

슬링운동치료를 이용한 Neurac 기법의 이론적 근거와 적용방법

김선엽, 김택연¹⁾

대전대학교 보건스포츠과학대학 물리치료학과, OPT 운동처방실¹⁾

Abstract

Theoretical Basis and Application of the Neurac Technique Which Uses the Sling Exercise Therapy

Suhn-Yeop Kim, Taek-Yean Kim¹⁾

Dept. of Physical Therapy, College of Health Sport Science, Daejeon University
OPT Exercise Prescription Center²⁾

Sling exercises therapy can speak as applicable comprehensive exercises therapy technique efficiently in general exercise field for injured worker's rehabilitation process and health improvement patient or athlete, injury or disease that have pain or dysfunction to neuromuscular system using that shake. At 1990 an early stage, because physical therapist and doctors of medical treatment developed country norway of north europe cooperate sling exercises therapy's concept trend spreading worldwide establishing theory newly based on scientific basic be. Musculoskeletal system, old man and young child's nervous system injurer's treatment and exercise and industry worker's rehabilitation process, athlete's rehabilitation etc. several fields introduced in early 2000s to Korea apply. Sling exercises therapy neuromuscular system disease continuous abatement as general concept of active exercise and treatment that use sling exercises equipment by purpose know can. This review article wishes to introduce about neuromuscular activation, "Neurac" technique that can speak as step developed more concept based on application principle etc, of basic sling exercises effort's change by suspension point's change that is concept, stability exercises principle, open kinetic chain exercises and closed kinetic chain exercises. Arranged about Plateau potential's characteristic and working mechanism and Neurac technique's application method that can say as Neurac technique's neurophysiologic base, and presented treatment method of lumbar part disease and cervical part, shoulder joint part disease to application example. Because plateau potential forward player that induce using Neurac technique in part muscles that act role that keep spine surrounding stability in this article keeps muscle's contraction continuously, between global and local muscles, presented several study findings that can cause

affirmative change in insufficient muscle adjustment state such as imbalance of muscles' action order. Expect that case studies that use this Neurac technique here after consist continuously.

Key Words: Sling exercise therapy, Neurac technique, Neuromuscular activation.

교신저자 : 김선엽(대전대학교 물리치료학과, 016-530-0619 E-mail: kimsy@dju.ac.kr)

I. 슬링운동치료(sling exercise therapy)

슬링운동치료는 신경근골격계 장애를 지속적인 경감을 목적으로 슬링운동 기구를 이용한 능동적인 운동과 치료의 총체적인 개념이다(Kirksola, 2001). 슬링운동치료 개념은 물리치료분야에서 새로운 개념은 아니나 의료 선진국인 노르웨이의 물리치료사와 의사가 협력하여 1990년대 초반부터 현재까지 새로운 과학적 연구 결과들을 근거로 하여 새롭게 정립시킨 접근방법이다. 이 개념을 이용하여 현재 신경계 손상 환자나 근골격계 손상, 스포츠 손상, 소아 및 노인의 치료 그리고 일반인의 건강 증진을 위한 운동 방법으로 사용되어지고 있다. 한국은 1997년 도입되어 현재 물리치료실과 산업체 근로자의 건강관리와 치료, 특수 운동센터, 소아 치료 센터, 스포츠 센터 등에서 적용되어지고 있으며 점차 그 범위가 확대되어져 가고 있는 추세이다.

슬링운동치료에는 도움의 손(helping hands) 원리, 현수점(hanging point)의 변화(김선엽 등, 2003), 안정화(stabilization) 운동 원리, 열린 사슬(open chain) 운동과 닫힌 사슬(closed chain) 운동 원리, 신경근 조절(sensorimotor control) 운동 그리고 지렛대(lever arm)의 조절 원리 등의 이론적 개념들이 포함되어 있으며, 최근 과학적인 근거들을 기초로 신경근 조절을 위한 새로운 치료 개념인 Neurac 원리가 개발되어졌다. 또한 약화 고리(weak link) 개념을 이용한 진단과 운동 처방을 하며, 진단은 통증 발생과 운동 동작의 정확성 그리고 운동의 좌우 일치성 정도로 문제점을 찾아내어 이를 기준으로 적절한 운동치료 강도를 적용하여 치료하는 과정을 다루고 있다(Kirksola, 2005).

물리치료분야에서 슬링운동치료 개념의 장점은 특히 안정화 운동과 신경근 조절 운동 그리고 근력 강화 운동방법 중 특히 닫힌 사슬 운동에 효과적이

며 매우 쉽게 이용할 수 있다는 점이다. 또한 가정에서의 치료와 사업장의 근로자나 일반 운동센터 이용자 그리고 스포츠 선수들의 치료와 건강 증진을 위한 그룹 운동의 한 방법으로 치료용 공이나 탄력 밴드 등과 함께 적용할 때 매우 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

최근 물리치료 분야에서 많은 관심을 가지고 있는 것은 능동적으로 치료 과정에 참여하는 것이 수동적인 방법에 의한 치료에 비해 더 효과적이라는 것이며 이에 대한 많은 연구 결과들이 제시되어지고 있다. 특히 능동적인 참여를 전제로 하는 신경근 조절 운동은 환자의 재활 과정 중에 매우 중요한 부분을 차지한다. Lephart와 Henry(2000)는 신경근 조절 능력을 다시 회복하기 위해서는 다음의 요소들이 필수적이라고 제시하였다. 첫째는 단일(single) 관절의 동적 안정성(dynamic stabilization)이 필요하다. 이는 그 관절의 주동근과 길항근의 협력 수축에 의해 얻어질 수 있다. 둘째는 단일 관절의 신경근 조절 훈련(neuromuscular training)이다. 이것은 반사적 활동을 자극하는 방법과 관절의 위치를 급격히 변화시키는 방법 그리고 운동시 불안정한 지지면을 제공하는 방법으로 실시할 수 있다고 하였다. 세 번째는 전신적으로 기능적 운동 패턴(functional movement pattern)에 따른 운동을 실시해야 한다는 것이다. 이와 함께 근력 강화 운동 또한 일반적으로 실시하는 단일 근육 또는 협력근들의 근력 강화 운동보다 기능적인 근력 강화(functional strengthen) 운동이 더 중요하다고 할 수 있다.

II. 뉴랙(Neurac) 기법

Neurac이란 용어는 “신경근 활성화(neuro-muscular activation, 이하 Neurac)”의 약어로,

2005년 노르웨이의 물리치료사인 Gitle Kirkesola에 의해 제시된 신경근 조절 기법으로 통증으로 인해 억제되어져 있는 근육을 높은 강도의 동적-정적 수축 운동을 통해 신경근 자극을 가해 줌으로서 근육을 재활성화 시키는 기법이다(Kirksola, 2005). 이 연구에서는 이 최신 기법의 이론적 근거와 기법의 구성 요소들에 대해 다루어 보고자 한다.

1. Neurac 기법의 이론적 근거

Neurac 기법의 기본적인 목적은 통증과 같은 여러 가지 원인에 의해 억제되어져 있는 근육의 운동 단위들을 안정 상태(resting state)에서 활성화 상태(active state)로 만드는데 있다. 이것을 가능하게 하는 원천이 고원 전위(plateau potential)이다(Kiehn과 Eken, 1998, 1997). Brodal(2005)은 이러한 현상은 뇌 내부에서 저장되어 있는 운동 프로그램(engram)이 다른 곳으로 전이되어지는 것이라고 하였다.

Neurac 기법의 적용은 인체의 심부에 위치하고 있는 긴장성 안정근(tonic stabilizers)과 관련이 깊다. 이 근육들은 주로 관절의 주위에 위치하고 있으며, 근육내에 긴장성 섬유(tonic fibers)의 구성 비율이 높고, 많은 근방수가 분포되어 있으며, 피드퍼워드(feedforward) 기전에 중요한 역할을 하는 근육이다. Neurac 기법은 이 근육들의 역할을 재교육시키거나 억제되어 있는 작용을 재가동시키는 기법이라 할 수 있다.

1) 고원 전위(plateau potential)

통증 체계는 우리들을 우리 몸의 조직에 손상을 가져올 수 있는 외부의 위험에 대해 적절히 반응할 수 있게 한다. 기계적 자극이나 극심한 온도, 세포의 손상, 염증 등에 의해 유해성 신호(nociceptive signal)를 보내게 된다. 척수의 후각(dorsal horn)에서는 이러한 유해 자극에 대한 강력한 조절이 일어나 뇌로 전달되는 자극을 증가시키거나 억제하게 된다. 엄청난 수의 전달물질과 감각기 간의 연결이 척수 후각에서 복잡한 시냅스간의 상호 작용(synaptic interaction)을 맡게 된다. 시냅스 가소성(synaptic plasticity)은 통각 과민이나 만성 통증의 원인이 되는 신경원 흥분성(neuronal excitability)을 몇 시간에서 몇 달 동안(또는 몇 년간?) 변화시킨

다. 뇌간으로부터 내려오는 일아미노 결합(monosynaptic connection)은 유해수용기로부터 전달되는 신호를 억제하거나 촉진할 수 있다. 이러한 시스템은 척수 후각으로부터 올라가는 신호에 의해 일부는 조절되며, 또한 편도(amygdala)나 시상 하부 그리고 대뇌 피질에서 내려오는 자극에 의하여서도 일부는 제어된다. 통증의 주관적인 경험은 섬(insula), 대회절회(cingulate gyrus) 그리고 기타 다른 부위들을 포함한 대뇌 피질 네트워크 내에 활동의 증가와 관계가 있다. 이러한 네트워크의 활동은 과거 경험한 통증에 대한 기대(expectation)와 밀접한 상관관계가 있으며, 유해 자극의 종류에 따라 통증의 완화에 대한 기대가 부정적 상관관계를 가진다(Brodal, 2005).

단시간-지속성(short-lasting) 시냅스 흥분에 의한 고원 전위의 발생은 연속적인 자가-지속성 발화(self-sustained firing)를 일으키며, 단시간-지속성 시냅스 억제(synaptic inhibition)에 의해 멈추게 할 수 있다. 고원 전위의 발생으로 쌍안정성(bistable) 형태로 있는 신경원들을 발화시킬 수도 있다. 즉, 안정된 상태의 낮거나 높은 발화 주파수 간에 서로 전이되게 한다는 것이다(그림 1).

Kiehn과 Eken(1997)은 쌍안정성 발화 활동(firing behavior)과 지속적인 발화(prolonged firing)가 유발 되는가를 알아보기 위해 인간의 가지미근과 전경골근의 낮은-역치 운동단위(low-threshold units)로부터 단일 운동단위 전위(single motor-unit potential)를 측정하는 연구를 하였다. 운동신경원에 흥분성 입력(excitatory input)을 가해 주기 위해 30~100Hz로 2~10초간 근육과 건에 일률적인 진동 자극을 사용하였다.

진동 자극을 주는 동안 전기적으로 안정되어있던 근육은 흥분되어 발화되어지며, 때로 이러한 진동자극에 의한 흥분은 안정적인 발화 상태로 오랜 시간 동안 지속되는 운동단위의 동원 형태를 나타낸다. 그러나 이러한 쌍안정성 발화 활동으로 100% 설명을 하지 못하는 부분이 있다. 그 이유는 수의적인 동원 후에 인간의 낮은 역치 수준이었던 운동단위가 증가된 발화 범위(preferred firing range)로 아주 짧은 시간동안 올라가는 경향을 보인다는 점이다. 이러한 발화 범위는 진동에 의해 안정상태에서 지속적으로 발화되는 수준으로 동원되어질 때의 운동단위와 동일하다. 또 하나는 지속적인 발화 범위 내

에서 발화되어지고 있는 운동단위에 진동을 가할 때 발화 주파수의 일시적인 증가가 나타나나 지속적인 주파수의 전이는 나타나지 않는다는 것이다. 결론적으로 그들은 지속적인 발화가 단지 운동신경 원 회로의 총 시냅스 연결(common synaptic drive)의 증가로 인한 결과는 아니다 라는 것이다. 그러나 인간에게서 발생되는 지속적인 발화는 단시간-지속되는 흥분(short-lasting excitation)에 의한 반응이라고 여겨진다.

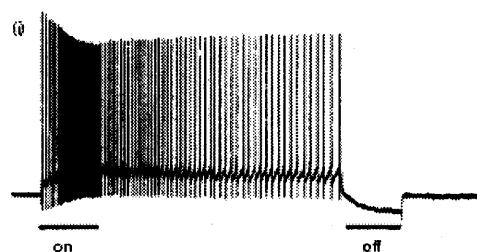


그림 1. 고원 전위(plateau potentials)의 자가-지속성 발화(self-sustained firing) (From: Kiehn O, Eken T. Functional role of plateau potentials in vertebrate motor units. Current opinion in neurobiology 1998;8:746-52)

Hultborn 등(1976)은 제뇌 고양이(decerebrate cat)의 대퇴삼두근(triceps surae)에 가해준 brief trains의 짧은 신장(진동) 자극이 증가되어진 근전도 활동을 지속적으로 발생시켰다고 보고하였다. 때로 이러한 활동은 매우 천천히 떨어졌으나 대부분 증가되어진 근전도 활동이 몇 분 동안 일정하게 지속되어지는 양상을 보였다. Granit 등(1957)은 이와 비슷한 증가된 흥분성의 유지 현상에 대해 “강축-후 전위(post-tetanic potential)”이라고 설명한 바 있다. Hultborn 등(1980)은 이러한 현상에 대해 닫혀있는 신경간 고리(interneuronal loops)내에서 발생되는 반향 작용(reverberating activity)에 의한 것이라 하였다.

여러 연구들을 통해 밝혀진 것은 단순한 흥분성 자극을 가해 준 후에 근육내에 일정한 수준의 운동 전위가 근 내부에 발생되어 유지되어진다는 것으로, 운동신경원내에 일정기간 내재 전위(inward current)가 발생되어진다는 사실이다(Schwindt와 Crill, 1980; Hounsgaard 등, 1988; Conway 등, 1988).

운동신경원 내에서의 자가-지속성 발화(self-sustained firing) 현상은 탈분극성(depolarizing) 전기자극에 의해 발생되며, 과분극성(hyperpolarizing) 자극에 의해 중단되어진다. 자발적인 안정 상태(spontaneous steady firing)에 있는 운동신경원에 자극을 주었을 때 대부분 두 종류의 안정 수준(쌍안정성 발화, bistable firing)의 발화 주파수로 교체되어진다. 전기 자극이 가해지는 동안 발생되어지는 고원 전위는 매우 독특한 주파수 가속(frequency acceleration) 현상을 나타내는데, 발화의 적응(firing adaptation)과 관련된 과거의 연구들에는 이 부분이 대해 자세히 설명되어진바가 없다. 이러한 내재 전류의 작용 특성은 길게 지속되며(long delay) 느리게 개시(slow onset)되는 양상을 보인다.

2) 통증의 근육 작용 억제

통증은 인간의 손상에 대한 방어 기전의 하나로 알려져 있으며, 인체의 자유로운 움직임과 이를 방해 하는 요인 중 하나인 통증의 조절과 치료는 물리치료 분야의 큰 부분을 차지하고 있다. 물리치료사는 환자에게 발생된 통증을 조절하여 정상적인 신경근 조절 작용을 만들어내는 일을 하고 있으며, 이에 대한 치료적 근거를 마련하기 위해 많은 연구자들이 통증이 근육의 작용에 미치는 영향에 대해 연구하고 있다. 인간의 신경근 조절 능력은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받을 수 있으며, 그 요인 중 통증은 매우 심각한 요인이라 할 수 있다.

통증과 근육 작용과의 상호 관련성은 여러 특성이나 시간적 요인에 의해 다양성을 보인다. 예를 들어, 통증 기간(오래된(tonic) 또는 빠르게 발생된(phasic) 통증), 심부나 천총부의 통증 그리고 발생부위(원위부 혹은 근위부 통증) 등에 따라 차이가 있으나, 일반적인 현상은 통증이 뇌의 운동 피질(motor cortex)과 척수 운동신경원의 흥분성을 억제하게 된다는 것이다(Farina 등, 2003; Le Pera, 2001). Rossi 등(2003)은 지속적인(tonic) 근육통이 대뇌피질에서 일어나는 초기 체성감각(somatosensory) 처리 과정에 영향을 주어 유해성 자극에 대한 자기보호 반응을 위한 운동조절 능력에 변화를 가져올 수 있으며, 이것은 입력되는 고유 수용감각의 통합 처리하는 과정에 문제로 인한 것으로 여겨진다고 하였다. 이와 같은 원인에 의해 통증이 발생된 사람들의 근육 조절은 변화가 발생된

다. Leinonen 등(2001)과 Radebold 등(2000)은 상지에 예상하지 못한 부하를 가할 때 요추부 근육의 반응을 조사한 결과, 요통 환자들이 무증상자에 비해 요추 부척주근의 피드워드 조절 능력이 더 떨어졌다고 하였다. 이러한 근육의 지연된 반응과 부적절한 근육 동원 상태는 요추부 손상의 전조(predisposing) 요인이 될 수 있다.

근육의 통증은 근신장에 의한 신장 반사(stretch reflex)와 근방추(fusimotor muscle spindle) 시스템에 영향을 주며(Thunberg 등, 2002) 운동 단위의 발화율(Farina 등, 2004)을 감소시킨다. 그러나 신경전도 속도에는 영향을 미치지 않으며 이러한 현상의 주원인은 신경 중추로부터 기인한다고 한다(Farina, 2005). Matre 등(1998)은 가지미근과 전거근에 인공적으로 발생시킨 통증에 의해 신장 반사가 통증 발생 이전에 비해 상대적으로 유의하게 증가하였다고 하였다. 이는 자극에 의해 통증이 발생되는 동안 동적 감마 운동 신경원(dynamic gamma motoneurons)의 발화율(firing rate)을 증가시킴으로 인해 결국 근방추의 동적 감수성을 증가시킨 것으로 설명할 수 있다. 또한 근육에 발생된 통증 자극은 주동근과 길항근 모두의 근활성도를 증가시킴으로 근육간의 상호 작용에 영향을 미칠 수 있다. Graven-Neilsen 등(1997)은 전경근에 인위적으로 통증을 발생시킨 결과, 정적 수축과 동적 수축시 전경근 뿐만 아니라 길항근인 가지미근의 근활성도도 통증 발생 이전에 비해 유의하게 증가하였다. 이러한 현상은 통증발생 근육에 대한 보호성 반응으로 여겨지며, 길항근의 활성도 증가는 운동을 제한시키기 위한 근육 협응에 대한 기능적 적응(functional adaptation) 반응이라 할 수 있다.

또한 열이나 전기자극에 의해 피부에 발생된 통증에 의해서도 근육은 영향을 받는다(Valeriani 등, 2001; Johansson 등, 1989). Valeriani 등(1999)은 레이저 자극으로 손등의 피부에 발생시킨 통증이 대뇌의 근수축을 담당하는 부위에 흥분성을 억제시켜 손의 제1 배측 골간근의 근수축의 강도가 낮아짐을 발견하였다.

수세기 동안 학자들은 말초부위에서 시작한 상행성 유해성 자극이 시상과 대뇌피질로 전달되는 경로를 밝혀내기 위해 많은 연구를 했음에도 여전히 이에 대한 해부학적, 생리학적 특성을 이해하는데 어려움이 있다. 최근 양전자 방사 단층 촬영법

(positron emission tomography)과 기능성 자기공명 촬영법(functional magnetic imaging)을 이용하여 피부 유해 자극에 반응하는 대뇌와 뇌간의 여러 부위를 밝혀내고 있다(Hudson, 2000).

위와 같은 연구 결과들을 근거로 하여 인식해야 할 것은 현재 몸에 통증으로 인한 불편함을 경험하고 사람들의 근육들의 작용을 통증이 없는 상태와는 다른 양상을 보이며 이에 대한 이해를 한 상태에서 치료나 운동을 실시해야 한다는 것이다. 우선적으로 통증 문제의 해결이 필요하며 만성적으로 통증을 경험한 경우 그로 인한 운동 조절 상태의 변화를 정상화 시키는 과정이 치료 단계 중에 반드시 포함되어져야 할 것이다.

2. Neurac 기법의 기본 요소

1) 닫힌 사슬 운동(closed kinetic chain, CKC)

운동의 형태를 구분하는 방법 중 하나가 열린 사슬 운동(open kinetic chain, OKC)과 닫힌 사슬 운동이다. 이 두 형태의 운동은 각 특성에 따라 환자에게 적절한 운동치료 처방이 이루어져야 하며, 환자의 상태에 따라서도 각 형태의 운동을 적절히 선택되어져야 한다(Harter, 1996; Pincivero 등, 1997).

Neurac 기법에서는 특히 닫힌 사슬 운동을 이용하게 되는데, 여기서 이 운동의 특성에 대해 다루어 보고자 한다. 과거에 이 운동의 정의는 관절 중심으로 운동 방식을 규정하고 있었으나 현재는 관절보다는 근육의 역할 중심으로 각 운동을 정의 내리고 있다.

일반적으로 열린 사슬 운동은 단관절(single joint) 운동이라고도 칭하며, 주로 손상 후 초기 상태에 운동치료시, 통증이 발생되고 있거나 근약화가 현저한 경우 이용한다. 이 운동은 단일 동작을 수행하는 주동근이나 협력근의 개별적인 운동에 적합한 방식이며, 일상생활동작의 수행이나 스포츠 활동 등의 기능적인 활동 향상과는 직접적인 관련성이 적은 운동이라 할 수 있다. 이 운동은 근력 강화 운동이나 지구력 운동 시에 적합한 운동이다. 열린 사슬 운동은 움직임이 일어나는 관절의 원위 지점의 끝부분에 운동을 하는 사람의 체중 부하가 가해지지 않고 자유롭게 움직일 때 일어난다(그림 2).



그림 2. 견관절 굴곡의 열린 사슬 운동

이에 반해 닫힌 사슬 운동은 기능적인 운동이나 훈련에 적합한 방법으로 운동 시에 관절내에 압박력이 발생되어지므로 관절의 안정성을 향상시킬 수 있는 이점이 있다. 또한 주동근 이외에서 길항근과 협력근 모두 작용하는 공동 수축이 일어나게 되므로 관절의 안정성 향상에 중점을 두고 있는 안정화(stabilization) 운동시에 적합한 방식이다. 이 운동을 이용해 안정성 강화, 근력과 지구력 강화 그리고 감각운동(sensorimotor) 통합 훈련 시에 이용할 수 있다. 이 운동은 움직임을 일으키는 관절들의 원위부 말단부에 체중 부하가 일어날 때 발생된다(그림 3).

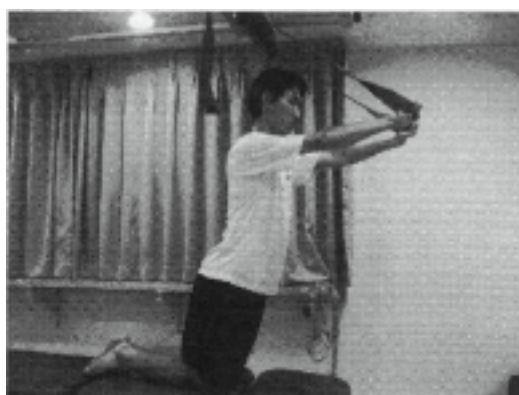


그림 3. 견관절 굴곡의 닫힌 사슬 운동

Neural 기법을 적용시 체중 부하를 통한 강한 저항을 제공하게 되므로 관절의 안정성 유지는 필수적인 전제 조건이 된다. 운동 발생 부위의 근육들의 공동 수축을 관절이나 연부 조직의 손상 발생을 예방해 줄 것이다.

2) 불안정한 지지면(unstable base of support)

어떠한 운동 시에 지지면을 제공하는 체간부나 근위부의 안정성 유지는 기본적으로 필요한 요건이다. 지지면의 불안정 상태는 안정한 상태에서 매우 다른 운동 효과를 발휘하게 된다. 현재 많은 연구 결과들이 감각운동 통합(sensorimotor integration) 운동의 필요성과 불안정한 지지면의 제공으로서 이 운동을 얻어낼 수 있다는 것들이 제시되어져 왔다. 기능적 근력강화(functional strengthening) 운동이란 방법론적으로 지지면이 불안정한 상태로 운동이 일어나는 관절에 체중이 부하된 상태에서 일어나는 근력 강화운동을 의미한다. 이러한 운동은 일반적이며 단순한 아령과 같은 부하를 이용한 열린 사슬 운동 방식의 근력 강화운동보다 더 기능적일 수 있다. 즉 일상생활 동작의 수행이나 스포츠, 근로자의 작업 능력에 질적 향상을 가져올 수 있는 운동이라 할 수 있다. 실험적으로 고정된 지지면에서 보다 불안정한 지지면에서의 운동시 근육에서 발휘되는 근활성도(muscle activity)가 더 증가함을 볼 수 있다(박수경, 2005; 최희수 등, 2005; 오재섭 등, 2003). 불안정한 지지면에서의 운동은 인체의 심부 안정성(deep stability)을 향상시킬 수 있어 안정화 운동시에 이 요소가 적용될 수 있다. Panjabi(1992)는 안정성의 기본 요소를 세 가지 체계 즉, 수동적(pассивный) 체계와 능동적(активный) 체계 그리고 신경(нейральный) 체계라고 제시한 바 있다. 이 체계들은 기능적으로 상호 영향을 주고 있으며 어느 한 요소의 장애에 의해서도 서로 악영향을 미칠 수 있다. 또한 신체의 균형적 유지를 위해서는 반드시 이 세 가지 요소 모두에 영향을 줄 수 있는 방법을 모색해야 한다.

3) 강한 부하/긴 시간(heavy load/long period time)

Neurac 기법에서는 환자의 약화-고리(weak-link) 검사를 통해 통증이 발생되지 않는 수준의 최대 강도로 5-6회의 강한 부하를 적용한다. 운동의 초기에는 부하에 대해 지탱하는 지속 시간을 5-6초 정도로 실시하도록 하지만 점차 각 동작을 유지하는 시간을 점진적으로 증가시키도록 한다.

4) 무통증(no pain)

운동 중에 발생되는 통증은 운동 효과에 전혀 기여하지 않는 요소이므로 절대로 운동 중에 통증이 유발되지 않도록 극히 주의해야 한다. 많은 연구들을 통해 통증이 인체의 운동과 기능 수행이 나쁜 영향을 준다고 밝혀지고 있다.

근육에 발생된 통증은 Ia 신경섬유의 신경연접전통분성(presynaptic excitation)에 변화를 가져온다. Rossi 등(1999)은 발의 단지신근(extensor digitorum brevis)에 화학적 자극으로 유발시킨 인위적 통증에 의해 그 근육으로부터 올라가는 Ia 신경섬유의 흥분은 억제되고, 길항근인 비복근으로 가는 운동신경의 흥분을 억제시키는 Ib 신경섬유가 억제되어졌다고 하였다.

낮은 강도의 근 수축을 할 때 발생되는 통증은 근육의 적응 능력으로 인해 근육에 큰 영향을 주지 않을 수 있다고 한다. Brich 등(2000)은 인위적으로 발생시킨 통증에 대한 손목 신전근과 길항근인 손목 굴곡근의 반응을 근전도 검사를 이용해 조사한 결과, 최대 근수축(maximal voluntary contraction)의 10% 수준인 낮은 강도의 운동시 통증은 근육의 평균 발화율에 영향을 미치지 않았다고 하였다.

근육의 통증이 신경학적으로 어떤 영향을 주는지를 연구할 때 많은 연구자들이 인위적인 통증을 유발시키기 위해 고장 식염수(hypertonic saline)를 이용하고 있다. Zedka 등(1999)은 실제 요통 환자에게서 나타나는 운동 패턴의 변화와 고장 식염수를 이용해 인위적으로 발생시킨 통증에 의한 체간부 근육의 근전도 양상과 운동 패턴의 변화가 서로 유사하다고 하였다.

결론적으로 통증을 경험하고 있는 사람들의 적절한 치료와 재활을 위해서는 우선적으로 통증을 제거하는 처치가 필수적이며, 치료나 운동 중에 통증의 발생은 절대적으로 피해야 하는 것이 중요하다.

3. Neurac 기법의 적용 방법

위에서 언급한 여러 요소들을 기본으로 한 Neurac 기법의 적용은 우선 적절한 진단 과정이 필수적이다. 즉, 기능장애의 원인되는 약화 고리(weak link)를 찾아야 한다. 이 기법은 찾아낸 약화 고리를 정상화시키는데 목적이 있다.

Neurac 기법의 과정을 요약하면 다음과 같다;

- 1) 문제가 있는 부위의 약화 고리를 찾는다.

- 2) 강한 부하의 운동을 적은 횟수(5-6회) 반복한다.
- 3) 운동의 수행이 가능하면 부하의 수준을 점진적으로 증가시킨다.
- 4) 운동의 유지 시간을 점진적으로 증가시킨다.
- 5) 운동 중에 슬링에 진동 자극을 첨가한다.
- 6) 운동 중에 통증이 발생되어져서는 안된다.
- 7) 운동 중에 몸의 불균형이나 흐트러짐이 관찰되어져서는 안된다.
- 8) 항상 적용전 검사와 후 검사를 실시한다.

III. Neurac 기법의 임상적 적용

1. 경추부 기능장애의 Neurac 기법

다음은 경추부 기능장애의 기본적인 Neurac 기법 중 3가지를 제시하였다. 우선 경추부 주위 근육들의 동원 형태를 적절히 변화시키기 위한 셋팅(setting) 운동으로 시작할 수 있다. 다음의 세가지 운동법 중 두 가지는 이 셋팅 운동에 해당하는 기법이다. 첫 번째 기법으로 바로 누운 자세에서 비탄력 슬링으로 머리를 지지한 상태에서 치료사의 양손으로 경추부를 가볍게 잡는다(그림 4).

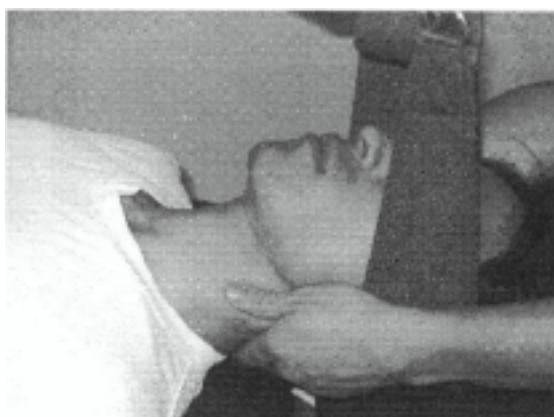


그림 4. 바로 누운 자세에서의 경추부 Neurac 기법

치료사의 양손의 엄지는 흉쇄유돌근 위에 가볍게 올려놓고 나머지 손가락들은 경추부의 후방부를 잡는다. 양 손으로 동시에 경추부와 머리 후방부를 상방으로 부드럽게 당기면서 엄지로 흉쇄유돌근을 가

볍게 눌러 경추의 전만각이 경미하게 줄어들게 한다. 환자에게 그 상태로 그대로 유지하게 한 다음, 6~7초간 유지한 다음 천천히 목에 힘을 빼는다. 이때 환자의 턱이 천장쪽으로 미세하게 올라가는가를 관찰한다.

두 번째 기법은 엎드린 자세에서 실시하는 방법이다(그림 5). 치료대 위해 엎드린 채로 비탄력 슬링 위로 이마 부위가 오게 한다. 치료사의 양손으로 경추부를 가볍게 잡는다. 양손의 엄지는 경추의 후방 중앙부에 오게 하고 나머지 손가락들은 흉쇄유돌근의 전방부를 가볍게 댄다. 치료사의 양손으로 잡은 경추부를 동시에 머리쪽과 천장 방향으로 가져간다. 이때 매우 미세하게 경추부의 전만각이 감소하게 되고 턱이 천장쪽으로 올라가게 된다. 환자에게 그 자세로 약 6~7초간 유지하도록 하고 천천히 힘을 빼라고 한다. 이때 턱이 치료대쪽으로 약간 내려가면서 목의 후방부에 작은 주름이 관찰되기도 한다. 치료사가 몇 번 수동적으로 이 자세를 만들어 유지하는 과정을 반복하고 후에는 환자가 스스로 이 자세를 만들어 낼 수 있도록 교육한다. 이 운동은 주로 10번 정도 반복하나, 만약 경추부 주위에 피곤이 발생될 때는 운동을 중단한다.

경추부의 기본적인 셋팅 동작을 취한 다음 점진적으로(progressive) 운동 부하를 증가시키는 여러 가지 방법들이 연합하여 실시할 수 있다. 여기에서는 한가지 상지의 내전-외전 운동을 연합하는 방법을 소개하고자 한다(그림 6).

바로 누운 자세에서 탄력성 줄로 머리를 지지하게 하고, 상지의 근위부와 손목 부위에 비탄력 슬링으로 그림 5와 같은 자세를 취하게 한다. 운동은 먼저 경추부의 전만각을 약간 줄여주는 경추부 셋팅 자세를 만들게 하고 그 자세를 유지할 채로 상지의 내전-외전 운동을 반복하게 한다. 중요한 것은 상지의 운동을 반복하는 동안 경추부의 자세를 그대로 유지해야 하며, 상지의 운동이 끝난 다음, 경추부에 힘을 빼도록 주의해야 한다.

이 운동은 상지의 기능장애시에도 적용할 수 있는데 그 경우에는 상지에 근위부나 원위부의 슬링은 탄력성 줄로 바꾸어 상지가 탄력 저항에 대항하며 생역학적으로 적절한 위치에 오게 한 상태를 유지하면서 내전-외전 동작을 반복하게 한다. 이 운동은 특히 끼임 증후군 증상이 있는 견관절 장애에게 효과적인 운동이라 할 수 있다. 위의 운동들은

엎드린 자세에서 같은 원리로 실시할 수도 있다.



그림 5. 엎드린 자세에서의 경추부 Neurac 기법



그림 6. 상지의 외전-내전 운동과 연합한 경추부 Neurac 기법

2. 상지 기능장애의 Neurac 기법

상지의 근육에 발생되는 통증은 상지의 동적 움직임에 영향을 미친다. 통증이 발생된 근육의 작용은 억제되어지면 상승모근과 같은 근육의 작용은 증가하게 된다(Ervilha 등, 2005). 이와 같이 통증은 통증이 발생된 부위의 주위 근육들에 운동 조절에 영향을 미치므로 과도한 운동이나 지속적인 동작을 반복하게 되는 직장이나 운동선수 등에게 누적성 손상의 발생 가능성이 높으며 이에 대한 예방이 필요하다.

상지의 기능적인 사용에 견갑골과 상완골의 안정성 유지는 매우 필수적이며 이 두 골의 움직임에

관여하는 짹힘이 적절하게 일어나게 하는 것이 중요하다. 상지의 기능장애시 흔히 발생되는 견갑골 조절 장애의 경우 특히 상승모근의 억제와 하승모근과 전거근의 촉진이 일반적으로 필요하다. 상완골의 경우 상지 거상시 상완골이 적절히 조절되게 하기 위해서는 회전근개의 근력 강화와 삼각근의 억제가 필요하다.

다음은 상지의 기능장애에 대한 슬링운동 방법 중 Neurac 기법을 적용하는 방법을 몇 가지 소개하고자 한다. 먼저 상지 및 견갑대 주위 근육들의 기능장애와 관련하여 최근 운동 효과가 좋다고 알려져 있는 팔굽혀 펴기+(push up plus) 운동시 Neurac 기법의 적용방법이다(그림 7). 먼저 환자의 상태에 따라 서서 하거나 무릎으로 선 자세에서, 슬링의 위치와 서 있는 위치를 선정한 후 체간부위는 곧게 편 상태로 상지로만 팔굽혀 펴기를 실시한다. 가능한 한 최대 능력을 발휘하여 5-6회 정도 반복 할 수 있게 운동 부하를 정한다. 이때 통증이나 체간부의 불균형이 발생되어서는 안된다. 그리고 이 운동 과정 중에 치료사는 슬링의 양 줄을 잡고 진동 자극을 가해 준다. 이 운동은 특히 견갑골 안정근이 전거근의 적절히 촉진하여, 상지의 굴곡 장애가 있는 환자에게 효과적인 방법으로 사용되어지고 있다.

그림 8은 슬링을 이용한 상지의 외회전근 근력 강화 운동이다. 이 운동은 상지의 외전 동작을 향상 시켜주는데 큰 도움이 되는 운동이다. 먼저 환자의 상태를 고려하여 슬링 줄의 높이와 앓아 있는 위치를 결정한다. 운동은 그림과 같이 앓거나 서서 할 수 있다. 만약 운동 중에 통증이 발생되거나 체간부나 상지의 불균형이 발생되면 운동 부하를 낮추기 위해 줄의 높이를 높이거나 앓아 있는 위치를 더 머리 쪽으로 올라가 않게 한다. 최대 운동 수행 능력을 5-6회 정도 할 수 있도록 운동 강도를 정하고 실시한다. 운동이 일어나는 동안 치료사는 슬링의 줄을 잡고 진동 자극을 가해 준다.

3. 요추부 기능장애의 Neurac 기법

만성 요통 환자들이 경험하고 있는 통증은 여러 가지 경로를 통해 근육의 작용을 억제 또는 과도하게 촉진하는 현상을 보인다. 특히 통증과 근육 억제와의 관계를 입증하기 위한 많은 연구들이 이루어

진 바 있다(Verbunt 등, 2005; Valeriani 등, 2001; Matre 등, 1998).

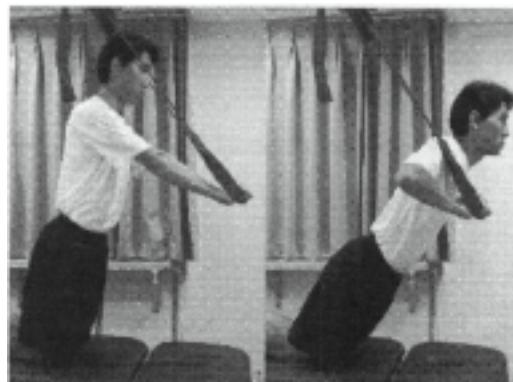


그림 7. 상지 팔굽혀 펴기+(push-up plus) 운동을 이용한 Neurac 기법

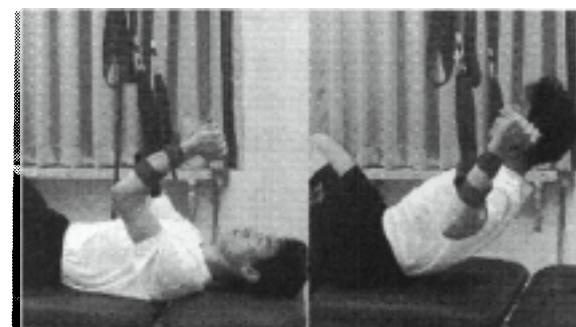


그림 8. 상지 외회전 운동을 이용한 Neurac 기법

사람이 사지를 움직일 때 우선적으로 척추의 안정화 상태를 만들기 위해 체간부의 복횡근이 가장 먼저 활성화된다. 이렇게 미리 준비되는 과정은 피드워드(feedforward) 반응이라 할 수 있다. 그러나 요통 환자에게서 상지의 운동시 복횡근의 작용이 느려지거나 약화되어지고(Hodges 등, 2003) 체간부 근육들의 동원(recruitment) 상태에 변화를 보이는데(Hodges 등, 2001) 이러한 변화는 중추신경계의 운동 반응 계획(planning of motor response)의 변화나 지연된 하행성 운동 명령(descending motor command) 체계의 전달에 의한 것으로 여겨진다. 이러한 부적절한 피드워드 작용은 재손상과 합병증의 원인이 될 수 있어, 복횡근과 같은 심부 근육들의 재활성화는 요통 환자의 치료에 매우 필수적인 요소라 할 수 있다.

요통 환자에게 있어서 척추 안정근 중 하나인 다

다열근의 상태를 매우 중요하다. 다열근의 상태를 알아보기 위해 초음파 영상(ultrasound imaging) 검사가 많이 사용되어지고 있다. 정상인에 다열근의 단면적은 남자가 여자 보다 더 크며, 연령에 따라 영향을 받지 않고, 요추 5번에서 가장 크다. 그리고 좌우측의 다열근의 크기의 차이는 10% 미만이다 (Stokes 등, 2005). Hides 등(1994)은 급성/아급성 요통 환자의 다열근의 위축 상태를 알아보기 위해 실시간 초음파 검사를 통해 정상인과 비교하였다. 요추 2번에서 5번까지 좌우측 다열근의 단면적을 비교한 결과 요통 증상이 발생된 쪽이 반대쪽에 비해 $31 \pm 8\%$ 더 적었으며, 비대칭 정도와 증상의 심각성 간에는 상관성은 없었다고 하였다. Zhao 등 (2000)도 추간판 탈출증에 의한 요통 환자가 정상인에 비해 추간판이 탈출된 쪽의 다열근이 상대적으로 더 적었으며, 근섬유 형태 즉 I형과 II형 섬유의 변화 상태는 추간판이 탈출된 특성에 따라 차이가 있었다고 하였다. Barker 등(2004)은 12주 이상 지속된 요통 환자들의 다열근과 요근(psoas)의 단면적을 비교한 결과, 증상측이 비증상측에 비해 더 적었으며, 요근의 감소 비율과 통증의 정도, 증상의 기간 간에 양의 상관관계가 있었고, 다열근의 단면적 감소 비율과 증상의 기간 사이에도 관련성이 있다고 하였다. 이러한 다열근의 위축은 이차적으로 문제의 원인이 될 수 있으며, 이러한 근위축의 원인은 불용성 위축(disuse atrophy)에 의한 것인지 척수 반사 억제(spinal reflex inhibition)에 의한 것인지 아직 확실하게 밝혀지지 않고 있다. 요통 환자에게 다열근의 위축 예방과 근력 강화는 필수적인 요소라 할 수 있다.

Danneels 등(2001)은 세 가지 안정화 운동 방법에 따른 다열근의 단면적 크기 변화에 차이를 실험하였다. 59명의 요통 환자를 세군으로 무작위 배정하여 10주간의 안정화 운동을 적용하였다. 1군은 기초적인 안정화 운동의 원리를 적용하였다. 요주의 생리학적 전만각을 찾아 유지하게 하고 체간부의 최대 근력에 30% 수준의 저항을 가해주는 동적인 기능 훈련을 실시하였고, 2군은 네발기기 자세에서 하지를 신전하는 운동과 옆드린 자세에서 체간부의 신전 운동과 하지의 신전 운동을 동적으로 구심성 수축과 원심성 수축이 반복적으로 일어나게 하였다. 3군은 2군과 같은 방식의 운동을 실시하면서 구심성 수축과 원심성 수축 사이에 5초간 정적 수축을

첨가하였다. 운동 적용 전과 후에 요추 3번과 4번 주위의 다열근에 단면적을 초음파 검사로 비교한 결과, 3군만이 운동 적용전과 후에 다열근 단면적의 유의한 증가가 있었다고 하였다. 결론적으로 안정화 훈련시 점진적인 동적-정적 저항(progressive dynamic-static resistance) 요소가 포함되어지는 것이 더 효과적이라고 할 수 있다.

그림 9는 모든 안정화 운동의 기본 요소인 심부근 즉 복횡근과 다열근의 준비를 위한 셋팅 운동을 옆드린 자세에서 실시하는 방법이다. 옆드려 상체를 주관절로 지지한 자세에서 먼저 골반과 하복부 부위에 탄력 슬링을, 상지와 하지에는 비탄력 슬링을 적용한 상태를 만든다(그림 10). 이 자세에서 복부를 천장 방향으로 약 1-2mm 정도 들어 올리게 시킨다. 그 자세를 5-6초간 유지하게 한다. 그림 11은 요추부 장애의 치료를 위한 기본적인 슬링 운동 방법 중 Neurac 기법의 적용법 중 하나이다.



그림 9. 옆드린 자세에서의 요추부
안정화를 위한 슬링 운동법

그림 10과 같은 자세를 취하고 환자의 복부가 베개 위에 올려놓은 상태에서 체간부에 힘을 주어 척추를 곧게 펴 요추 전만각을 줄여주게 한다. 이때 통증이 일어나지 않게 해야 하면 통증이 발생되면 운동의 부하를 줄여주어야 한다. 통증 없이 정확한 동작이 이루어질 때 치료사는 슬링의 줄을 잡고 진동 자극을 가해준다. 이 자세를 5-6초간 유지한 후 복부를 베개 위에 내려놓고 쉰다. 이 과정을 5-6번 반복한다. 기본적으로 복부 심부 근육의 셋팅 과정은 반드시 이루어져야 하는 것을 명심해야 한다.

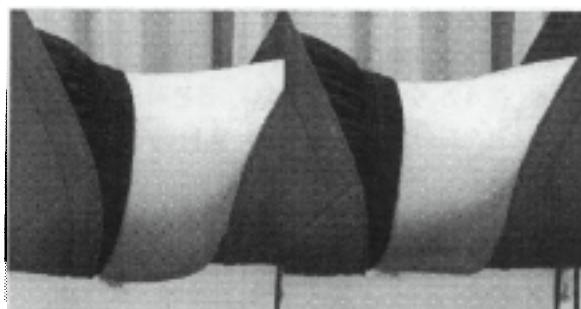


그림 10. 슬링을 이용한 요추부 안정화 운동. 복부 심부근 수축 운동.

운동의 부하를 증가시키는 방법은 여러 가지 자세에서 적용하는 방법이 있을 것이다. 운동 부하가 점전적으로 증가시킴에 따라 그림 11과 같이 상지를 지지하는 비탄력 슬링과 복부에 대었던 탄력 슬링을 제거하는 자세로 진행한다. 하지의 적용하는 비탄력 슬링도 단계적으로 한쪽 다리만을 지지하는 단계로 진행한다.



그림 11. 옆드린 자세에서 요추부 안정화를 위한 하지 외전 운동과 Neurac 기법.

IV. 결 론

슬링운동치료 기법은 물리치료의 발전과 함께 성장되어 오다가 1990년대 초반부터 물리치료 선진국인 노르웨이의 물리치료사와 의사들에 의해 새롭게 개선되어진 발달된 슬링운동치료 기법이 제시되어 졌고, 현재까지 꾸준히 발전되어지고 있다. 슬링운동치료의 장점은 과학적인 연구 결과들을 기반으로

유연성 있는 학문적 특성을 가진다는 점이며, 임상적으로 기능적 근력 강화와 감각-운동 통합 훈련을 어느 다른 운동접근 방법 보다 더 이상적으로 적용할 수 있다는 것이 장점이다. 슬링운동장비는 개별적인 도수치료나 운동치료의 도구로 사용되어질 수 있으며, 치료용과 함께 그룹 운동의 도구로도 매우 유용하게 사용될 수 있다.

이 연구에서는 최근 특히 만성 근골격계 장애 환자의 치료 방법으로 제시되어진 Neurac 기법 즉 신경근 활성화 기법(neuromuscular activation techniques)의 이론적 근거와 임상적 적용방법에 대해 여러 연구 결과들을 통합하여 정리를 해 보았다. 만성 환자에게서 관찰되어질 수 있는 심부 안정화 근육들의 약화와 이와 관련된 근육들의 동원 상태의 변화, 근작용 순서의 변화, 통증에 의한 근조절 능력의 변화와 신경근 작용에 미치는 영향 등에 대해 알아보았다. 통증이 근조절에 미치는 영향을 비정상적인 운동 패턴으로 나타나 운동이나 작업에 의한 손상이나 재발로 연결될 수 있는 근거가 제시되었으며, 이를 개선하기 위해 통증에 의해 억제되어 있는 근육을 다시 활성화 시키는 방법을 제시하였다. 그 기법의 기본 요소로, 심부 근육들의 활성화를 통한 근위부의 안정성 확보 방법 그리고 억제되어 있는 근육을 재활성화 시키기 위해 불안정한 지지면이 이용되는 근거, 달힌 사슬 운동방법의 장점 그리고 통증을 발생시키지 않는 범위내에서 강한 운동 부하를 적용하는 원리 등의 기본 요소들에 대해 다루어 보았다. 이 기법을 통해 오랜 시간 통증으로 일상생활에 지장을 받았던 많은 사람들이 고통으로부터 벌어서 건강한 일상생활로 복귀되기를 바란다.

참고문헌

- 김선엽, 김택연, 박성진. 슬링운동에서 Hanging point의 원리와 임상적 적용. 대한정형도수 치료학회지 2003;9(2):25-45.
박수경. 안정한 지지면과 불안정한 지지면에서 팔굽혀펴기 운동 시 견갑골 주위 근육의 근활성도 비교. 부산가톨릭대학교 보건과학대학원 물리치료학과 석사학위 청구논문. 2005
오재섭, 박준상, 김선엽, 등. 슬링(sling)과 고정된 지지면에서의 팔굽혀펴기 동작 시 근 활성도 비교. 한국전문물리치료학회지

- 2003;10(3):29-40.
- 최희수, 권오윤, 이충희, 등. 요부 안정화 운동에 따른 몸통 근육들의 근활성도 비교. *한국전문 물리치료학회지* 2005;12(1):1-10.
- Farina D, Arendt-Nielsen L, Graven-Nielsen T. Experimental muscle pain decreases voluntary EMG activity but does not affect the muscle potential evoked by transcutaneous electrical stimulation. *Clin Neurophysiol*. 2005;116(7):1558-1565.
- Birch L, Christensen H, Arendt-Nielsen L, et al. The influence of experimental muscle pain on motor unit activity during low-level contraction. *Eur J Appl Physiol*. 2000;83(2-3):200-206.
- Brodal P. The neurobiology of pain. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2005;8:125(17):2370-2373.
- Conway BA, Hultborn H, Kiehn O, et al. Plateau potentials in alpha-motoneurons induced by intravenous injection of L-dopa and clonidine in the spinal cat. *J Physiol*. 1988;405:369-384.
- Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC, et al. Effects of three different training modalities on the cross sectional area of the lumbar multifidus muscle in patients with chronic low back pain. *Br J Sports Med*. 2001;35(3):186-191.
- Ervilha UF, Farina D, Arendt-Nielsen L, et al. Experimental muscle pain changes motor control strategies in dynamic contractions. *Exp Brain Res*. 2005;164(2):215-224.
- Farina D, Arendt-Nielsen L, Merletti R, et al. Effect of experimental muscle pain on motor unit firing rate and conduction velocity. *J Neurophysiol*. 2004;91(3):1250-1259.
- Farina S, Tinazzi M, Le Pera D, et al. Pain-related modulation of the human motor cortex. *Neurol Res*. 2003;25(2):130-142.
- Granit R, Phillios CG, Skoglund S, et al. Differentiation of tonic from phasic alpha ventral horn cells by stretch, pinna and crossed extensor reflexes. *J Neurophysiol*. 1957;20(5):470-481.
- Graven-Nielsen T, Svensson P, Arendt-Nielsen L. Effects of experimental muscle pain on muscle activity and co-ordination during static and dynamic motor function. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1997;105(2):156-164.
- Harter RA. Clinical rationale for closed kinetic chain activities in functional testing and rehabilitation of ankle pathologies. *J Sport Rehab* 1996;1:13-24
- Hides JA, Stokes MJ, Saide M, et al. Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine*. 1994;19(2):165-172.
- Hodges PW, Moseley GL, Gabrielsson A, et al. Experimental muscle pain changes feed-forward postural responses of the trunk muscles. *Exp Brain Res*. 2003;151(2):262-271.
- Hodges PW. Changes in motor planning of feedforward postural responses of the trunk muscles in low back pain. *Exp Brain Res*. 2001;141(2):261-266.
- Hounsgaard J, Hultborn H, Jespersen B, et al. Bistability of alpha-motoneurons in the decerebrate cat and in the acute spinal cat after intravenous 5-hydroxytryptophan. *J Physiol*. 1988;405:345-367.
- Hudson AJ. Pain perception and response: central nervous system mechanisms. *Can J Neurol Sci*. 2000;27(1):2-16.
- Hultborn H. Plateau potentials and their role in regulating motoneuronal firing. *Adv Exp Med Biol*. 2002;508:213-218.
- Johansson H, Sjolander P, Sojka P, et al. Effects of electrical and natural stimulation of skin afferents on the gamma-spindle system of the triceps surae muscle. *Neurosci Res*. 1989;6(6):537-555.

- Kiehn O, Eken T. Functional role of plateau potentials in vertebrate motor neurons. *Curr Opin Neurobiol.* 1998;8(6):746-752
- Kiehn O, Eken T. Prolonged firing in motor units: evidence of plateau potentials in human motoneurons? *J Neurophysiol.* 1997;78(6):3061-3068
- Kirkesola G. S-E-T advanced level 1-U. The upper body. Seminar workbook. S-E-T Kompetanse AS. Norway, 2005
- Kirkesola G. Sling exercise therapy(S-E-T): a total concept for exercise and active treatment of musculoskeletal disorders. *J Korean Orthopedic Manual Physical Therapy* 2001;7(1):87-106.
- Le Pera D, Graven-Nielsen T, Valeriani M, et al. Inhibition of motor system excitability at cortical and spinal level by tonic muscle pain. *Clin Neurophysiol.* 2001;112(9):1633-1641.
- Leinonen V, Kankaanpaa M, Luukkonen M, et al. Disc herniation-related back pain impairs feed-forward control of paraspinal muscles. *Spine.* 2001;26(16):E367-372.
- Lephart SM, Henry TJ. In: Lephart SM, Fu FH. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Human Kinetics, Champaign IL. p405-413, 2000
- Matre DA, Sinkjaer T, Svensson P, et al. Experimental muscle pain increases the human stretch reflex. *Pain.* 1998;75(2-3):331-339.
- Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part 1. Function, dysfunction adaptation and enhancement. *Journal of Spinal Disorder.* 1992;5:383-389.
- Pincivero DM, Lephart SM, Karunakara RG. Relation between open and closed kinematic chain assessment of knee strength and functional performance. *Clin J Sport Med.* 1997;7(1):11-16
- Radebold A, Cholewicki J, Panjabi MM, et al. Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine.* 2000;25(8):947-954.
- Rossi A, Decchi B, Ginanneschi F. Presynaptic excitability changes of group Ia fibres to muscle nociceptive stimulation in humans. *Brain Res.* 1999;818(1):12-22.
- Schwindt PC, Crill WE. Properties of a persistent inward current in normal and TEA-injected motoneurons. *J Neurophysiol.* 1980;43(6):1700-1724.
- Stokes M, Rankin G, Newham DJ. Ultrasound imaging of lumbar multifidus muscle: normal reference ranges for measurements and practical guidance on the technique. *Man Ther.* 2005;10(2):116-126.
- Thunberg J, Ljubisavljevic M, Djupsjobacka M, et al. Effects on the fusimotor-muscle spindle system induced by intramuscular injections of hypertonic saline. *Exp Brain Res.* 2002;142(3):319-326.
- Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, et al. Inhibition of biceps brachii muscle motor area by painful heat stimulation of the skin. *Exp Brain Res.* 2001;139(2):168-172.
- Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, et al. Inhibition of the human primary motor area by painful heat stimulation of the skin. *Clin Neurophysiol.* 1999;110(8):1475-1480.
- Verbunt JA, Seelen HA, Vlaeyen JW, et al. Pain-related factors contributing to muscle inhibition in patients with chronic low back pain: an experimental investigation based on superimposed electrical stimulation. *Clin J Pain.* 2005;21(3):232-240.
- Zedka M, Prochazka A, Knight B, et al. Voluntary and reflex control of human back muscles during induced pain. *J Physiol.* 1999;520(2):591-604.

Zhao WP, Kawaguchi Y, Matsui H, et al.
Histochemistry and morphology of the
multifidus muscle in lumbar disc hernia-

tion: comparative study between diseased
and normal sides. Spine. 2000;25(17):2191-2199.