로 두꺼워져서 전체적으로는 강도의 변화는 없으며 따라서 임기응변적으로 대처하는 기동성을 보인다. 또 이러한 column 또는 tie의 변화는 주로 중심부에서 발생되며 임상적으로 central collapse가 나타나는 것이다.

### 4) 종판(End plate)

Perry는 end-plate failure에 대한 운동분절의 실험에서 1/3이 end plate의 골절과 수핵의 intradiscal herniation을 볼 수 있고 이는 젊은 연령군에서 많았다<sup>14</sup>. 대개 3가지 유형의 failure pattern을 나타내었는데 central, peripheral, entire end-plate 등이었으며 정상추간판에서는 central fracture가 많았고 퇴행성 추간판에는 peripheral fracture가 많았으며 이는 추간판에서의 수핵으로 인한 pressure의 다소에 의한다는 것은 추간판의 생역학과 마찬가지로의 원리이다. 또한 운동분절증에서 하부의 요추가 상부의 것보다 강하였고 나이에 따라서 다양하며 40세 이전에서는 파괴

되지 않으나 40~60세에서는 55%로 60세 이상에서는 45%로 강도가 감소한다.

### 5) Neural Arch

대부분이 failure load에서 pedicle에서 일어났으며 약 1/3에서는 pars interarticularis에서 일어났다. neural arch의 강도는 남녀가 같고 추간판의 퇴행성 여부와도 관계가 없다.

### 6) Facet

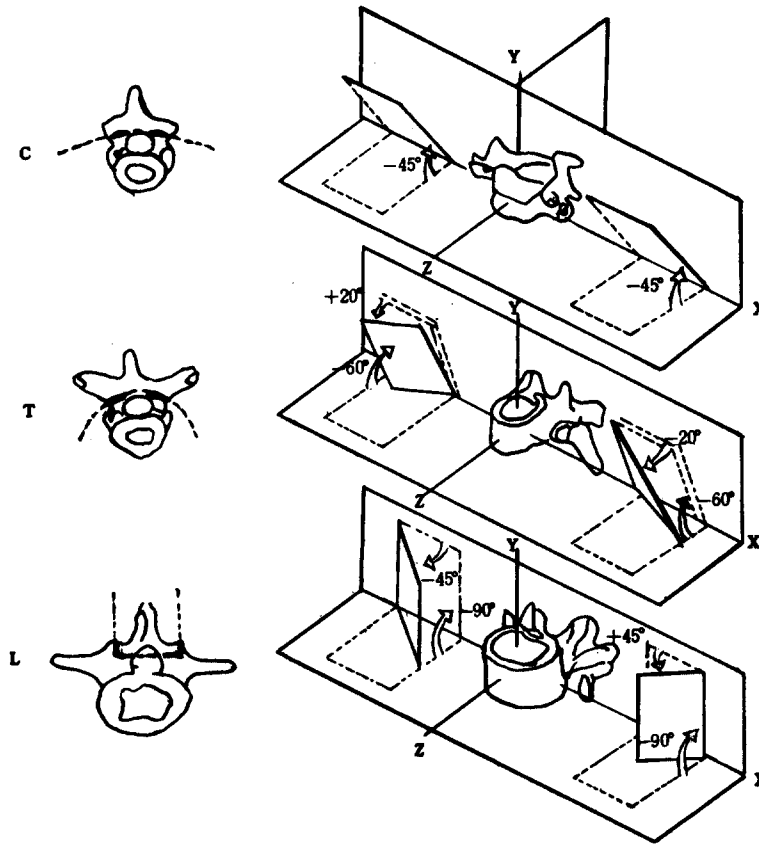
facet는 compressive load로 인한 힘을 흡수하고 척추가 안정을 유지하도록 하며 특히 추간판이 파괴된 후에도 facet으로 안정을 유지하게 하여준다. 또 척추의 부위별 facet의 orientation도 중요하다. 척추운동학(Kinematics of spine)에서 위치 및 운동방향은 coordinate system으로 표기하며(표2) 이를 근거로한

표 2. Coordinate System

면 :	YZ-종단면
	YX-전면
	ZX-수평면
방향 :	+X translation -환자의 좌측으로
	-X " -환자의 우측으로
	+Y " -상방으로
	-Y " -하방으로
	+Z " -전방으로
	-Z " -후방으로
회전 :	+θX - X축을 중심으로 시계방향으로 회전 (굴곡)
	-θX - X축을 중심으로 시계 반대방향으로 회전(신전)
	+θY - Y축을 중심으로 시계방향으로 회전 (좌측으로 측추회전)
	-θY - Y축을 중심으로 시계 반대방향으로 회전(우측으로 측추회전)
	+θZ - Z축을 중심으로 시계방향으로 회전 (우측으로 굽힘)
	-θZ - Z축을 중심으로 시계 반대방향으로 회전(좌측으로 굽힘)

도1에서 facet는 C2-3와 C7-T1에서는 X-axis에 대해서 45°의 경사를 가지며 T1에서 T11-12에서는 X-axis에 대해서는 -60°이며 Y-axis에서는 우측에서는 +20°, 좌측에서는 -10°이고 L1과 L5-S1에서는 X-axis에 대해서 -90°이고 Y-axis에서는 우측에서는 +45°, 좌측에서는 -45°의 경사를 나타낸다.

도1에서와 같이 torsional stiffness는 facet의 디자인과 관계가 많다. 흉추 중심부의 facet에서는 tor-



도 1. 척추 각 부위에서의 facet의 orientation 경추 흉추 요추의 torsional characteristics

sion을 저지하는 모양은 아니며 따라서 stiffness는 적고 facet의 역할은 경미하다. 그러나 요추의 facet는 torsional stiffness가 제일 강하게 디자인 되었으며 facet는 torsion에 중요한 저지요인이다. 이는 임상적으로 facet의 디자인이 unhinder pattern에서 hinder pattern으로 이행되는 부위 즉 T12-L1에서 가장 손상을 많이 받는 생역학적 기전이다. 또 치료에서 경추부와 요추부에 광범위한 후방척추궁절제술을 가하면 facet의 제거로 인하여 기능은 소실되며 황색인대가 제거되어 척추의 불안정성을 초래하며 이의 지나친 시술도 안정성에 좋지 않다.

#### 4. rib cage의 생역학

rib cage는 첫째 외상으로 부터의 방패역활을 한다. 둘째 늑골자체의 stiffness로 흉추를 곧고 강하게 유지하며 costovertebral과 sternocostal joint와 함께 모든 운동에서 흉추의 안정성을 증가시킨다.

Andriacchi 등은 extension시에 척추만 있을때 보

다 2.5배의 stiffness가 있으며 따라서 척추만곡의 교정술로 몇개의 늑골절제술은 교정효과가 없다고 한다<sup>1)</sup>. 또 axial compression은 rib cage가 있을때가 없을때 보다 4배의 안정성이 있으며 임상적으로 흉추부의 compression이 흉요추부로 전달되어 흉요추부에 압박 골절이 많음을 생역학적으로 추이 가능하다. 셋째 rib cage의 관성(moment of inertia)으로 더욱 bending과 torsion으로부터 보호역활을 한다.

#### 5. 근육의 생역학

자연적인 입위에서도 등배부, 복부 및 psoas muscle의 activity가 미력으로 존재하며 무게의 중심이 움직이는 반대방향의 근육이 활성화되어 척추를 굳게 유지한다. 척추를 굴곡시에는 척추와 골반의 운동이 동시에 일어나며 처음 60°는 요추의 motion segment의 굴곡이며 다음 25°가 고관절의 굴곡이고 신전시에는 위의 반대이다. 따라서 초기의 굴곡시에는 골반이 고정되어 gluteus maximus와 medius 그리고 hamstring mu-

scle 의 활동이 강하고 굴곡이 진행되면 상대적으로 erector spinae muscle 과 back muscle 의 활동이 강해진다. 그러나 완전굴곡시에는 back muscle 의 활동은 없어지고 완전이완 상태가 된다. 신전시에는 back muscle 은 초기와 말기에 활동성이 있고 abdominal muscle 은 계속 활동이 증가한다. Lateral bending 때는 양측의 back muscle 이 동시에 활동성이 있으나 bending 되는 쪽의 근육이 더 활동성이 있으며 척추가 load 를 받는 상태에서는 양측이 공히 증대된다. axial rotation 시는 동측의 erector spinae muscle 과 반대측의 rotator 와 multifidus muscle 의 활동이 증가하고 gluteus medius 와 tensor fascia latae 의 활동이 강해진다.

## 6. 척수(Spinal Cord)의 생역학

경추, 흉추 및 요추부의 척수강은 척추가 굴곡시에는 길이가 늘어나고 신전시에는 줄어든다. 이는 I.A.R 이 척추체에서는 대개 중심부에 있기 때문이다.

길이의 변화는 척수강의 앞쪽보다 뒷쪽이 크다. 척수강의 길이의 변화에 따라서 척수도 같은 비율로 변화되며 이는 척수의 유연한 특성 때문이며 척수를 들었을때 자책무게로서도 10%정도가 늘어난다. 이는 척수의 accordion 같은 구조적인 디자인의 특성으로 척수강이 길어지면 늘려지고 적어지면 접혀진다. 다음 단계에는 척수는 장력상태가 되어 저항력이 강한 척수조직 본연의 특징을 나타낸다. 임상적으로 척수가 신전시에 접혀지는 상태를 방사선상으로 조영촬영에서 발견할 수 있으며 이는 척수강 후방에서 더욱 현저하게 나타나며 황색인대에 퇴행성변화가 온 늙은 사람에서 더욱 현저하다. 척수는 경막(dura mater) 내에서 dentate ligament 와 신경근에 의해서 부유상태로 있으며 굴곡시에는 dentate ligament 는 physiological tension 이생기고 하향방향으로 경사가 져 있어서 장력이 축추와 횡방향으로 발생되며 axial tension 은 척수의 축추방향의 장력과 상쇄되며 transverse tension 은 반대측의 같은 구조물과 함께 척수를 척수강내의 중심부에 위치하게 하여 척수를 외상으로부터 최대한으로 보호하여준다. 그외에 척수를 보호하여 주는 구조는 epidural fat 와 척수액이며 이들은 마찰을 적게하여 주고 생리적 또는 다른 외상으로부터 받은 에너지를 흡수하는 역할을 한다.

## REFERENCES

1. Andriacchi, T.P., Schultz, A.B., Belytschko, T.B. and Galante, J.O. : A model for studies of mechanical interactions between the human spine and rib cage. *J. Biohecm.*, 7:497. (cited from White, A.A. and

- Panjabi, M.M. : *Clinical Biomechanics of the spine*. Philadelphia, J.B. Lippincott, 1978).
2. Brown, T., Hanson, R., Yorra, A. : Some mechanical tests on the lumbosacral spine with particular reference to the intervertebral discs. *J. Bone Joint Surg.*, 39: 1135, 1957.
3. Fahrni, W.H. : Conservative treatment of lumbar disc degeneration. *Orthop. Clin. North Am.*, 6: 93, 1975.
4. Farfan, H.F., Cossette, J.W., Robertson, G.H., Wells, R.V. and Kraus, H. : The effect of torsion on the lumbar intervertebral joint. *J. Bone Joint Surg.*, 52A: 468, 1970.
5. Galante, J.O. : Tensile properties of the human lumbar annulus fibrosus. *Acta Orthop. Scand.*, Suppl. 100:1, 1967.
6. Jenkins, D.H.R. : Extensive cervical laminectomy, long term result. *Br. J. Surg*, 60: 852, 1973.
7. Kazarian, L.E. : Creep characteristics of the human spinal column. *Orthop. Clin. North Am.*, 6: 3, 1975.
8. Lindahl, O. : Mechanical properties of dried defatted spongy bone. *Acta Orthop. Scand.*, 47:11, 1976.
9. Markolf, K.L. : Deformation of the thoracolumbar intervertebral joint in response to external loads. *J. Bone Joint Surg.*, 54A: 511, 1972.
10. Markolf, K.L. and Morris, J.M. : The structural components of the intervertebral disc. *J. Bone Joint Surg.*, 56A: 675, 1974.
11. Nachemson, A. and Morris, J.M. : In vivo measurements of intradiscal pressure. *J. Bone Joint Surg.*, 46: 1077, 1964.
12. Panjabi, M.M., Brand, R.A. and White, A.A. : Mechanical properties of the human thoracic spine. *J. Bone Joint Surg.*, 58A: 642, 1976.
13. Parke, W.W. : *Applied Anatomy of the Spine*: Rothman, R.H., & Simeone, F.A. : *The Spine*. Vol. 1, 19, W.B. Saunders, 1975.
14. Perry, O. : Fracture of the vertebral end plate in the lumbar spine *Acta Orthop. Scand.*, Suppl. 25, 1975.
15. Rockoff, S.D., Sweet, E. and Blumstein, J. : The relative contribution of trabecular and cortical bone to the strength of human lumbar vertebrae. *Calif. Tissue Res.*, 3: 163, 1969.
16. White, A.A., & Hirsch, C. : The significance of the vertebral posterior elements in the mechanics of the thoracic spine. *Clin. Orthop.*, 81: 2, 1971.
17. White, A.A. and Panjabi, M.M. : *Clinical Biomechanics of the spine* Philadelphia, J.B. Lippincott, 1978.