

슬링(sling) 시스템을 이용한 요부 안정화 운동

부산가톨릭대학교 물리치료학과, SET 슬링연구소*

김 선 엽 · 권 재 환*

Lumbar stabilization exercises using the sling system

Dept. of Physical Therapy, Catholic University of Pusan, SET Sling Institute*

Kim Suhn-Yeop Ph.D., PT. · Kwon Jae-Hoak. BA., PT.*

ABSTRACT

Dysfunction of the anterior and dorsal muscles of the trunk have been studied in relation to low back pain of many years. Many muscles of the trunk are capable of contributing to the stabilization and protection of the lumbar spine, recent evidence has suggested that transversus abdominis may be critically involved and has been the focus of rehabilitation. The delay in onset of contraction of trunk muscles associated with movement of the upper or lower limb in patients with low back pain indicates a significant deficit in the automatic motor command for control of disturbance to the spine. The function of transversus abdominis has been largely ignored in the evaluation of spinal stabilization and protection. The most essential stabilizing muscles for the lumbar column are the transversus abdominis and the multifidus.,

Sling exercise therapy(SET) concept consists of a system of diagnosis and treatment. The system of diagnosis involves testing the muscle's tolerance through progressive loading in open and close kinetic chains. The SET system contains elements such as relaxation, increasing the range of

movement, traction, training the stabilizing musculature, sensorimotor exercises, training in open and close kinetic chains, dynamic training of the mobilizing musculature, cardiovascular exercises, group exercise, personal exercise at home. Sensorimotor training is an essential element of the SET concept. The emphasis is on closed kinetic chain exercises on an unstable surface, thereby achieving optimum stimulation of the sensorimotor apparatus.

Key Words : Low back pain, Stabilization, Exercise, Sling Exercise Therapy.

서론

똑바로 선 자세에서 인간의 요추는 골반 위에서 근육과 인대들에 의해 잘 고정되어 있다. 이러한 자세에서 척추의 하부는 강한 부하를 받게 된다. 그 이유로 요추의 크기는 매우 커지고, 추간판의 프로테오글리칸(proteoglycan)의 함량도 매우 높고 두껍게 되어 있다(Taylor & Twomey, 2000). 척추는 인체의 골격 중심 축이라 할 수 있다. 이 골격 축은 매우 튼튼하나 정적(static)이라고 할 수는 없다. 움직임에 많이 제한되어 있는 각 척추간 관절들로 이루어져 있으면서, 많은 운동 분절들(motion segments)로 인해 큰 운동 범위를 가지고 있는 척추는 운동성(mobility)과 안정성(stability)의 상호 상반되는 특징을 가지게 있다. 인간의 거의 대부분은 일생을 통해 요통을 경험하며, 재발과 치료의 과정을 반복하며 지낸다고 해도 과언이 아닐 것이다.

요통의 예방과 치료에 대한 근거를 만들기 위한 연구는 오래 전부터 시작되었으며 지금도 계속되고 있다. 현재 요통을 일으키는 원인이 단일 요인이 아니라 다원적인 요인들로 인한 것이라는 것은 이미 알려져 있는 사실이다(Johansen 등, 1995). 이러한 이유로 요통에 대한 치료는 여러 가지 측면에서 다루어져야 하며 환자들의 특성에 따라 그 접근법

을 달리해야 할 것이다. 근로자들에게 요통의 예방은 매우 현실적인 문제이다. 현재 요통 예방법으로 제시되어 있는 방법으로는 안전하게 물건을 드는 방법에 대한 교육과 근로자들의 작업 환경에 대한 인간공학적 개선 등이 이용되어지고 있다. 그러나 요통을 가지고 있는 191명의 근로자들을 대상으로 조사한 Snook 등(1978)의 연구에서는 손으로 물건을 드는 작업을 수행하는 근로자들에서 요통 발생률이 약 3배 이상 높았다고 하면서, 물건을 적절하게 드는 방법에 대한 교육이 요통 발생에 크게 영향을 주지 못하였고 물건을 드는 동작을 줄여 주는 작업 환경으로 개선한 경우 부분적으로 요통 발생에 영향을 주었다고 하였다.

van Tulder 등(1997)은 요통에 대한 치료방법의 효과를 연구한 논문들 중 체계적 고찰(systemic review)을 통해 81개의 무작위 조절 실험(randomized controlled trials) 논문들을 분석하였다. 급성 요통에 대한 치료법으로 운동(exercise)이나 도수교정(manipulation) 치료 그리고 사업장에서의 요통 교실(back schools) 만이 효과가 있었고, 이외의 치료방법들은 모두 효과가 없었다.

최근 활발하게 연구되어지고 분야는 여러 가지 원인으로 발생된 요통을 원인적 요소로나 결과적인 요소로 보거나 상관없이 척추에 안정성을 향상시켜

주는 것이 치료와 재발 방지에 더 효과적이라는 것을 증명하는 많은 연구 결과들이 제시되어지고 있다(Luoto 등, 1998). 이러한 안정성은 환자 자신이 스스로 필요한 근육에 근력을 향상시키기 위한 능동적인 운동을 통해야만 획득되어진다는 것은 자명한 사실이다.

본 연구는 요통의 원인이라 할 수 있는 요천부의 불안정성을 개선하고, 요통으로 인한 합병증을 더 효과적으로 치료하기 위해 슬링(sling)을 이용한 안정화(stabilization) 운동법을 소개하고자 한다.

요통의 특성

요통과 근육의 변화

1. 근조직의 조직학적 변화

만성 요통을 가지고 있는 사람들은 그렇지 않은 사람들과 비교해 요추 심부에 위치한 근육들의 위축 정도가 더 심하다는 연구결과가 있다(Hides 등, 1994; Cooper 등, 1992; Terti 등, 1991; Lehto 등, 1989; Mayer 등, 1989; Laasonen, 1984). 이러한 위축이 요통의 원인일까 아니면 요통으로 인한 결과인가는 아직도 의문이다. 하지만 이러한 근육들의 강화는 요통의 경감과 재발 방지에 효과적이라는 것은 의심의 여지가 없을 것이다. 요통으로 인한 움직임의 제한은 요부 근육들의 형태학적 성질에 변화를 가져올 수 있다(Stokes 등, 1992). Rantanen 등(1993)은 추간판 탈출증으로 인한 수술을 받은 18명의 환자들을 5년 후 추적 조사를 하여 요추의 다열근을 생검(biopsy)하여 그 형태학적 변화를 분석한 결과, 수술 결과에 따라 요부의 다열근에 위축 정도가 차이가 있었다고 하였다. Lehto 등(1989)도 비슷한 연구를

하였는데, 추간판 탈출증으로 수술을 받은 24명의 실험군과 요통 문제가 없었던 대조군 9명의 다열근의 결합조직의 변화를 비교한 결과, 수술 후 1년 뒤에 장애 정도와 위축된 다열근의 결합조직의 심각성(severity) 정도와 관련이 있었고, 이것이 수술후에 질병의 회복에 장애를 주는 하나의 요소가 될 수 있다고 보고하였다.

2. 근력과 지구력의 약화

요통은 요부 근육의 근력과 지구력에 영향을 미쳐 결국 요추부 안정성에 영향을 주고, 기능장애의 원인이 될 수 있다(Lehto 등, 1989; Nordgren 등, 1980; Johansen 등, 1995). Cooper 등(1992)은 43명의 급성 요통 환자와 44명의 만성 요통 환자들의 부척주근(paraspinal muscle)과 요근(psoas)의 횡단면적(cross-sectional area)을 L4 수준에서 방사선 촬영법으로 측정하여 부척주근과 요근의 단면적 비(ratio)를 서로 비교한 결과, 급성 환자에 비해 만성 환자들의 비가 상대적으로 유의하게 감소되어 있었다고 하였다. 그리고 이러한 변화가 근육의 약화를 일으키고 결국 척추의 불안정성을 발생시킨다고 하였다. 요통으로 인해 수술을 받은 경우 근육의 위축으로 인한 약화가 발생될 수 있고, 이러한 영향의 가장 큰 원인은 근조직들이 지방 조직(adipose tissue)으로 대체됨으로 인한 것이다(Laasonen, 1984). 근력의 약화는 요부 신전근과 굴곡근 모두에서 발생되지만 특히 신전근이 현저하게 저하되며, 이러한 요소가 만성 요통과 관련되어진다(Mayer 등, 1989; Mayer 등, 1985). Mayer 등(1985)은 정상인과 요통 환자의 체간 회전근의 근력을 비교하기 위해 체중을 등속성 체간 회전력을 비교한 결과, 근력이 정상인의 70-75%에 해당되었다고 하였다. 이러한 근력의 약화는 기능적으로 물건을 드는 능력에도 영향을 주게 될 것

이다. Kishino 등(1985)은 동적 등속성 들기(lifting) 측정 장치를 이용해 요통 환자가 정상인에 비해 물건을 드는 능력이 유의하게 낮았다고 하였다.

요통과 추간판탈출증

추간판탈출증은 요통을 일으키는 중요한 원인 중 하나이다. 하지만 이러한 구조적인 변형이 임상적인 증상과 직접적인 관련이 있지는 않다는 것이 여러 연구자들에 의해 입증되어졌다. Terti 등(1991)은 15세의 청소년들 중 요통을 가지고 있는 39명과 요통 증상이 없는 39명을 대상으로 자기공명영상(MRI) 촬영법을 이용한 연구에서 요통이 있는 대상자 중 38%(15명)에서 추간판 변성(disk degeneration)이 있었으나, 증상이 없는 대조군에서도 26%(10명)에서 이 현상을 발견하였다고 하였고, 이러한 구조적 변화는 후에 요통 질환에 노출될 가능성이 높다고 하였다.

요통과 요부의 감각운동(sensorimotor) 조절 능력

요통 환자들의 요부 감각운동 조절 능력은 정상인 보다 떨어진다고 한다(Luoto 등, 1998; Field와 Abdelmory, 1997; Maffeyward 등, 1996; Johansen 등, 1995; Parkhurst와 Burnett, 1994; Nies와 Sinnott, 1991). 감각운동 능력은 요추부의 안정성과 정상적인 기능을 수행하는데 필수적인 요소이다. 이것은 신경근육골격계(neuromusculoskeletal system)의 통합적인 수행을 의미하며, 이러한 통합은 크게 수동적 체계(passive system)이라 할 수 있는 정적(static) 상태에서의 안정성과 능동적 체계라 할 수 있는 동적(dynamic) 상태에서의 안정성으로 구분할 수 있다. 기능적인 활동에서 근육의 긴장으로부터 발생하는 근력보다 적절

히 이루어지는 동적 안정성이 더 중요하며, 움직임이 적절히 이루어지기 위해서는 이렇게 발생하는 힘들간에 효율적인 협응(coordination)이 이루어져야만 한다. 이러한 균형은 주동근과 길항근 군간에 발생되어진다(Panjabi, 1992; Grabiner 등, 1992).

Gill과 Callaghan(1998)은 요통 환자 20명과 비요통 환자 20명을 대상으로 바로 선 자세와 네발로 기는 자세에서 시각적 자극에 대한 요추부의 운동 조절 정도를 측정한 결과, 단기 운동 기억(short term motor memory)은 두 군간에 큰 차이가 없었으나, 자세에 대한 차이를 알아내는 정확성 검사에서 유의한 차이를 보여, 결국 두 군간에 고유수용감각 수준에 차이가 있었다고 하였다. Field 등(1997)의 연구에서도 비슷한 실험 결과가 보였었다. 요통군이 비요통군에 비해 직전에 취했던 선 자세로 되돌아가는 능력이 떨어졌으며, 몸에 부하를 가했을 때 이전의 자세 위치를 지나치거나 덜 가는 경향이 더 심했다고 하였다. Johansen 등(1995)은 요통 환자의 요부 근력 강화와 척추 운동성(mobility)의 향상만으로는 충분치 않고 근육들의 협응 능력과 같은 생리학적 요소도 똑같이 중요하다고 하면서 고유수용감각의 저하가 요통 발생에 중요한 위험 요소 중 하나라고 하였다. Parkhurst와 Burnett(1994)는 남자 소방관 88명을 대상으로 수동 운동 역치(passive motion threshold) 수준과 운동 방향성 지각(directional motion perception) 수준 그리고 재위치 정확도(repositioning accuracy) 3가지로 요부의 고유수용감각을 측정하여 비교한 결과, 고유수용감각 수준과 요통 발생간에 높은 관련성이 있었다고 하면서 요추의 고유수용감각의 회복이 치료 목적이 될 수 있다고 하였다.

Nies와 Sinnott(1991)는 요통 환자들의 흔들리는 곳에서 신체의 균형을 유지하는 능력과 눈을 감고 한 쪽 다리로 균형을 잡는 능력이 건강한 사람들에 비

표 1. 자세유지근/속근의 특징

	Postural muscles	Phasic muscle
Type	slow twitch-Red	fast twitch-White
Respiration	Anaerobic	Aerobic
Function	Static/Supportive	Phasic/active
Dysfunction	Shorten	Weaken
Treatment	Stretch/Relax	Facilitate/Strengthen

해 많이 떨어지며, 힘 중심(center of force)이 후방으로 많이 이동되어져 있다고 하였다.

위에서 언급한 여러 특성들이 요통을 일으키는 원인인지 아니면 이러한 특성들이 요통으로 인해 발생하는 양상인지는 아직도 논란의 여지가 있다.

대(global)근육과 소(local)근육

1. 대근육

대근육과 소근육의 구분은 일차적으로 부착되어 있는 위치에 따라 구분한다. 대근육은 다분절성(multisegmental) 근육이라 할 수 있고, 몸에 가해지는 중력이나 무거운 물건을 드는 등의 외적 부하에 대해 균형을 유지하는데 작용하는 근육들이다. 가해지는 부하는 대개 골반과 흉곽 사이로 전달되며, 외측 안정성을 많이 담당하고 있다. 대근육에 속하는 근육에는 척추 기립근과 내복사근, 외복사근, 복직근, 요방형근 그리고 요근이 있으며, 광배근도 요부 안정화에 매우 중요한 역할을 하는 대근육이다 (Magee, 1999; Bergmark, 1989).

2. 소근육

소근육들은 단분절성(intersgmental) 근육들로 모든 근육들이 척추에서 기시하여 척추에서 정지한다. 이 근육들은 척추의 만곡을 유지하며, 척추의

전후방, 측방의 안정성을 유지하는 중요한 역할을 한다. 소근육에 속하는 근육에는 다열근(multifidus)과 극돌간근(interspinalis), 횡돌간근(intertransversus)이 있다(Magee, 1999; Bergmark, 1989).

근육의 기능적 분류

1. 자세유지근

자세유지근은 지근(tonic muscles)이며 자극 역치가 낮아 쉽게 활성화되고, 수축 시간이 느리다. 수축력은 작으며 피로가 잘 발생되지 않고 주로 자세를 유지하는 동작에 주로 관여한다. 주로 두 관절(two joint) 근육이 많으며, 장애가 일어나면 단축(tightness)이 발생하는 특성을 보인다(표 1). 즉 과긴장증(hypertonia)을 일으켜 결국 근단축을 야기한다. 이러한 특성으로 통증 발생시 자세성 고정(postural holding) 현상을 일으킨다. 요천추부의 안정성과 관련되어 있는 지근들은 척추기립근과 요방형근, 이상근, 장요근, 대퇴근막장근 그리고 대퇴직근과 슬픽근이 해당된다.

2. 속근(phasic)

속근은 자극 역치가 높아 활성화시키기 위해서는 큰 자극이 필요하다. 수축 시간은 매우 빠르며, 수축력도 높다. 그리고 빠른 움직임을 일으킬 수 있

도록 근육의 동원(recruitment)이 잘 이루어지며, 단일 관절(one joint) 근육들이 대부분이다. 장애가 발생시 과소긴장증(hypotonia), 근약화를 일으킨다. 근 위축도 쉽게 발생된다. 이러한 속근에 해당하는 근육에는 대둔근, 중둔근, 소둔근 그리고 복직근, 내측 광근과 외측광근이 있다(Magee, 1999).

요추에 가해지는 긴장 완화 기전

요추에 발생하는 스트레스는 요통의 발생 원인이 될 수 있다. 우리 몸은 이러한 스트레스는 완화시키기 위한 방법을 가지고 있다.

1. 복강내압(intraabdominal pressure)

복근과 횡경막 그리고 골반저(pelvic floor) 근육들이 동시에 수축을 하게 되면 복강내에 압력이 상승되고 이때 척추의 신전근은 보조를 받게 된다. 이때 관여하는 중요한 근육들은 횡복근과 내복사근, 외복사근이다. 이러한 압력은 깊은 숨을 들이 마신 후 숨을 멈출 때 더 많이 증가되며, 이때 척추에 가해지는 압박력과 전단력(shear force)을 줄여 주게 된다.

2. 후방 인대

척추 후(facet)관절의 관절낭을 따라 부착되어 있는 극간(interspinous) 인대와 극상(supraspinous) 인대는 흉요부 근막(thoracolumbar fascia)과 함께 척추에 가해지는 굴곡 스트레스의 24-55%을 담당한다. 이들 인대들은 척추의 축을 따라 내려오는 압박력을 유지할 수 있는 사전-긴장 지렛대(pre stressed beam)로 작용을 하며, 주로 후방 전단력의 저항을 담당한다.

3. 흉요부 근막(thoracolumbar fascia)

횡복근의 수축은 흉요부 근막을 긴장시키고,

근막이 긴장되면 항-굴곡 효과(anti-flexion effect)가 발생되고, 근육에 의해 발생된 스트레스를 약 30% 증가시켜 척추기립근의 팽창(expansion)을 제한한다.

4. 체간 근육의 협력 수축(co-contraction)

체간의 좌우측 근육들의 협력 수축은 안정성 유지에 필수적인 요소이다. 복직근과 복사근은 체간 굴곡의 주동근이며, 골반을 적절히 고정하였을 때는 복직근 하부가 주로 작용하며, 골반을 기울이고 고정하지 않은채 체간을 굴곡하면 복직근의 상부가 작용하게 된다. 복사근들은 체간의 신전과 측방 굴곡시에 안정성을 담당한다. 횡복근과 내복사근은 체간부의 전방 안정성을 담당하는 주 근육이며, 횡복근과 내-외복사근은 주로 I형 근섬유로 이루어져 있어 안정성 협력근(stability synergists)으로 분류되어진다. 척추기립근은 척추 신전근 중 천층부 근육에 속하며 장늑근(ilicostalis)과 최장근(longissimus)으로 이루어져 있다. 요부 최장근은 척추를 후방으로 당겨 후방 전이를 일으키고, 요부 장늑근도 최장근과 마찬가지로 작용하여 복근에 의해 발생된 굴곡에 대해 척추를 중립으로 유지시키는 다열근의 기능을 보조한다. 대개 피로가 근육 조절 문제를 일으키는 원인이 되므로 천층부에 있는 척추 신전근의 지구력(endurance)은 근력보다 더 중요하다고 할 수 있다. Kollmitzer 등(2000)은 1개월의 요부 신전근 근력 강화 훈련 프로그램과 균형 훈련 프로그램이 자세를 조절하는 능력에 미치는 영향을 비교한 연구에서, 근력 강화 훈련을 한 군에서 자세의 안정성이 더 나빠졌고, 균형 훈련군에서는 차이를 보이지 않았다고 하면서, 요통 환자의 자세 안정성의 약화를 예방하기 위한 재활 훈련 과정에 길항근에 대한 훈련을 반드시 포함시켜야 한다고 강조하였다.

안정화 훈련(stabilization training)

안정화의 개념

Magee(1999)는 안정화에 대한 정의를 사람이 의식적 또는 무의식적으로 관절에서의 큰 또는 미세한 움직임을 조절할 수 있는 능력이라고 말하고 있다.

척추의 안정화는 세 가지 세부체계(subsystem)로 구분된다. 즉 수동 세부체계(passive subsystem)와 능동 세부체계(active subsystem) 그리고 신경성 세부체계(neural subsystem)이다(Panjabi, 1992). 수동 세부체계는 불활성(inert) 조직 즉 척추 뼈나 관절, 추간판, 인대, 관절낭 등과 같은 조직에 의해 이루어지는 안정성을 의미하며, 중립 지역(neutral zone)에서의 안정성에는 매우 적은 부분을 담당하며, 주로 관절가동범위의 끝 범위에 안정성을 담당하고 있다. 능동 세부체계는 근육이나 건과 같은 수축성 조직들에 의해 이루어지는 능동적이고 역동적 보조(dynamic support)를 담당하게 된다. 이 체계의 주된 역할은 힘의 전달이며, 척추체나 척추 관절에 가해지는 스트레스를 줄여주고, 통증을 조절하는 기능을 한다. 이 체계는 관절에 견고함(stiffness)을 증가시키는데 근육의 최대수축능력(MVC)에 25% 이하로도 적절히 고정시킬 수 있다. 만일 한 관절부위에 과소운동성(hypermobility)이 있을 때 주위 관절에는 보상 작용으로 과대한 스트레스나 과대운동성(hypermobility)이 발생된다. 이러한 과대운동성이나 과다 사용으로 인한 피로를 근육이 적절히 조절하지 못하게 될 때 불안정성(instability)이 발생된다. 신경성 세부체계는 중추신경계와 고유수용감각기들에 의해 구성된다. 근육이 신장되어져 있을 때 감마 운동신경은

근방추의 추내근을 조절하여 근육에 활성화되는 근섬유의 수를 조절하게 된다. 이러한 자기유발(autogenic) 신장 반사는 근육의 강직(stiffness)을 3배 정도 증가시킨다.

안정화 운동의 목적은 근육과 움직임 조절 능력을 회복시키기 위한 것이며, 현재는 요통 환자의 치료에 필수적인 접근방법이 되었다. 사람이 자신의 체간의 올바른 정렬(alignment)을 인식하고 교정하기 위해서는 정상적인 운동 감각(kinesthetic sense)이 반드시 필요하며, 이 운동 감각은 피부나 근육 그리고 관절에 분포되어 있는 감각수용기로 부터의 감각 입력에 의해 크게 영향을 받는다(Maffeyward 등, 1996). 만성 요통 환자의 치료는 쉬운 일이 아니며, 치료적 운동 훈련은 그 환자의 문제점과 불균형을 개선하는 방향으로 이루어져야 한다(Johansen 등, 1995).

O'Sullivan 등(1997)은 척추분리증과 척추전방전위증으로 인한 44명의 만성 요통 환자들을 대상으로 요부 안정화 운동 효과를 연구하였다. 실험군은 10주 동안 횡복근과 다열근의 강화 운동을 실시하였고, 대조군은 전통적인 물리치료를 실시하였다. 실험을 한 30개월 후에 대조군에서는 통증과 기능적 향상이 유의하게 증가되지 않았으나, 실험군에서는 통증 경감과 기능 향상이 유의한 증가를 보였다고 하였다.

중립 지대(neutral zone)

중립 지대란 척추가 수동적(passive)인 요소에 의해 제공되는 보조가 매우 적은 중립적인 자세를 취할 때 척추 사이에서 운동(intervertebral motion)이 일어나는 부위를 말한다(Panjabi, 1992). 이 지역은 척추가 안정성을 유지하는데 임상적으로 매우 중요한

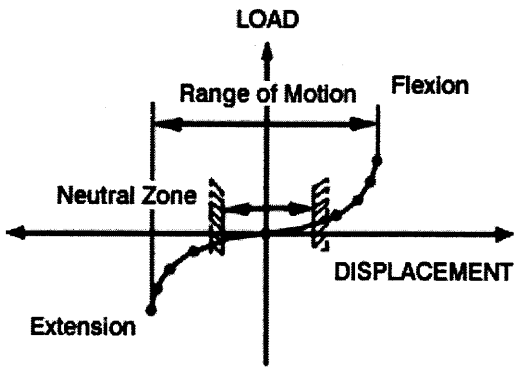


그림 3. 중립 지대(resting zone)

부위이다(그림 1).

이 지대의 증가는 척추부의 손상이나 근력의 약화를 일으킬 수 있으며, 이와 반대로 척추 불안정성과 요통으로 인해 야기될 수도 있다. 이 부위는 골극(osteophyte) 형성이나 수술적 고정 또는 근력의 강화를 통해 생리학적 운동 제한을 일으킬 수 있다. 척추에 직접 부착되어 있는 소(local)근육들이 중립 지대 내에서 분절의 안정성을 유지하는데 가장 큰 역할을 수행하고 있다(Crisco와 Panjabi, 1990). Wilke 등(1995)은 요추 4-5번 분절이 중립 지대에서 안정성을 유지하는데 2/3 이상의 부분을 다열근이 담당하고 있다고 하였다.

요부 안정화에 중요한 역할을 하는 근육

다열근은 척추의 심부에 위치한 단일 분절간(intersegmental) 근육이라 할 수 있으며, 극돌간근과 횡돌간근을 따라 위치한다. 이 근육들의 길이가 짧기 때문에 반응 시간(reaction time)이 매우 빠르며, 안정성 유지에 상당히 중요한 역할을 한다. 다열근은 척추를 후방으로 고정(rocking)시켜 줌으로서 체간 굴곡시 복근들에 의해 발생하는 척추의 굴곡을

중립화(neutralize) 시키는데 도움을 준다. 요부 손상 시 다열근의 근위축이 매우 빠르게 발생된다. Hides 등(1996)은 요통 환자에게 다열근의 약화는 절대로 자연적인 치유가 일어나지 않는다고 하였으며, 급성 요통의 경우 90%의 환자가 2-3주 내에 자연적인 호전이 일어나나, 이러한 환자들의 60-80%가 1년 이내에 재발되는데 이것이 더 큰 문제라고 하였다.

횡복근은 체간의 모든 빠른 동작을 수행할 경우 수축을 일으킨다. 또한 체간의 움직임을 일으키는 근육들 보다 먼저 수축을 한다(Cresswell 등, 1994). Hodges와 Richardson(1997)은 요통 증상이 없는 사람들이 상지와 하지를 빠르게 움직이게 하였을 때 횡복근이 가장 먼저 수축을 일으켰으며, 요통 환자들의 경우에는 상지와 하지를 움직일 때 횡복근이 가장 먼저 수축하지 않았다고 하였다.

열린 사슬(open chain)과 닫힌 사슬(close chain) 운동

열린 사슬 운동이란 운동이 일어나는 관절을 중심으로 근위부 분절이 고정된 상태로 원위부 분절의 움직임이 일어나는 것을 의미하며, 또한 원위부 지절에 체중 부하가 가해지지 않은 상태를 말한다. 이 운동은 주로 근력 강화와 지구력 향상을 목적으로 사용된다. 그리고 근육들의 개별적인 훈련 시에 사용된다. 허나 일상생활 동작이나 스포츠 활동 즉 기능적인 면에 향상을 위한 운동이라 할 수는 없다. 이에 반해 닫힌 사슬 운동은 원위부 지절이 고정된 상태로 일어나는 운동이며, 원위부 지절에 체중 부하가 가해진 상태에서 이루어지는 운동이다. 운동은 천천히 그리고 집중(concentration)하면서 하게 된다. 이 운동법은 대개 안정성, 근력, 지구력 강화와 감각-운동 조절 훈련 시에 사용할 수 있다. 이 닫힌

사슬 운동은 기능적인 능력을 향상시키기 위한 훈련으로 이용되며, 운동시에 관절내에 압력이 증가되어 안정성이 향상되고, 운동이 일어나는 관절 주위의 주동근과 길항근이 협력수축(cocontraction)을 일으켜 관절에서 발생할 수 있는 전단력(shear forces)을 최소화 시켜 관절의 스트레스를 줄여 주게 된다.

환자의 특정 근육들이 약화된 상태(약화 고리, weak link)로 단힌 사슬 운동을 실시할 수 없는 경우 열린 사슬 운동을 이용해 훈련을 하거나 주위의 다른 근육들에 매우 낮은 수준의 치료용량으로 단힌 사슬 운동을 함께 이용할 수도 있다. 그런 다음 운동 부하량을 점진적으로 증가시켜야 한다.

감각-운동 훈련(sensory-motor training)

고유수용감각(proprioception)이란 근육이나 건, 인대, 관절낭 그리고 피부에 분포되어 있는 기계적 감수기로 움직임에 대한 정보를 중추신경계로 보내는 역할을 하는 구심성 자극을 말한다(Wilkerson, 1994; Garn, 1988). 고유수용감각은 인간의 움직임과 기능적 활동에 근본적으로 필요한 감각으로 요천추부 심부에 위치한 조직들에 분포되어 있는 근육의 근방추와 골지건, 그리고 관절낭에 분포되어 있는 기계적 감수기들은 요천추부의 움직임과 자세, 위치를 감지하는 중요한 역할을 하며 요통 환자들의 경우 이러한 기능이 줄어들게 된다. 이러한 자극은 중추신경계로 유입되어 이미 형성되어 있었던 정보들과 통합되어 어떤 의사결정을 하게 되고 그 결과를 원심성 운동신경을 통해 근육에 전달하여 적절한 조치를 취하게 한다. 이러한 일련의 과정을 감각-운동 조절(sensorimotor control)이라 한다(그림 2). 요추부의 고유수용감각 수준을 측정하는 방법으로 요천추부의 위치 감각 검사(position sense)가 주로 사용되

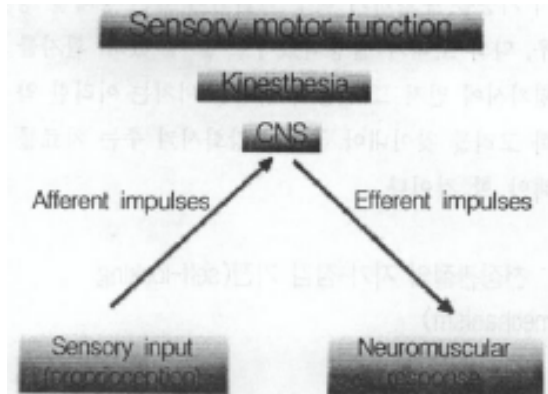


그림 11. 감각-운동 기능

며, 이 검사법에 대한 신뢰도 검사가 이미 이루어져 있다(Brumagne 등, 1999). Newcomer 등(2000)은 요통군과 비요통군간에 체간이 이전에 취했던 자세로 되돌아오는 능력을 비교한 연구에서, 요통군이 비요통군에 비해 특히 신전 동작에서 실패율이 유의하게 더 높게 나타났다. 이는 요통이 있는 환자들이 고유수용감각을 잃게 된다는 것을 의미하며, 궁극적으로 척추 분절에 불안정성을 야기하게 된다(Ebenbichler 등, 2001). 결론적으로 요통 환자에게 이러한 감각-운동 조절 훈련을 요통 치료와 재발 방지에 매우 필수적인 요소라 할 수 있다. 요통 치료에 이러한 부분이 반드시 고려되어야 한다(Luoto 등, 1998).

지금까지 언급한 여러 근거들을 기초로 요통 환자에게 단힌 사슬 운동을 통한 감각-운동 훈련을 적용한다는 것은 매우 의미가 있는 접근법이라 할 수 있다.

약화 고리(Weak link)

약화 고리란 인체가 여러 근육들을 함께 이용하여 어떤 과제를 수행할 때 어떤 한 근육의 근력이

이 기능을 수행하기 너무 약화되어 있는 상태일 경우, 약화 고리가 발생되었다고 할 수 있다. 환자를 평가시에 먼저 그 기능에 영향을 미치는 이러한 약화 고리를 찾아내어 근육을 강화시켜 주는 치료를 해야 할 것이다.

천장관절의 자가-잠김 기전(self-locking mechanism)

천장 관절의 안정성은 구조적(form)에 의해 잠김과 힘(force)에 의한 잠김 기전이 복합적으로 작용함으로 이루어진다. 구조적 잠김은 천골이 장골 위에 얹혀 있는 듯한 구조적 형태에 의해 이루어지며, 힘에 의한 잠김은 척추 기립근과 대둔근, 대퇴이두근 그리고 광배근의 작용에 의해 이루어진다. 요추부에 전만각이 증가되면 천골의 전굴(nutation)이 일어나게 되고, 결국 천장관절의 장배 천장(long dorsal sacroiliac) 인대만을 제외하고 모든 후방부의 인대들이 팽팽해지게 된다. 반대로 요추부가 편평하게 되면 장배 천장 인대가 팽팽하게 된다. Vleeming은 인체 내에 근육-건-근막으로 연결되는 슬링(sling)이 존재한다는 것을 증명하였다. 장축 근육-건-근막 슬링(longitudinal muscle-tendon-fascia sling)은 대퇴이두근과 천결절(sacro-tuberal) 인대 그리고 척추 기립근이 서로 연결되어 있고, 광배근과 흉요부 근막(thoracolumbar fascia), 대둔근이 서로 연결되는 사선 근육-건-근막 슬링(oblique muscle-tendon-fascia sling)이 서로 연결되어 기능을 한다는 것이다. 이러한 Vleeming의 개념을 이용한 요부 안정화 운동에 적용한다면 훨씬 효과적인 것이다. 예를 들면 무릎을 세우고 바로 누운 자세에서 골반을 위로 들어 올리는 운동을 할 때 통증이 발생하는 환자에게 양 팔을 위로 올려 고정되어 있는 곳을 잡아 밑으로 당기는 힘

을 주게 한 다음 골반을 위로 올리게 할 때 이전 보다 훨씬 쉽게 그 동작을 할 수 있는 것을 볼 수 있을 것이다. 이것은 광배근이 대둔근과 함께 작용하여 요추부의 안정성을 향상시켰기 때문이다. 또 네 발로 선 자세에서 한쪽 팔을 들면서 반대측 다리를 신전시키는 운동은 이러한 근육 슬링(muscles sling)이 작용하여 요부에 안정성을 향상시키는 매우 효과적인 운동이다(Kirkesola, 2001).

슬링 운동 치료(Sling Exercise Therapy)

슬링 운동의 개념

슬링을 이용한 운동 치료는 새로운 개념이 아니다. 과거 세계 2차 대전 당시 유럽에 소아마비가 만연하면서 근력 약화의 특징을 보이는 이 질환을 치료하기 위한 방법으로 수중운동치료와 슬링을 이용한 치료가 사용되어지기 시작하였다. 이 치료법은 독일의 톰슨(Thomsen) 교수와 영국의 거슬리-스미스(Gutherie-Smith) 등에 의해 발전되어졌다. 이 슬링 치료의 목적은 수중에서 운동할 때 얻을 수 있는 치료적 효과 즉 중력을 제거한 상태로 조기에 치료와 운동을 시작할 수 있다는 치료적 장점을 지상에서 얻을 수 있게끔 한 치료법이라고 할 수 있다. 그 후 소아마비가 사라지기 시작하면서 이 슬링 치료는 침체기를 맞았다가 1990년 노르웨이의 물리치료사와 의사들에 의해 다시 연구되고 치료 기법들이 개발되어지기 시작되었으며, 현재 전 세계적으로 관심을 보이고 있는 안정화(stabilization) 운동의 개념과 최신 운동치료 이론들을 접목하여 새로운 운동 치료의 한 접근법으로 자리를 잡게 되었다.

슬링 운동 치료(sling exercise therapy)는 능동(active)

운동법이라 칭하는 것이 가장 적절한 표현이 될 것이다. 현재 우리가 행하고 있는 물리치료기법들의 대부분이 수동적(passive) 접근법이라는 점에서 이 슬링을 이용한 운동치료는 그 의미가 크다고 할 수 있다(Kirkesola, 2001). 수동적 치료법이라고 할 수 있는 관절가동술(joint mobilization)의 이론적 근거와 치료기법을 발전시키는데 많은 기여를 한 프레디 칼텐본(Freddy Kaltenborn)도 이 슬링 운동 치료가 향후 물리치료 분야에 새롭고 중요한 발전 방향이 될 수 있다고 한 바 있다. 현재 이 접근법은 유럽을 중심으로 발전되어 우리 나라와 일본 그리고 타이완 등으로 빠른 속도로 전파되어지고 있다.

슬링 운동 치료의 영역

슬링을 이용한 운동 치료에서는 “도움의 손(helping hand) 원리”가 적용될 수 있다. 현재 많은 물리치료사들이 환자의 문제를 치료하기 위해 무거운 사지와 머리 등을 손으로 들고 치료를 실시하고 있다. 실제로 물리치료사가 무거운 환자의 몸을 들고 문제가 있는 부위를 촉진하여 그 부위의 상태를 인식하고 감지해 낸다는 것은 매우 힘들으면서 어떠한 미세한 변화나 차이점을 구별해내는 데는 많은 제한이 있다. 슬링을 이용하여 사지나 체간, 머리를 지지한 상태로 환자의 몸을 촉진한다면 얼마나 더 많은 정보를 얻어낼 수 있겠는가를 생각해 보자.

슬링 운동 치료에서는 환자의 문제점을 체계적으로 찾아내는 일련의 과정을 통해 진단을 할 수 있다. 이전에 언급한 바 있는 약화 고리(weak link)를 열린 사슬 운동과 닫힌 사슬 운동을 통해 찾아내고, 적절한 치료 후에 약화 고리가 어떻게 변화되어지는가를 통해 환자의 상태를 진단한다. 물리치료사는 이러한 진단 과정을 통해 알아낸 문제점을 적절

한 운동 방법을 환자에게 제공한다. 이러한 운동 방법들은 컴퓨터 프로그램으로 개발되어 있어 물리치료사들이 쉽게 이용할 수 있게 되어 있다.

병원에서 물리치료사로부터 운동 방법을 교육받은 환자는 그 운동 처방으로 집에서 계속 운동을 할 수 있도록 가정 훈련 프로그램(home training program)을 제공해야 한다. 현재 유럽에서는 이러한 슬링 운동 치료가 일반 외과, 정형외과, 신경외과, 소아과 그리고 노인과, 류마티스과, 스포츠 의학과 그리고 일반인들의 건강을 증진시키기 위한 휘트니스 훈련방법으로 적용되어 지고 있다.

슬링 운동 치료의 효과

슬링 운동을 통해 얻을 수 있는 치료적 효과로는 가동성(mobility) 치료와 신장(stretching), 감각-운동 훈련 그리고 근육의 안정화 운동, 근력 강화 운동, 근지구력 운동, 이완 운동 등의 목적으로 적용할 수 있다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 슬링 운동을 환자들의 상태에 맞게 적절히 적용 용량을 증가시켜 줄 수 있어야 한다. 슬링 운동 치료에서 사용할 수 있는 치료 용량의 변화 요소로는, 일차적으로 슬링을 매달은 지점 즉 현수점(hanging point)의 변화가 있다. 현수점의 이동을 통해 운동이 일어나는 부위에 부하를 줄일 수 있으며 늘릴 수도 있다. 또한 슬링 운동을 하는 동안 물리치료사 가해 주는 도수적 저항(manual resistance)도 매우 효과적인 요소이며, 슬링에서 사용하는 줄(ropes)을 탄력성이 있는 탄력 밴드(elastic cords)의 이용도 가능하고, 줄에 저항을 주는 무게(weights)를 달아 주는 방법도 있다. 그리고 운동을 하는 지점의 길이를 조절해 주는 지렛대(lever) 원리와 줄에 매달려 닫힌 사슬 운동을 실시할 것인가 열린 사슬 운동을 실시하는가에 따라서도

현수점(Suspension point)

내측 현수점

외측 현수점

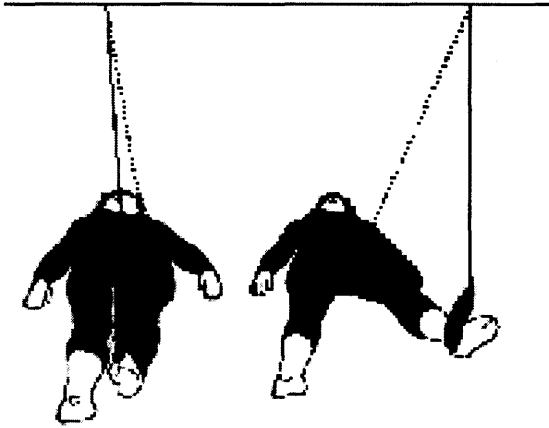


그림 20. 현수점(내측 현수점, 외측 현수점)

매우 다양한 운동을 만들어 낼 수 있다(Kirkesola, 2001).

슬링의 현수점에 따른 생역학적 특성

슬링의 현수점(suspension point, SP)이란 위에서 내

현수점(Suspension point)

미측 현수점

축 현수점

두측 현수점

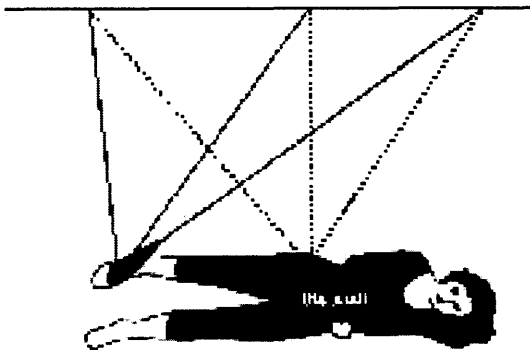


그림 19. 현수점(축 현수점, 두측 현수점, 미측 현수점)

려오는 줄이 바닥에 닿은 지점을 말한다. 운동을 하고자 하는 관절 부위와 관련하여 이 현수점이 어디에 위치하는가에 따라 현수점을 구분할 수 있으며, 여러 가지 형태의 현수점이 나올 수 있고, 각 현수점에 따라 운동 효과도 달라진다. 현수점과 함께 줄의 길이도 운동 효과에 영향을 미친다. 줄의 길이는 운동이 일어나는 경로와 관절에 가해지는 압력에 변화를 가져온다. 현수점은 축 현수점, 두측과 미측 현수점 그리고 내측과 외측 현수점, 중립 현수점으로 구분된다(그림 3, 그림 4).

축 현수점(axial SP)은 줄이 운동이 일어나는 관절 바로 위로 내려오는 상태로 이때는 움직임이 수평면과 같은 방향으로 일어나며, 운동이 일어나는 양쪽 방향에서 모두 중력의 영향을 받지 않는다. 관절에는 약간의 압박력이 가해진다. 두측 현수점(cranial SP)을 이용할 때 운동은 볼록(convex)한 경로를 그리며 일어난다. 처음 운동 시작 자세로 돌아올 때 부하가 걸린다. 관절에는 압박 효과가 일어나 통증이 발생하는 경우에는 사용하지 않는다. 미측 현수점(caudal SP)은 오목(concave)한 운동 경로를 가지며, 운동을 하려는 방향으로 모두 저항이 가해진다. 시작 자세로 돌아올 때는 쉬워지며 관절에는 신연(decompression) 효과가 일어난다. 운동이 일어나는 범위는 두측 현수점을 이용할 때보다 적어진다. 외측 현수점(lateral SP)은 현수점이 있는 방향과 반대로 움직이려 할 때 저항이 발생되며, 움직임이 일어나는 경로는 사선을 그린다. 내측 현수점(medial SP)은 외측 현수점과 마찬가지로 현수점 쪽과 멀어지려 할 때 저항이 발생되나, 운동 경로는 반대 방향의 사선면을 따라 일어난다. 중립 현수점(neutral SP)은 몸을 가장 편안한 자세로 취하고자 할 때 사용하는 현수점으로 두 개의 미측 현수점을 이용한다. 이때 줄은 수직방향으로 내려가게 하며, 운동은 오목한

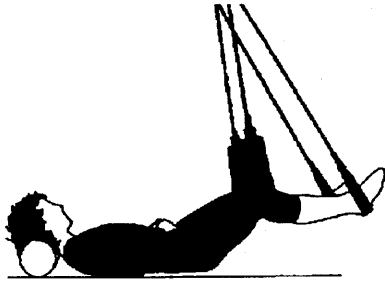


그림 21. 요부 이완 운동

모양으로 일어난다. 관절에는 압박도 신연 효과도 일어나지 않는다.

슬링을 이용한 요부 안정화 운동

1. 요부 이완 운동

요통 환자의 치료는 통증 완화로부터 시작하는 것이 적당할 것이다. 대부분 물리치료 기구(modalities)를 이용하는 경우가 많지만 운동을 통해서도 충분히 통증 완화를 일으킬 수 있을 것이다.



그림 22. 요부 견인 치료

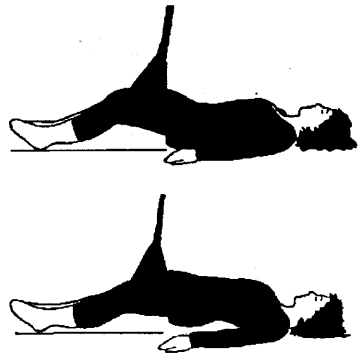


그림 23. 골반 들기 운동

먼저 요부를 이완시키기 위해 환자를 그림 5와 같이 편안한 자세를 취하게 한다. 그 다음은 환자 스스로 골반 부위를 좌우로 천천히 흔들게 한다. 또한 요부에 견인효과를 얻기 위해 허리가 편안한 느낌이 들 정도로 다리를 위로 들어 올리는 방법도 좋은 방법이다(그림 6).

2. 요부 안정화 운동

요부를 안정화시키기 위해 복근과 둔근을 동시에 수축하여 요천부 근육들을 강화시키는 운동으로 먼저, 대퇴부를 슬링에 걸고 골반을 들어 올리는 운동이 있다. 먼저 배를 수직으로 안으로 약간 넣은 다음 발을 땅에서 들어 올린 다음, 골반을 위로 들어 올려 몸이 수평이 되게 한다(그림 7). 이 운동은 고정된 바닥에 발을 대고 할 때 보다 균형을 잡는데 환자가 집중을 해야 하므로, 감각-운동 효과를 더 많이 얻을 수 있다. 운동이 쉬워지면 지렛대 원리로 슬링 부위를 점차 발 쪽으로 이동시키면 부하량을 더 증가시킬 수 있다. 이 운동에서 Vleeming의 근육 슬링 개념을 이용할 수도 있다. 즉 양팔을 올려 고정된 물체를 잡고 하방으로 당기는 힘을 준 다음 위의 운동을 실시하면 좀 더 쉽게 운동을 할 수 있게 된다.

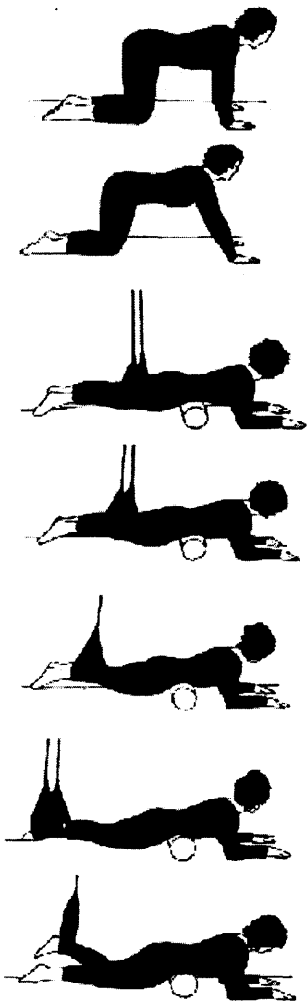


그림 25. 단계별 요부 슬링 안정화 운동

그림 8은 요부 강화 운동뿐만 아니라 상지의 근력 강화에 매우 효과적인 운동이 될 수 있다. 초기 운동은 현수점에서 약간 앞쪽에 무릎으로 서서 줄 높이를 어깨 높이만큼 조절한 다음, 먼저 배를 안으로 약간 넣어 횡복근과 다열근을 이용하여 요부를 안정화시키고 몸을 앞으로 기대는 듯이 매달린다. 이때 허리가 뒤로 제치거나 앞으로 굽혀서는 안 되

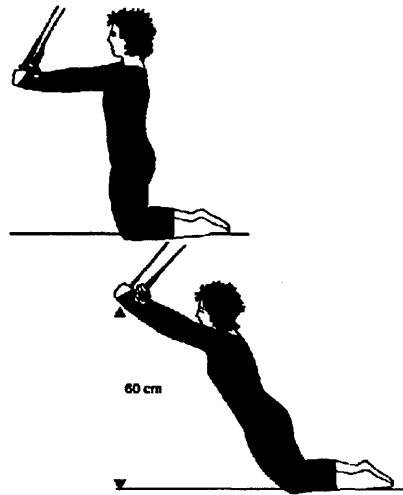


그림 24. 요부 안정화 운동

며 주관절도 곧게 편 상태로 이루어져야 한다. 이때 환자는 복근이 수축하는 것을 느낄 것이다. 운동의 끝 부위에서 2-3초간 머무른 다음 천천히 제자리도 돌아온다. 이러한 과정을 10번 반복한다. 이 운동은 치료 진행은 여러 가지 요소로 진전(progression)을 시킬 수 있다. 첫째는 무릎의 위치는 점차 현수점 후방으로 이동해 간다. 즉 현수점의 위치를 이용한다. 두 번째는 줄의 길이를 점차 길게 하면 운동의 강도를 증가시킬 수 있다. 세 번째는 슬링을 부착하는 부위를 조절한다. 즉 슬링을 주관절부에 부착하여 시작한 다음 점차 손으로 잡게 한다. 그림 9는 일반적으로 알려져 있는 네발 자세에서 실시하는 요부 안정화 운동을 슬링을 이용하여 좀 더 진보된 운동을 할 수 있게 단계화 시킨 그림이다. 슬링에 매달린 체간의 균형을 잡기 위해 환자는 매우 집중하여 체간에 복근과 신전근들을 협력 수축하게 되고 이때 안정성을 담당하는 심부의 소근육들에 고유수용감각기들이 활성화되어진다. 이때 체간부를 위로 들어 올려 몸이 수평이 되게 하여 5-7초간 고

정하는 과정을 10번 반복한다. 운동이 쉬워지면 슬링 부착부위를 대퇴부로부터 시작하여 점차 발쪽으로 이동해 가고, 그 다음에는 양다리에 각각의 슬링으로 매달아 부하량과 균형을 잡는 난이도를 증가시킨다.

결론

요통은 인간의 신체 구조적 특성과 사용 습관 그리고 환경적 요인으로 평생 손상의 위협에 노출되어 있다. 적절한 환경조건의 개선과 일상생활 습관과 자세 교정 그리고 손상 예방과 관련된 교육과 훈련이 가장 효과적인 대처 방안이라 할 수 있을 것이다.

인체의 척추에 직접 부착되어 있는 소(local) 근육들이 척추의 안정성(stability)을 담당하는 매우 중요한 요소라는 근거들이 많은 연구들을 통해 밝혀지고 있으며, 이 근육들을 효과적으로 강화시키기 위한 방법들이 연구되어지고 있다. 슬링 운동 치료(sling exercise therapy)는 매달려 있는 줄을 이용하여 최소 저항운동을 필요로 하는 약한 환자로부터 운동선수들의 손상에까지 그 적용성이 매우 큰 장점을 가지고 있으며, 환자가 능동적(active)으로 치료에 참여하게 할 수 있는 접근법이다. 요통 환자들에게 고유수용감각의 손상은 기능적인 면의 치료와 재손상 예방에 매우 중요한 부분이다. 흔들리는 줄을 이용하거나 불안정한 지면을 제공하는 상황에서의 운동은 감각-운동(sensorimotor) 훈련을 가능하게 할 수 있다. 이러한 치료에 가장 적절한 접근법이 슬링 운동 치료라 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 안정화 운동 개념에 슬링(sling)을 이용한 운동 개념을 통합하여 좀 더 많은 치료적 가능성을 제시하고자 시도되었다.

참고문헌

- Bergmark A. Stability of the Lumbar Spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica Scandinavica Supplementum* 23(6): 20-24. 1989.
- Brumagne S, Lysens R, Spaepen A. Lumbosacral position sense during pelvic tilting in men and women without low back pain: test development and reliability assessment. *J Orthop Sports Phys Ther* 29(6): 345-351, 1999.
- Cooper RG, Forbes W, Jayson MIV. Radiographic demonstration of paraspinal muscle wasting in patients with chronic low back pain. *Br J Rheumatol* 31: 389-394, 1992.
- Cresswell AG, Oddsson L, Yhorstenson A. The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. *Exp Brain Res* 98:336-341, 1994.
- Crisco JJ III, Panjabi MM. Postural biomechanical stability and gross muscular architecture the spine. In: Winters JM, Woo SL-Y eds. *Multiple Muscle Systems*, Springer-Verlag, New York ch 26 p438-450, 1990.
- Ebenbichler GR, E Oddsson LI, Kollmitzer J, et al. Sensory-motor control of the lower back: implications for rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc* 33(11): 1889-1898, 2001.
- Field E, Abdelmoty E. The effect of back injury and load on ability to replicate a novel posture. *J Back Musculoskel Rehab* 3: 199-207, 1997.
- Gill KP, Callaghan MJ. The measurement of lumbar proprioception in individuals with and without low-back-pain. *Spine* 3: 371-377, 1998.
- Grabner MD, Koh TJ, el Ghazawi A. Decoupling of

bilateral paraspinal excitation in subjects with low back pain. *Spine* 17(10): 1219-1223, 1992.

Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Multifidus Muscle recovery is not automatic after resolution of acute, first-episode low back pain. *Spine* 21: 2763-2769, 1996.

Hides JA, Stokes MJ, Saide M, et al. Evidence of lumbar multifidus wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine* 19: 165-172, 1994.

Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy* 77: 132-142, 1997.

Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res* 114: 362-370, 1997.

Johansen F, Renvig L, Kryger P, et al. Exercises for chronic low back pain: A clinical trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 2: 52-59, 1995.

Kirkesola G. Advanced musculo-skeletal course. The s-e-t concept using the terapimaster system. Course book. Norway, 2001.

Kishino ND, Mayer TG, Gatchel RJ, et al. Quantification of lumbar function. Part 4: Isometric and isokinetic lifting simulation in normal subjects and low-back dysfunction patients. *Spine* 10(10): 921-927, 1985.

Kollmitzer J, Ebenbichler GR, Sabo A, et al. Effects of back extensor strength training versus balance training on postural control. *Med Sci Sports Exerc* 32(10): 1770-1776, 2000.

Laasonen EM. Atrophy of sacrospinalis muscle groups in patients with chronic diffusely radiating low back pain. *Neuroradiology* 26: 9-13, 1984.

Lehto M, Hurme M, Alaranta H, et al. Connective tissue changes of the multifidus muscle in patients with lumbar disc herniation: An immunohistologic study of collagen types I and III and fibrinectin. *Spine* 14: 302-309, 1989.

Luoto S, Aalto H, Taimela S, et al. One-footed and externally disturbed two-footed postural control in patients with chronic low back pain and healthy control subjects. A controlled study with follow-up. *Spine* 23(19): 2081-2089; discussion 2089-2090, 1998.

Maffeyward L, Jull G, Wellington L. Toward a clinical test of lumbar spine kinesthesia. *J Orthop Sports Phys Ther* 6: 354-358, 1996.

Magee DJ. Instability and stabilization. Theory and treatment. 2nd. Seminar Workbook, 1999.

Mayer TG, Smith SS, Keeley, et al. Quantification of lumbar function. Part 2: Sagittal plane trunk strength in chronic low back pain patients. *Spine* 10: 765-772, 1985.

Mayer TG, Smith SS, Kondraske G, et al. Quantification of lumbar function. Part 3: Preliminary data on isokinetic torso rotation testing with myoelectric spectral analysis in normal and low-back pain subjects. *Spine* 10(10): 912-920, 1985.

Mayer TG, Vanharant H, Gatchel RJ, et al. Comparison of CT scan muscle measurements and isokinetic trunk strength in postoperative patients. *Spine* 14: 33-1436, 1989.

Newcomer KL, Laskowski ER, Yu B, et al. Differences in repositioning error among patients with low back pain compared with control subjects. *Spine* 25(19): 2488-2493, 2000.

Nies N, Sinnot PL. Variations in balance and body sway in middle aged adults. *Spine* 16(3):325-330, 1991.

Nordgren B, Scheiler R, Linroth K. Evaluation and prediction of back pain during military field service. *Scand J Rehabil* 12: 1-7, 1980.

O'Sullivan PB, Twomey LT, Allison GT: Evaluation of specific stabilization exercise in the treatment of chronic low-back-pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis. *Spine* 24: 2959-2967, 1997.

Panjabi M. The stabilizing system of the spine. Part I: Function, dysfunction adaptation and enhancement. *Journal of Spinal Disorders* 5: 383-389, 1992.

Panjabi M. The stabilizing system of the spine. Part II: neutral zone and instability hypothesis. *Journal of Spinal Disorders* 5: 390-397, 1992.

Parkhurst TM, Burnett CN. Injury and proprioception in the lower back. *J Orthop Sports Phys Ther* 5: 282-295, 1994.

Snook S, Campanelli RA, Hart JW. A study of three

preventive approaches to low back injury. *JOM* 20: 478-481, 1978.

Taylor JR, Twomey LT. *Physical therapy of the low back*. 3rd ed. Churchill Livingstone, p1. 2000.

Tertti MO, Salminen JJ, Paajanen HEK, et al. Low back pain and disc degeneration in children. A case control MR imaging study. *Radiology* 180: 503-507, 1991.

van Tulder MW, Koes BW, Bouter LM. Conservative treatment of acute and chronic nonspecific low back pain. A systematic review of randomized controlled trials of the most common interventions. *Spine* 22(18): 2128-2156, 1997.

Wilke HJ, Wolf S, Claes LE, et al. Stability increase of the lumbar spine with different muscle groups: a biomechanical in vitro study. *Spine* 202: 192-198, 1995.