

## 요추분절의 불안정성에 대한 임상적 소개와 안정성 운동관리

대구대학교 재활과학대학원 물리치료전공

정 연 우

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

배 성 수

### **Clinical presentation and specific stabilizing exercise management in Lumbar segmental instability**

**Jung, Yeon-Woo, P.T.**

*Dept. of Physical Therapy, Graduate school of Rehabilitation Science, Daegu university*

**Bae, Sung-Soo, P.T., Ph.D.**

*Dept. of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University*

#### 〈Abstract〉

Lumbar segmental instability is considered to represent a significant sub-group within the chronic low back pain population. This condition has a unique clinical presentation that displays its symptoms and movement dysfunction within the neutral zone of the motion segment. The loosening of the motion segment secondary to injury and associated dysfunction of the local muscle system renders it biomechanically vulnerable in the neutral zone. There is evidence of muscle dysfunction related to the control of the movement system. There is a clear link between reduced proprioceptive input, altered slow motor unit recruitment and the development of chronic pain states. Dysfunction in the global and local muscle systems is presented to support the development of a system of classification of muscle function and development of dysfunction related to musculoskeletal pain. The global muscles control range of movement and alignment, and evidence of dysfunction is presented in terms of imbalance in recruitment and length between the global stability muscles and the global mobility muscles. The local stability muscles demonstrate evidence of failure of adequate segmental control in terms of allowing excessive uncontrolled translation or specific loss of cross-sectional area at the site of pathology. Motor recruitment deficits present as altered timing and patterns of recruitment. The evidence of local and global dysfunction allows the development of an integrated model of movement dysfunction.

The clinical diagnosis of this chronic low back pain condition is based on the report of pain and the observation of movement dysfunction within the neutral zone and the associated finding of excessive intervertebral motion at the symptomatic level. Four different clinical patterns are described based on the directional nature of the injury and the manifestation of the patient's symptoms and motor dysfunction. A specific stabilizing exercise intervention based on a motor learning model is proposed and evidence for the efficacy of the approach provided.

## I. 서론

요부와 관련된 손상은 서구화된 산업사회에서 점차적으로 증가하고 있다(Indahl et al. 1995). 생활환경에 따라서 어림잡아 요통의 범위는 60-80%정도이고(Long et al. 1996), 비록 대부분의 요통환자들의 병력(80-90%)은 2-3개월 정도이지만, 재발은 일반적이다(Hides et al. 1996). 만성요통환자들의 주요한 관심사(걱정거리)는 요통이 병원지출의 75-90%를 차지하는 것이다(Indahl et al. 1995). 요통을 유발할 수 있는 병인학적 상태들이 다양함에도 불구하고, 요통환자의 85%는 'non specific low back pain(비특이성 요통)'(Dillingham 1995)으로 분류된다. 더욱 최근에는 이런 비특이성 요통그룹 안에서 다시 세부그룹의 다른 분류에 초점을 맞추어 증가되어져왔다(Coste et al. 1992; Bogduk 1995).

요추분절의 불안정성은 이런 세부그룹의 하나로 분류되어진다(Friberg 1987). 요추의 골격 구조에 결손이 없는 분절의 불안정성은 만성요통의 주요한 원인으로 인정되어져왔다(Long et al. 1996). 많은 연구들은 만성요통환자들에서 비정상적으로 또는 과도한 분절간 운동을 정확하게 찾아내는 것이 어렵고, 관례적인 방사선학적 검사는 종종 부정확하고 신뢰할 수 없다(Dvorak et al. 1991; Pope et al. 1992). 이런 제한점 때문에, 방사선학적 검사에 대한 단일 분절운동의 증가되고 비정상적인 분절간 운동결과들은 증상이 있는 부위에 상응하여 요추분절 불안정성의 임상적 결과들이 확실하다면 중요한 인자로 고려될 것이다(Kirkaldy-Willis & Farfan 1982). 요추분절 불안정성의 효과적인 관리의 제한점들 때문에 우선 정확한 임상적 진단에 의존해야 한다. 본 논문은 요추분절 불안정성의 임상적 양상과 운동학습모델에 기초한 특별한 운동관리를 제시하고자 한다.

## II. 요추분절 불안정성의 정의

Panjabi(1992)는 척추분절의 중립위 자세주위의 이완된 영역의 용어로 척추불안정성을 'Neutral zone(중립위 영역)'으로 정의하였다. 이런 중립위 영역은 분절사이에서 손상과 추간판 퇴행을 가진 환자들에서 증가되어 나타났고(Panjabi et al. 1989; Mimura et al. 1994; Kaigle et al. 1995), 분절운동을 유발하는 근육이 작용하면 감소한다(Panjabi et al. 19889; Kaigle et al. 1995; Wilke et al. 1995). 중립위 영역의 범위는 척추 안정성의 측정에 있어서 중요한 인자로 고려되어진다. 중립위 영역 범위는 Panjabi(1992)에 의해 기술되어진 수동적, 능동적 그리고 신경조절체계사이의 상호작용에 의해 영향을 받게된다.

- 수동적 체계는 척추, 추간판, 추간 관절과 인대들이다.
- 능동적 체계는 척주를 둘러싸면서 작용하는 근육과 건이다.
- 신경적 체계는 동적 안정성을 제공하는 능동적 체계를 지배하고 조절하는 신경과 중추 신경계이다.

Panjabi(1992)는 척추 불안정성은 주요한 변형, 신경학적 결손 또는 무능력하게 하는 통증이 없는 생리학적 제한(범위)내에서 척추간 중립위 영역을 유지하기 위한 척추의 안정성 체계의 능력이 유의하게 감소할 때라고 정의하였다.

## III. 요추의 동적 안정성

동적 안정성을 고려할 때 기능에 연관된 근육의 분류를 고려하는 것은 유용하다. 기능으로

분류되는 근육들에 대한 개념은 안정근과 가동근에 대한 Rood의 개념을 일반적으로 수용했다. Janda(1983a, 1985)와 Sharmann(2000a, 2000b)은 단일 관절 안정근과 복합 관절 가동근을 구별하는 Rood의 개념을 한층더 발전시켰다(표 1).

표 1. 안정근-가동근(stabilizer-mobilizer) 특징

안정근	가동근
· 단일-관절성	· 양-관절성/다-관절성
· 분절적 부착	· 천부(표피)근막에 부착
· 심부에 있는 경우: 단지렛대와 작은 힘팔(moment arm)	· 긴 지렛대, 큰 힘팔 그리고 아주 큰 근복
· 천부에 있는 경우: 부하와 힘을 분배하기 위한 넓은 건막성 정지부	· 운동의 속도 혹은 큰 범위에 편향된 지렛대 기전

기능적으로 안정근들은 원심성 수축을 조절하거나 저항하는 것(특히 축회전면에서)에 동반되는 자세를 유지하는 역할이고 운동의 과도한 범위를 역학적으로 조절할 수 있다(예, 중둔근, 견갑하근). 비록 척추의 안정근들이 많은 분절들을 지나가고 단일 관절 척추근들은 드물지만, 기시와 정지 사이에서 각각의 분절에 부착을 한다. (예, multifidus, semispinalis cervics). 반면에 가동근들(예, rectus femoris와 latissimus dorsi)은 인체 분절 특히 시상면에서 구심성으로 가속하는 것과 연관된 운동 유발 역할을 가지는 경향이 있다. 척추 가동근들은 많은 분절을 지나가지만 정지와 기시 사이의 모든 분절에 부착되지는 않는다(예, SCM, rectus abdominis).

Bergmark(1989)는 임상적으로 다른 유용한 분류 시스템을 설명해 왔다. 요추를 가로지르는 부하 전달의 조절을 설명할 때 국소적(local) 근육체계 그리고 대(global)단위 근육 체계의 개념을 제시했다(표 2).

표 2. 국소근-포괄근(local-global) 특징

국소적 근육체계(local muscle)	대단위 근육체계(global muscle)
· 분절적으로 기시하고 정지하는 가장 심층의 근육들	· 분절적인 척추 정지부가 부족한 천층 또는 외층의 근육들
· 중립위 척추 만곡을 조절하고 유지한다	· 흉곽 또는 골반에 정지하거나 기시한다 (비-분절적)
· 자세의 변화와 적은 외재적 부하에 반응한다	· 동작 방향의 변화와 큰 외재적 부하의 크기에 반응한다
· 부하 혹은 운동의 방향에 독립적이고 적은 부하 활동에 편향되어 나타난다.	· 운동의 범위에 편향되어 나타나는 큰 염력을 유발하는 근육들
· 다열근, 대요근, 요방형근, 장늑근과 최장근의 요추부, 복횡근, 횡격막과 내복사근의 후부섬유들(골반저근육)	· 복직근, 외복사근과 장늑근의 흉요추부

국소근육 체계의 역할은 분절간의 동작을 조절하기 위한 척추의 역학적 견고함(stiffness)을 유지하는 것이지만 복부내 압력과 관련되는 대단위근육들은 흉곽과 골반 사이에서 부하

를 전달한다. 대단위 근육체계는 방향과 부하에 의존한다. 이러한 대단위 근육들은 일차 안정성 혹은 운동성 역할을 할 것이다.

Cholewicke과 McGill(1996)은 작은 부하에서 근력이 적게 작용할 때 중립위 영역에서 더욱 쉽게 불안정성으로 손상 받을 수 있다고 보고하였다. 그러한 중립위 영역에서 요추 안정성은 요추분절 근육들(국소근육체계)의 증가된 활성화(견고함)에 의해 인체 내에서 유지되어진다. 기능적 활동들을 하는 동안 큰 체간 근육들(대단위근육체계)과 작은 내재근육들(국소근육체계)사이에서 협응된 운동단위동원은 역학적(동적) 안정성 유지를 확실하게 한다. 이와 같은 협응된 운동단위동원상태에서 연구자들은 최대 수의적 수축력(maximal voluntary contraction)의 1-3% 정도로 낮은 분절간 근력이 분절 안정성을 확실하게 하는데 충분하다고 제안하였다. 대단위 근육체계가 전체 척추의 견고함을 제공하는 동안 국소근육체계의 활성화는 척추의 분절적 안정성을 유지하기 위해 필요하다고 고려되어진다. 분절운동의 수동적 견고함이 감소된 상황에서, 척추는 손상 받기 쉽기 때문에 불안정성이 증가한다고 보고하였다(Cholewicke & McGill 1996).

이것은 복횡근, 횡격막, 요부의 다열근같은 국소근육체계의 협력수축이 요추의 분절운동에 안정성 효과를 줄 수 있다는 결과이고, 특별히 중립위 영역 내에서 더욱 안정적이고, 대단위 근육이 안전하게 작용할 수 있는 안정된 기초를 제공한다고 제안하였다(Wilke et al. 1995; Hodges & Richardson 1996; Allison et al. 1997). 요부 다열근의 분절 안정성 역할은 분절의 신경지배를 분리시키고, 요부 전만을 유지하기 위해 작용하고, 특히 중립위 영역 내에서 각각의 척추분절들은 조절한다(Panjabi et al. 1989; Goel et al. 1993; Steffen et al. 1994; Kaigle et al. 1995; Wilke et al. 1995). 심부의 복부근육들은 복부내압의 수준을 유지하면서 일차적으로 흉요추 근막을 경유하여 척추의 외측 안정성과 회전력 제공에 있어서 능동적으로 작용한다(McGill 1991; Cresswell 1993). 복부내압 기전은 일차적으로 횡격막, 복횡근과 골반저 근육들에 의해 조절되어지고, 요추에 효과적인 견고함을 제공한다(McGill & Norman 1987; Aspden 1992; Cresswell 1993; Hodges et al. 1997).

#### IV. 요통에 있어서 신경-근육체계의 기능부전

##### 1. Proprioception and recruitment(고유수용성감각과 동원)

비정상적인 관절의 구심성 정보는  $v$ -운동신경원의 흥분성을 감소시켜 고유수용성 감각결손을 초래할 수 있고, 관절 손상은  $\alpha$ -운동신경원의 흥분성을 감소시켜 수의적 활성화를 감소시킬 수 있다(Hurley & Newham 1993; Hurley et al. 1997; Hruley 1999). 또한 근피로는 건관절에서 고유수용성 관절위치감각 정확도를 감소시키는 것으로 나타났다(Voight et al. 1996). Lephart(1994) 등은 불안정한 건관절에서 운동 감각과 관절위치감각의 정확도 모두에서 주목할만한 결함을 보고하였다. Grimby와 Hannerz(1976)는 지속적인 낮은 부하의 수축이 일어나는 동안, 구심성 정보유입(고유수용성 감각)의 감소가 운동신경원들의 동원순서(recruitment order)를 변화시켰고 긴장성 운동신경원들의 정상적인 지배를 감소시켰다는 것을 증명하였다. 그들은 긴장성 운동 단위들의 상대적인 활성화 감소는 일차 근방추 종말들로부터의 구심성 정보의 부분적인 감소 때문이라고 제안하였다.

Gandevia(1994)는 운동 명령 혹은 작용력(부하 지각)에 대한 감각과 운동 신경원에 대한 반사 영향들 사이의 관련성을 조사하였다. 그는 근육이 피로, 신경-근육성 차단, 길이-장력 특성에 대한 변화들 그리고 중추신경계 병변 때문에 근육이 약화될 때 작용력에 대한 감각이 증가한다고 보고하였다. 작용력에 대한 감각의 증가는 운동 신경원 연합이 반사적으로

억제되어질 때라고 생각한다. Grimby과 Hannerz(1976)은 구심성 입력정보(고유수용감각)가 감소할 때, 느린 운동 단위들의 활성화에 필요한 작용력에 대한 감각(지각)이 증가할 때 나타난다고 하였다. 즉, 낮은 부하 활동을 하는 동안 피실험자들은 낮은 빈도(느린)의 운동단위들에 대한 긴장성을 동원하기 위해 더 힘들게 노력해야 한다는 것(심지어 최대 작용력과 같은)을 지각할 것이다. 그것은 더욱 쉽게 느껴지고 덜 지각된 작용력은 더 높은 부하 하에서 혹은 저항에 대항해서 동일한 근육을 수축시키기 위해 요구된다. (위상근 동원; phasic recruitment). 이것의 임상적 관련성은 최대 혹은 높게 지각된 작용력이 낮은 부하 활동 혹은 운동을 수행하기 위해 요구되어질 때, 느린 운동 단위 동원의 불충분한 촉진과 정상적인 근방추 반응들의 기능부전이 가장 있을 수 있다는 것이다. 비록 동일한 이유이지만, 덜 지각된 작용력이 동일한 낮은 부하 활동 혹은 운동을 수행하는 것이 필요할 때(그리고 더욱 쉽게 느낄 때) 낮은 운동단위 동원의 촉진이 더 활성화 수 있다는 것이다. 지속적인 낮은 부하 운동을 수행하는데 요구되는 작용력에 대한 감각의 이러한 감소는 안정성 기능을 개선하는 것에 대한 좋은 임상적 지침이다(Comerford & Mottram 2000a).

문헌들은 요통환자들에 있어서 다른 협력근들 사이에서 협력수축과 운동단위 동원양상에 대한 순서가 변한다고 보고하였다(O'Sullivan et al. 1997b). 증가하는 근거들은 심부의 복부 근육과 요부 다열근들이 급성요통(Hides et al. 1996), 만성요통(Roy et al. 1989; Biedermann et al. 1991; Hodges & Richardson 1996)과 요부 불안정성(Sihvonen et al. 1991; Lindgren et al. 1993; O'Sullivan et al. 1997d)이 있을 때 선택적으로 손상된다는 것이다. 또한 대단위 근육체계의 보상적 대상작용이 국소근육체계 기능부전이 존재할 때도 발생한다고 보고하였다. 국소근육 기능부전이 있을 때 척추에 요구되는 안정성을 유지하기 위해 신경조절체계의 작용이 나타나게 된다(Richardson & Jull 1995; Edgerton et al. 1996; O'Sullivan et al. 1997d). 또한 많은 근거는 만성요통이 존재할 때 종종 일반적인 기능과 건강 상실뿐만 아니라 신경조절체계를 변화시키고, 협력수축양상의 순서, 균형, 반사와 정위반응의 손상을 초래한다고 제한하였다(O'Sullivan et al. 1997b). 이와 같은 신경-근육체계의 손상은 잠재적으로 특히 중립위 영역 내에서 요추의 불안정성을 쉽게 야기한다(Cholewickie & McGill 1996).

## 2. Proprioception and pain(고유수용성감각과 통증)

많은 연구들은 통증과 경추 기능의 소실이 동반되는 운동 감각과 관절위치감각 능력에서의 주목할만한 감소를 보고하였다(Revel et al. 1994; Heikkila & Wenngren 1998; Loudon et al. 1997). 몇몇 믿을 만한 연구들은 요부 통증이 동반되는 고유수용감각 결손을 검사하였다. Gill과 Callaghan(1998), Taimela(1999) 등 그리고 Brumagne(1999) 등은 요부 통증을 가진 환자들에 있어서 관절위치감각 능력의 주목할만한 감소를 보고했다. 그들은 근방추로부터의 명확한 정보 입력이 골반과 요천추의 정확한 관절감각에 필수적이라고 결론지었다.

Woolf(1994)는 근육으로부터의 고유수용성 감각이 척수와 중추신경계로의 유해자극 수용기 전달을 차단하거나 억제하는 통증 관문(pain gate)을 제공한다고 제안하였다. 고유수용기와 역학적 수용기로부터의 큰 직경의 A $\beta$  섬유들은 개계신경원(interneuron)들에 시냅스하고 척수후각의 제 V 층판에 있는 옛척수시상(paleospinothalamic)체계로 정보를 공급하는 폭넓은 동적 범위 수용기(wide dynamic range receptors)들로의 유해자극수용기의 전달을 억제한다. 이것은 잠재적 기전이고 그리하여 (불충분한 긴장성 운동단위 동원에 연관된)구심성 고유수용성 정보입력의 결함은 중추적 감각화(central sensitisation)를 발달시키고 역학적

allodynia(이상통)의 현상을 일으키는 통증을 유발시킨다.

## V. 요추분절 불안정성의 임상적 진단

요추분절 불안정성으로 진단된 환자들에 의해 완성된 설문지 자료는 대상자의 1/2정도는 단일 손상으로부터 이차적인 요통상태로 발전된 경우이고 반면에 대상자의 나머지 1/2은 다양한 작은 외상성 손상과 관련해서 점차적으로 요통으로 발전된 환자들에서 다루어진 최근 임상적 실험들을 포함한다(O'Sullivan et al. 1997). 환자들의 주된 불만은 요통이 만성적이고 재발하는 것이고 기능적 장애가 동반된다. 일반적으로 환자들은 쉬운 운동과 저항훈련프로그램으로부터 불량한 결과들뿐만 아니라 척추도수교정과 관절가동술로부터 증상의 악화가 보고되었다. 요통은 가장 일반적으로 재발성(70%), 지속성(55%), 속발성(catching; 45%), 잠김(20%), giving away(무기력; 20%)으로 설명되어지거나 또는 '불안정성(35%)이 동반된다(O'Sullivan et al. 1997).

이학적 검사에서, 척추의 능동운동은 척추가동성 범위를 검사하는데 좋고, 범위를 지나서 나타나는 통증 또는 제한범위의 끝범위를 더 지나서 나타나는 통증호를 검사하고, 불안정성은 손을 사용하지 않고 전방굴곡상태에서 바로 서기로 되돌아오는 것으로 검사한다. 분절의 이동 또는 전이는 일반적으로 통증이 있는 운동과 동반되어 관찰된다. 통증유발운동검사를 하는 동안 심부의 복부근육이 활성화되어 통증의 유의한 감소가 종종 나타난다. 일반적으로 신경학적 검사와 신경조직통증(증상)유발검사들은 정상이다(O'Sullivan et al. 1997). 이러한 결과들은 다른 연구들에서도 보고되어지고(Kirkaldy & Willis & Farfan 1982; Paris 1985), 중립위 영역에서 운동 조절 문제와 일관된다.

### 1. 요추분절 '불안정성'의 방향성 양상

손상기전, 조직손상부위와 임상적 양상에 기초하여 불안정성의 방향성 성질은 무릎과 어깨에서는 잘 이해되어지지만, 요추에서는 이해하기가 어렵다. Dupuis (1985)등은 실험적이고 방사선학적 자료를 기초로 하여 운동분절에서 주요한 병변의 부위를 보고하였고, 분명한 불안정성의 양상을 결정하였다. 요추에서 운동이 세 방향성이고, 쌍운동을 수반하기 때문에, 조직손상은 한 방향성 운동보다 다방향성 운동에서 기능부전의 결과를 초래할 것이다.

다음의 임상적 분류는 임상적 관찰로부터 발전되었고 과학적으로 확인되어지지는 않았다. 이런 분류는 척추의 손상기전, 조직손상결과, 악화시키는 활동들과 특별한 사분원 운동운동 검사와 연관된 운동문제점들을 기초로 하였다. 이런 임상적 분류는 환자들을 어떻게 평가할 수 있고 운동 기능부전이 분절적 그리고 개별적 방법으로 분석되는지에 대한 기초를 제공한다.

모든 환자들에서 나타나는 공통점은 쉽게 손상 받을 수 있고 운동조절의 소실이 관찰되고 중립위 영역 내에서 나타나는 증상들과 관련된다. 이것은 중립위 영역내에서 국소근육체계의 협력수축이 일어나지 않는 것을 동반된다. 이러한 환자들은 중립위 영역범위 밖에서 그리고 (굴곡, 외측굴곡 또는 신전자세처럼) 끝범위 영역에서 운동분절을 안정화시키는 보상적 운동 전략으로 발달하는 것으로 나타난다. 이런 보상적 운동전략은 분절의 안정성을 유지하기 위한 적절한 시도로 대단위 근육체계의 동원에 의해 그리고 작은 부하의 작업을 하는 동안 복부내압(bracing;고정)의 높은 수준발생에 의해 이루어진다.

#### 1) 'Flexion' pattern (굴곡형태)

굴곡형태는 가장 일반적으로 나타난다. 굴곡형태의 환자들은 일차적으로 중심부 요통을 호소하고 단일 굴곡/회전손상이거나 또는 굴곡/회전적인 활동들과 연관되는 반복적인 좌상으로 인한 손상과 연관된다. 굴곡형태의 환자들은 굴곡/회전적인 운동을 하는 동안 증상이 악화되고 쉽게 손상을 받는다고 보고하고, 반 굴곡된 자세를 유지하기 힘들다(그림1).

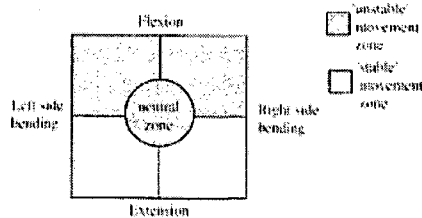


그림 1. 불안정한 운동영역-굴곡양상.(Reproduced by kind permission fo W.B. Saunders.)

그러한 환자들은 ‘불안정한 분절운동’이 있는 부위에서 요추분절의 전만이 소실되어 나타난다. 요추전만 소실은 서있을 때에도 종종 나타나고 골반의 후방경사와 함께 앉은 자세에서도 명확하게 나타난다. 분절의 전만 소실은 굴곡된 자세에서 증가하고 일반적으로 요추상부와 흉추하부에서 전만이 증가하면서 척추기립근의 요추상부섬유와 흉추하부섬유의 근긴장 증가와 관련된다. 전방굴곡운동은 운동초기와 관련되고, 인접한 부위에서 보다 증상이 있는 부위에서 더 굴곡되는 경향이 있다. 운동은 일반적으로 굴곡 시 동통호를 나타내고 손을 사용하지 않고 굴곡에서 중립위로 되돌아올 때 문제점이 나타난다. 신전하는 동안에는, 손상된 분절에서 신전이 감소하고 증상이 있는 분절 위에서 신전이 자주 관찰된다. 특별한 운동 검사는 골반 전방경사와 하요추부 신전이 상요추부와 흉추부 신전과 독립적으로 구별되는지를 검사한다. 운동 검사들은 squatting(쪼그려 앉기), 슬관절 신전 또는 고관절 굴곡하고 앉기, 앉기에서 일어서기를 검사하고, 전방으로 부하 받는 자세들은 불안정한 운동분절에서 굴곡되고, 골반은 후방으로 경사지고 상요추부와 흉추부는 신전되는 경향과 함께 중립위에서 분절의 전만을 조절하는 것을 검사한다.

특별한 근육검사들은 중립위 전만 영역 내에서 불안정한 운동분절부위의 심부 복부 근육과 요부 다열근의 협력수축을 검사한다. 많은 환자들은 중립위에서 요부 전만자세를 취할 수 없고, 특히 네발자세와 앉기 자세에서 전만을 취할 수 없다. 일반적으로 심부 복부근육과 요부 다열근을 활성화하기 위한 시도들은 호흡조절의 소실 그리고 흉-요추 척추기립근육과 외복사근의 과도한 협력수축과 함께 복부근육의 고정(bracing)이 동반된다. 이것은 불안정한 운동분절에서 분절의 전만이 더 편평해진 것을 나타내고, 자주 통증을 초래한다. 촉진 검사는 증상이 있는 운동분절에서 분절의 굴곡과 회전 가동성이 증가되는지를 검사한다.

## 2) ‘Extension pattern’ 신전양상(형태)

환자들의 두 번째 그룹은 신전/회전손상 또는 일반적인 신전/회전을 수반하는 스포츠활동을 동반하는 반복적인 외상과 관련되는 중심부 요통이다. 환자들은 신전과 신전/회전운동과 서기, 던지기처럼 머리위로 물건 내리기, 빠르게 걷기, 달리기, 수영 같은 활동들에 의해 악화된다고 보고한다(그림2). 서있는 자세에서 환자들은 일반적으로 불안정한 운동분절에서 전만이 증가하고 때때로 이 부위에서 근육의 활동이 증가하고 골반은 종종 전방으로 경사진다. 신전활동들은 손상된 분절부위에서 접힘(hinging; 꺾임)이 나타나고 손상된 분절 위에서

는 전만이 감소하고 'sway' 자세를 동반한다. 엎드린 자세에서 고관절 신전과 슬관절 굴곡 운동검사는 심부 복부근육들의 협력수축의 소실과 요부 척추기립근의 활성화양상을 검사하고 불안정한 부위에서 과도한 분절의 신전/회전이 관찰된다. 일반적으로 전방굴곡운동은 특히 불안정한 운동분절부위에서 요추의 전만이 그대로 유지되는 경향이 있고, 일반적으로 통증이 동반되는 굴곡의 중간범위에서 갑작스럽게 전만의 소실이 나타난다. 다시 중립위로의 운동은 완전한 직립자세가 되기 전에 척추분절의 과도한 전만이 나타나고, 통증이 유발되고 손을 사용하게 된다. 특수운동검사들은 골반의 후방경사와 고관절 굴곡이 독립적으로 시작하는 지와 둔근, 복직근과 외복사근의 활성화를 검사한다.

특수근육검사는 요부 중립위 자세에서 심부 복부근육과 요부 다열근의 협력수축을 검사한다. 일반적으로 심부 복부근육활성화를 분리하기 위한 시도는 요부 척추기립근, 외복사근과 복직근의 과도한 활성화가 동반되고, 횡격막 호흡을 조절할 수 없다. 촉진검사는 증상이 나타나는 운동분절에서 신전과 회전가동성이 증가되는지를 검사한다.

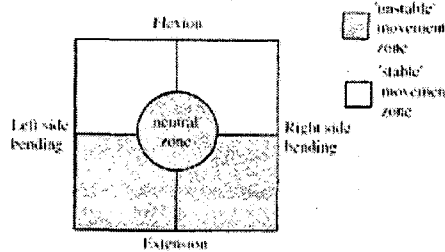


그림2. 불안정한 운동영역-신전양상.(Reproduced by kind permission fo W.B. Saunders.)

### 3) Lateral shift pattern 외측이동(전이)양상

세 번째는 재발성 외측이동이다. 이것은 일반적으로 한 방향성이고 편측성 요통이 동반된다. 일반적으로 이러한 환자들은 reaching할 때 또는 굴곡된 자세로 한 방향으로 회전할 때 쉽게 손상되고, 운동방향 쪽에서 손상된다고 보고한다(그림3).

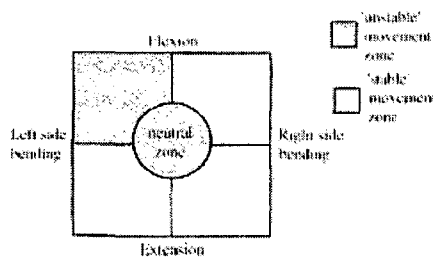


그림3. 불안정한 운동영역-외측이동(전이)양상.  
(Reproduced by kind permission fo W.B. Saunders.)

서있을 때 손상부위에서 요추분절의 전만 감소가 나타나지만, 같은 부위에서 외측이동(전이)도 동반된다. 서기에서 요부 다열근의 축진은 일반적으로 이동(전이)된 쪽의 근긴장을 검사하고 반대쪽에서 위축과 근긴장 감소를 검사한다. 외측이동(전이)은 동측 발로 서기 시 잘 나타나고 골반쪽으로 보다는 체간과 상체 쪽으로 체중이 옮겨지는 경향 때문에 보행하는



동안에도 관찰된다. 시상면에서 척추운동은 굴곡중간범위에서 더 외측으로 이동(전이)되고 이것은 일반적으로 통증이 동반된다. 이동(전이)의 방향에 있어서 회전과 외측체간 조절의 소실은 비대칭적으로 하지에 부하되는 척추자세 그리고 편측 bridging, 네발 무릎기기자세에서 한쪽 팔을 굴곡할 때 관찰할 수 있다. 일반적으로 앉기에서 서기 그리고 쪼그려 앉기 검사는 외측이동(전이)되는 동측 하지에 체중부하가 증가하는 지와 함께 운동을 하는 동안 외측으로 체간 이동(전이)되는 경향이 있는지를 검사한다.

특수 근육검사는 심부 복부근육들과 협력수축에 있어서 요부다열근이 양측성으로 활성화되는지 그리고, 동측의 요방형근, 요부 척추기립근과 표피의 요부 다열근이 우월하게 활성화되는지와 그리고, 반대쪽 요부 다열근이 활성화되는지를 검사한다. 이것은 복벽의 고정(bracing)과 호흡조절 소실이 동반된다. 촉진검사는 증상이 있는 부위에서 분절간 굴곡이 증가하는 지와 이동(전이)의 방향에 있어서 회전과 외측굴곡에 대하여 편측 방향으로 증가하는지를 검사한다.

#### 4) Multi-directional pattern(다방향성 양상)

임상양상에서 가장 심하고 쇠약하게 나타나고, 외상성 손상과 통증 그리고 기능적 장애가 빈번하게 동반된다. 환자들은 다방향성으로 운동할 때 통증을 유발시킨다고 설명한다(그림. 4).

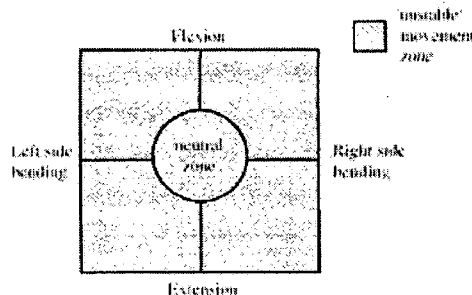


그림4. 불안정한 운동영역-다방향성 양상  
(Reproduced by kind permission fo W.B. Saunders.)

모든 체중부하자세에서 통증이 유발되고, 체중부하 하는 동안 이완되는 자세를 취하기가 어렵다. 일반적으로 척추의 잠김은 지속적인 굴곡, 회전 그리고 신전자세 때 나타난다. 그러한 환자들은 척추가 굴곡, 신전될 수 있거나 또는 외측으로 이동(전이)될 수도 있다. 과도한 분절의 이동과 접합 양상은 찌르는 듯한 통증과 함께 모든 운동방향에서 관찰될 수 있고 근육의 경직이 동반된다. 그러한 환자들은 척추의 중립위 전만 자세를 취하는데 큰 어려움 있고, 요부의 다열근과 복횡근의 협력수축(특히 체중부하 자세)을 촉진하기 위한 시도들은 일반적으로 대단위 근육의 대상작용, 복벽의 고정과 통증이 동반되어 굴곡, 신전 또는 분절의 외측 이동이 동반된다. 촉진검사는 증상이 있는 부위에서 분절간 운동이 다방향성으로 증가하는지를 검사한다. 만약 환자들이 어떠한 자세에서도 압박성 부하를 참을 수 없고, 민감하다면, 환자들은 보존적인 운동관리에서 불량한 예후를 나타낸다.

## 2. 이학적 검사의 목적

1. 증상적으로 관절가동성이 큰 운동분절을 확인하고 만약 존재한다면 방사선학적 결과들과 correlate
2. 불안정성 문제점이 나타나는 특별한 운동방향을 확인하기 위해
3. 동적 안정화의 신경-근육 전략을 결정하기 위해
  - (a) 기능적 운동과 사지부하검사를 하는 동안 동적 체간의 안정성의 소실을 관찰한다.
  - (b) 국소근육체계 기능부전과 대단위 근육체계 대상작용의 잘못된 양상을 확인한다 (Richardson & Jull 1995; Richardson et al. 1999).
4. 증상과 국소근육체계 조절사이의 관련성을 결정한다.

## VI. 요추분절 불안정성의 관리

### 1. 운동학습 모델

만성요통환자들의 물리치료관리에 있어서 최근 초점은 근육들 즉, 복횡근, 횡격막과 요부 다열근에 대한 특별한 훈련에 맞추어져 왔고, 특별한 근육조절 결손의 확인에 기초하여 이 근육의 일차적 역할은 동적 안정성과 척추의 분절조절준비로 고려된다(Richardson & Jull 1995; O'Sullivan et al. 1997c). 이런 접근은 운동학습모델에 기초하고 그것에 의하여 잘못된 운동양상들이 확인되고, 운동구성요소들은 환자들의 개별적인 요구사항에 따라 기능적 과제로 분리되고 재훈련된다(O'Sullivan et al. 1997a). 이런 운동훈련모델은 요추분절 불안정성의 진단을 받은 만성요통환자들에서 장기간동안 통증감소와 기능적 장애에 효과적인 것으로 보여진다(O'Sullivan 1997; O'Sullivan et al. 1997c; 1998b). 이런 특별한 운동중재를 가장 단순한 형태로 표현해보면, 운동학습의 과정은 새로운 운동기술학습에 있어서 세 가지의 단계를 보고한 Fitts과 Posner에 의해 설명되어졌다(그림5).

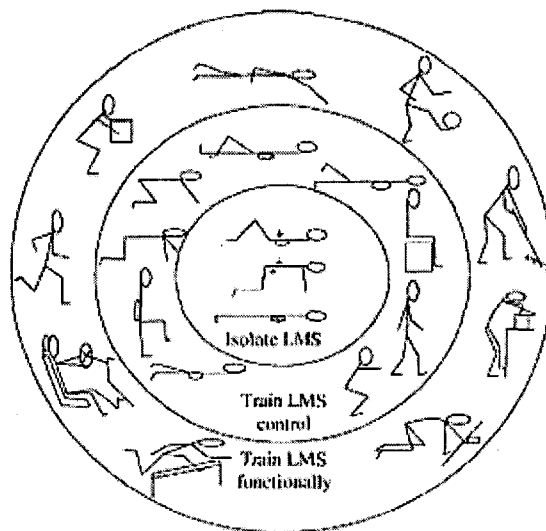


그림5. 운동학습모델에 기초한 운동치료의 전략(LMS-local muscle system).  
(Reproduced by kind permission of W.B. Saunders.)

## 2. 훈련의 첫 번째 단계

첫 번째는 초기훈련과정으로 인지단계이고, 대단위 근육의 대상작용 없이 국소근육체계의 협력수축을 선택적으로 분리시키기 위해 대상자들에게 높은 수준의 지각이 요구되어진다. 첫 번째 단계의 목적은 체중부하상태에서 척추의 중립위 전만을 유지하면서, 최대 수의적 수축력의 낮은 수준과 호흡을 조절하면서 요부 다열근과 복횡근의 특별한 등척성 협력수축을 훈련하는 것이다.

### 1) Progression of first stage(첫 번째 단계의 진행)

- (1) 대단위 근육체계의 대상작용 없이 중립위 전만을 유지하기 위하여 흉추와 고관절의 움직임로부터 골반과 하부요추움직임을 독립적으로 훈련한다.
- (2) 중심부와 외측능골의 횡격막 호흡조절을 위하여 훈련한다.
- (3) 중립위 전만을 유지하면서, 대단위 근육 대상작용 없이 외측능골의 횡격막 호흡조절과 함께 복횡근의 중부와 하부섬유와 골반저 근육의 수축을 촉진한다. 만약 앉기와 서기에서처럼 체중부하자세에서 협력수축을 정확하게 촉진할 수 없다면, 네발무릎자세, 옆드린 자세 또는 바로 눕기처럼 비체중부하자세에서 촉진시킨다.
- (4) 중립위 전만을 유지하는 동안 외측능골의 횡격막 호흡조절과 복횡근의 협력수축을 하면서 불안정한 부위에서 요부 다열근의 양측성 활성화를 촉진한다.
- (5) 자세교정과 함께 앉기와 서기에서 협력수축을 훈련한다.

### 2) 대단위 근육의 대상작용을 억제하기 위한 전략

- (1) 외복사근과 복직근:
  - ① 골반저 근육수축에 초점을 맞춘다.
  - ② 흉골각을 열기 위해 상부 요부전만과 외측능골의 횡격막 호흡을 촉진시킨다.
  - ③ 체중부하상태에서 적절한 자세적 정렬에 초점을 맞춘다.
- (2) 흉-요추 척추기립근:
  - ① 흉추 신전과 과도한 요추 전만을 피한다.
  - ② 흉추와 고관절로부터 골반과 요추하부의 움직임을 확실하게 분리시킨다.
  - ③ 외측능골의 횡격막 호흡을 촉진시킨다.
  - ④ 촉진과 근전도, biofeedback, 근육이완기술을 이용한다.

초기단계에서 만약 대단위 근육의 대상작용이 일어나고, 호흡조절이 되지 않고, 근피로가 발생하거나 또는 휴식 시 통증이 증가하면, 교육을 중단한다. 훈련은 조용한 환경에서 최소한 하루에 한번 (10-15분)정도는 수행한다. 근육활성화의 이런 양상은 분리되어지고, 그리고 나서 수축은 서기, 앉기에서 자세적 교정이 이루어져야하고, 걷기와 같은 기능적 과제들과 유산소 활동들에서 통합되도록 10에서 60초까지 증가시켜 수축을 유지한다. 이 단계에서 통증 조절은 위와 같은 자세에서 기대되고, 환자들에게 강한 동기부여를 제공한다. 이 단계를 성취하기 위해서는 3-6주 정도의 기간이 필요할 것이다.

## 3. 훈련의 두 번째 단계

운동학습의 두 번째 단계는 연합단계로, 특별한 운동양상을 세련화시키는데 초점을 맞춘다. 이 단계의 목적은 검사와 여러 번의 반복(50-60회)된 구성운동들을 기초로 하여 두 가지 또

는 세 가지의 잘못된 점과 통증을 유발시키는 운동양상을 확인하는 것이다. 환자는 분리된 국소근육체계의 선택적 협력수축을 하는 동안 이러한 단계를 거치게 된다. 첫 번째는 결국 정상적인 척추운동을 하면서 중립위 전만 자세로 척추를 유지하는 것이다. 동시에 분절의 조절과 통증조절은 확실하게 해야 한다. 앉기에서 서기, 걷기, 들기, 굽히기, 비틀기, 젖히기 (신전) 등에서도 중립위 전만 자세를 유지할 수 있다. 환자들은 통증조절을 기초로 하여 일상생활활동을 할 수 있고, 점차적으로 부드럽고, 자유롭게 그리고 조절된 방법으로 움직일 수 있을 때까지 운동양상의 속도와 복잡성을 증가시켜나간다. 환자들은 바른 자세적 정렬을 유지하고, 국소근육체계의 낮은 수준의 협력수축과 호흡조절을 하는 동안 걷기 같은 규칙적인 유산소 활동을 수행할 수 있다. 이것은 근육들내 장력을 증가시키는 것과 부가적으로 이런 양상의 자동화를 도와준다.

환자들은 그들의 경험 또는 통증 또는 불안정한 느낌이 있는 상황에서도 협력수축을 촉진시킨다. 기본적으로 이런 협력수축의 양상은 결국 자동적으로 발생한다. 이 단계는 운동양상이 학습되고 자동화되기 전에 실습의 강도, 병리학적 단계와 성격, 그리고 환자에 따라서 8주에서 최대한 4개월까지 할 수 있다. 일반적으로 이 단계에서 환자들은 과거에 악화시키는 활동들을 통증 없이 수행할 수 있고, 형식적인 특별한 운동프로그램을 그만둘 수 있다. 환자들은 일반적 운동의 규칙적인 수준을 유지하는 동안 자세적 지각과 함께 기능적으로 국소근육체계 조절을 유지하는 것을 배우게 되다.

#### 4. 훈련의 세 번째 단계

세 번째 단계는 운동과제의 수행교정을 위해 낮은 수준의 집중이 요구되는 자동화 단계이다(Shumway-Cook & Woollacott 1995). 이 단계는 특별한 운동중재의 목적으로, 그것에 의하여 환자들이 기능적인 일상생활활동을 하는 동안 자동적인 방법으로 그들의 척추를 적절하게 동적 안정성을 제공하는 것이다. 운동단위동원의 자동적인 양상 변화에 대한 근거는 표면 근전도 자료와 이런 치료적 중재를 받고있는 대상자들에서 나타난 장기간의 양성적 결과에 의해 지지된다(O'Sullivan et al. 1997c; 1998a; 1998b).

### VII. 결론

만성요통의 성공적인 관리는 절대적으로 특별한 중재에 반응하는 요통환자들에서 세부그룹의 정확한 분류에 따라 좌우된다. 요추분절의 불안정성을 가진 환자들을 위한 적절한 분절의 조절을 강조하는 것으로 설계되어진 개별적인 운동학습 접근은 국소적 관리전략이다. 이런 접근의 성공은 물리치료사가 환자의 임상적 문제점, 특별한 운동조절 기능부전과 잘못된 운동전략들의 교정 촉진을 정확하게 확인할 수 있는 기술과 능력에 따라 좌우된다. 이것은 또한 환자들의 상태와 운동수행 정도에 의해 크게 영향을 받는다. 이런 접근의 효과에 대한 근거는 비록 임상적 실험들이 다른 운동접근에 요구되는 것에 비해 작지만 점차적으로 증가하고 있다.

#### <참고문헌>

- Allison G, Kendle K, Roll S, Schupelius J, Scott Q, Panizza J : The role of the diaphragm during abdominal hollowing exercises. Australian Journal of Phsiotherapy 44(2): 95-102 1997.
- Aspden R : Review of the functional anatomy of the spinal ligaments and the

- lumbar erector spinae muscles. *Clinical Anatomy* 5: 372-387, 1992.
- Avery A : The reliability of manual physiotherapy palpation techniques in the diagnosis of bilateral pars defects in subjects with chronic low back pain. Master of Science Thesis, Curtin University of Technology, Western Australia., 1996.
- Bergmark A : Stability of the lumbar spine. A study in Mechanical engineering. *Acta Orthopaedica Scandinavia* 230(60)(Suppl). 20-24. 1989,
- Bogduk N : The anatomical basis for spinal pain syndromes. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 18(9): 603-605. 1995.
- Cholewicki J, McGill S : Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clinical Biomechanics* 11(1) 1-15. 1996 .
- Comerford M, Mottram S : Movement Dysfunction-Focus on Dynamic Stability and Muscle Balance: Kinetic Control Movement Dysfunction Course. Kinetic Control, Southampton., 2000a.
- Coste J, Paolaggi J, Spira A : Classification of non-specific low back pain II. Clinical diversity of organic forms. *Spine* 17(9): 1038-1042. 1992.
- Cresswell A : Responses of intra-abdominal pressure and abdominal muscle activity during dynamic loading in man. *European Journal of Applied Physiology* 66: 315-320. 1993.
- Dillingham T : Evaluation and management of low back pain and overview. *State of the Art Reviews* 9(3): 59-574. 1995.
- Dupuis P, Yong-Hing K, Cassidy D, Kirkaldy-Willis : Radiological diagnosis of degenerative spinal instability. *Spine* 10(3): 262-276. 1985.
- Dvorak J, Panjabi M, Novotny J, Chang D, Grob D : Clinical validation of functional flexion-extension roentgenograms of the lumbar spine, *Spine* 16(8) 943-950. 1991.
- Edgerton B, Wolf S, Levendowski D, Roy R : Theoretical basis for patterning EMG amplitudes to assess muscle dysfunction. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28(6): 744-751. 1996.
- Friberg O : Lumbar instability: a dynamic approach by traction-compression radiography. *Spine* 12(2): 119-129. 1987.
- Froberg O : Functional radiography of the lumbar spine. *Annals of Medicine* 21(5): 341-346. 1989.
- Gandevia SC : The sensation of effort co-varies with reflex effects on the motoneurone pool: evidence and implications. *International Journal of Industrial Ergonomics* 13: 41-49. 1994.
- Gertzbein S : Segmental instability of the lumbar spine. *Seminars in Spinal Surgery* 3(2): 130-135. 1991.
- Goel V, Kong W, Han J, Winstein J, Gilbertson L : A combined finite element and optimization investigation of lumbar spine mechanics with and without muscles. *Spine* 18(11): 1531-141. 1993.
- Grimby L, Hannerz J : Disturbances in voluntary recruitment order of low and high frequency motor units on blockades of proprioception afferent activity. *Acta*

- Physiologica Scandinavica 96: 207-216. 1976.
- Hides J, Richardson C, Jull G : Multifidus recovery is not automatic following resolution of acute first episode of low back pain. *Spine* 21(23): 2763-2769. 1996.
- Hodges P, Richardson C : Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain: a Motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine* 21(22): 2640-2650. 1996.
- Hodges P, Butler J, Mckenzie D, Gandevia S : Contraction of the human diaphragm during rapid postural adjustments. *Journal of Physiology* 505(2): 539-548. 1997.
- Hurley MV, Newham DJ : The influence of arthrogeous muscle inhibition on quadriceps rehabilitation of patients with early, unilateral osteoarthritic knees *Br J Rheumatology* Feb 32(2): 127-131. 1993.
- Hurley MV, Scott DL, Rees J, Newham DJ : Sensorimotor changes and functional performance in patients with knee osteoarthritis *Annals Rheumatism* Nov 56(11): 641-648. 1997.
- Hurley MV : The role of muscle weakness in the pathogenesis of osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North Am* May 25(2): 283-298. 1999.
- Indahl A, Velund L, Reikeraas O : Good prognosis for low back pain when left untampered. *Spine* 20(4): 437-477. 1995.
- Janda V : *Motor learning impairment and back pain. FIMM Proceedings, Zurich, Switzerland., 1983a.*
- Kaigle A, Holm S, Hansson T : Experimental instability in the lumbar spine. *Spine* 20(4): 421-430. 1995.
- Kirkaldy-Willis W, Farfan H : Instability of the lumbar spine. *Clinical Orthopaedic and Related Research* 165: 110-123. 1982.
- Lephart SM, Warner JJ, Borsa PA, Fu FH : Proprioception of the shoulder joint in healthy, unstable and surgically repaired shoulders. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* Nov: 371-378. 1994.
- Lindgren K, Sihvonen T, Leino E, Pitkanen M : Exercise therapy effects on functional radiographic findings and segmental electromyographic activity in lumbar spine instability. *Archives in Physical Medicine and Rehabilitation* 74: 933-939. 1993.
- Long D, BenDebba M, Torgenson W : Persistent back pain and sciatica in the United States: patient characteristics. *Journal of Spinal Disorders* 9(1): 40-58. 1996.
- McGill S : Electromyographic activity of the abdominal and low back musculature during the generation of isometric and dynamic axial trunk torque; Implications for lumbar mechanics. *Journal of Prthopaedic Research* 9: 91-103. 1991.
- Mimura M : Rotational instability of the lumbar spine—a three dimensional motion study using bi-plane X-ray analysis system. *NipponSeikeigeka Gakkai Zasshi* 54(7): 546-559. 1990.
- Mimura M, Panjabi M, Oxland T, Crico J, Yamamoto I, Vasavada A : Disc degeneration affects the multidirectional flexibility of the lumbar spine. *Spine* 19(12): 1371-1380. 1994.

- Montgomery D, Fischgrund J : Passive reduction of spondylolisthesis on the operating room table: a prospective study. *Journal of Spinal Disorders* 7(2): 167-172. 1994.
- Nachemson A : Instability of the lumbar spine. *Neurosurgery Clinics of North America* 2(4): 785-790. 1991.
- O'Sullivan P : The efficacy of specific stabilizing exercise in the management of chronic low back pain with radiological diagnosis of lumbar segmental instability. PhD Thesis, Curtin University of Technology, Western Australia., 1997.
- O'Sullivan P, Twomey L, Allison G : Dynamic stabilization of the lumbar spine. *Critical Reviews of Physical and Rehabilitation Medicine* 9(3&4): 315-330. 1997a.
- O'Sullivan P, Twomey L, Allison G : Dysfunction of the neuro-muscular system in the presence of low back pain implications for physical therapy management. *Journal of Manual and Manipulative Therapy* 5(1): 20-26. 1997b
- O'Sullivan P, Twomey L, Allison G : Evaluation of specific stabilising exercise in the treatment of chronic low back pain spondylolisthesis. *Spine* 15(24): 2959-2967. 1997c
- O'Sullivan P, Twomey L, Allison G, Sinclair J, Miller K, Knox J : Altered patterns of abdominal muscle activation in patients with chronic back pain. *Australian Journal of Physiotherapy* 43(2): 91-98. 1997d.
- O'Sullivan P, Twomey L, Allison G : Altered abdominal muscle recruitment in back pain patients following specific exercise intervention. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 27(2): 1-11. 1998a.
- O'Sullivan P, Twomey L, Allison G, Taylor J : Specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with clinical and radiological diagnosis of lumbar segmental 'instability'. *Third Interdisciplinary World Congress on Low Back and Pelvic Pain, Vienna, Austria: 366-367. 1998b*
- Panjabi M : The stabilizing system of the spine. Part 1 and Part 2. *Journal of Spinal Disorders* 5(4): 383-397. 1992.
- Panjabi M, Abumi K, Duranceau J, Oxland T : Spinal stability and intersegmental muscle forces. A biomechanical model. *Spine* 14(2): 194-199. 1989.
- Paris S : Physical signs of instability. *Spine* 10(3): 277-279. 1985.
- Phillips D : A comparison of manual diagnosis with a diagnosis established by a uni-level spinal block procedure. Master of Science Thesis, Curtin University of Technology, Western Australia., 1994.
- Pope M, Frymoyer J, Krag M 1992 Diagnosing instability. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 296: 60-67.
- Richardson C, Jull G : Muscle control - pain control. What exercises would you prescribe? *Manual Therapy* 1(1): 2-10. 1995.
- Richardson C, Jull G, Hodges P, Hides J : Therapeutic exercise for the spinal segmental stabilization in low back pain: scientific basis and clinical approach. Churchill Livingstone, Edinburgh., 1999.
- Roy S, Deluca C, Casavant D : Lumbar muscle fatigue and chronic low back pain. *Spine* 14: 992-1001. 1989.

- Sahrmann SA : Diagnosis and treatment of muscle imbalances associated with regional pain syndromes. Manipulative Physiotherapists association of Australia - Eighth Biennial Conference - post conference workshop. Perth, Western Australia: 1-27. 1993.
- Sahrmann SA : Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes. London. Course Note., 2000a.
- Sahrmann SA : Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes. Mosby, USA(In Press)., 2000b.
- Shumway-Cook A, Woollacott M : Motor control - Theory and practical applications. Williams & wilkins, Baltimore., 1995.
- Sihvonen T, Partanen J : Segmental hypermobility in lumbar spine and entrapment of dorsal rami. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 30: 175-180. 1990.
- Steffen R, Nolte L, Pingel T : Importance of the back muscles in rehabilitation of postoperative segmental lumbar instability - a biomechanical analysis. *Rehabilitation stuttgart* 33(3): 164-170. 1994.
- Voight M, Hardin J, Blackburn TA, Tippett S, Canner GC 1996 The effect of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 23(6): 348-352.
- Wilke H, Wolf S, Claes L, Arand M, Wiesend A : Stability increase of the lumbar spine with different muscle groups. *Spine* 20(2): 192-198. 1995.
- Wood K, Popp C, Transfeldt E, Geissele A : Radiographic evaluation of instability in spondylolisthesis. *Spine* 19(15): 1697-1703. 1994.