

신장 자극이 근 수축 촉진에 미치는 영향에 관한 고찰

김미현* · 배성수** · 최재원***

인제대학교 의생명공학대학 물리치료학과*, 대구대학교 재활과학대학 물리치료학과**
경북전문대학 물리치료과***

Review of Effect of the Stretch Stimulus on Muscle Contraction Facilitation

Mi-hyun Kim, P.T., Ph.D.*, Sung-soo Bae, P.T., Ph.D.**
Jae-won Choi, P.T., M.S.***

Department of Physical Therapy, College of Biomedical Science & Engineering, Inje University,
Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Taegu University**
Department of Physical Therapy, Kyungbuk College****

<Abstract>

Objectives : The purpose of this article is to summarize the effect of stretch stimulus on muscle contraction facilitation.

Methods : Some studies of the stretch reflex, γ -motor system, and the effect of stretch stimulus on muscle activation were reviewed.

Results : To facilitate muscle contraction, before the movement is started, the prime mover is in stretched position. The patient must be instructed to occur voluntary muscle contraction after quick stretching. It elicits the functional stretch reflex to produce a more powerful and functional contraction. The intensity of muscle contraction depends on two ways. One is firing rate of α -motor neuron by sensory information from the periphery induced in stretched position and stretch reflex. The other is excitation level of the cortical motor area and the corresponding motor neurons.

Conclusions : To activate central nervous system and to increase firing rate of α -motor neuron, the therapist should apply quick stretch for the patient with stretched position and the patient should make voluntary muscle contraction.

Key words : stretched position, voluntary muscle contraction, quick stretch, functional stretch reflex, α -motor neuron.

I. 서론

고유수용성 신경근 촉진법은 근골격계 및 신경근계 질환이 있는 환자를 대상으로 관절가동범위(ROM)의 회복, 협응력과 운동감각 증진, 근력 및 지구력 증가, 신경근조절 증진, 통증과 피로 감소, 안정성 촉진 등 다양한 치료적 목적을 위해 널리 사용되고 있으며, 재활 초기부터 후기까지 적용이 가능하다(Adler, Beckers, & Buck, 1999; Kisner & Colby, 2002; Stalvey, 2001). 이러한 치료적 목적을 달성하기 위해 이용되는 촉진을 위한 기본 절차에는 최적 저항(optimal resistance), 방산과 강화(irradiation and reinforcement), 맨손 접촉(manual contact), 치료사의 체위와 자세 역학(body position and body mechanics), 구두 지시(verbal commands), 시각적 단서(visual cues), 견인과 압축(traction and approximation), 신장(stretch), 정상타이밍(normal timing), 대각선 패턴(diagonal & spiral pattern) 등이 고려된다.

특히 근 수축을 촉진시키기 위해 다양한 촉진 절차들이 이용되는데 이 중 신장은 신장반사나 근육의 늘어남을 이용하여 근 수축을 촉진하고 근 피로를 감소시키는 효과가 있다. 신장 자극(stretch stimulus)은 근육이 늘어났을 때 일어나며, 늘어난 근육뿐만 아니라 동일 관절의 협력근과 다른 관련된 협력근의 수축을 촉진한다. 또한 신장반사(stretch reflex)는 근육이 늘어나거나 수축되어 장력상태 하에 있는 근육으로부터 유도되며, 근 수축을 촉진하는 효과가 있다(Adler 등, 1999). 이러한 신장 자극은 근 약화가 있는 환자의 근력을 증가시키고, 약화나 강직(rigidity)으로 인해 운동의 개시가 힘든 경우 운동 개시를 촉진하며, 운동에 대한 인식(awareness)을 증가시키기 위한 목적으로 적용될 수 있다.

본 연구에서는 신장 자극과 신장반사가 근 수축을 촉진하는 기전에 대해 살펴보고자 하며, 이에 앞서 근방추의 구조와 기능, 감마체계, 신장자극과 신장반사의 정의, 분류, 역할에 대해 탐색하려고 한다.

II. 근수축 촉진 기전

A. 근방추

근방추(Muscle spindle)는 근육의 섬유부분에 위치하며 근육이 신장될 때 가장 활동적이며(Gordon & Ghez, 1991), 근육의 길이 변화 및 길이의 변화율(속도)에 관한 정보를 제공한다(Latash, 1998). 근방추는 길고 가느다란 모양으로(보통 길이는 약 1cm 정도임) 가운데 부분이 약간 더 굵기 때문에 방추처럼 보이며, 근섬유 내에 상당히 많이 분포되어 있다.

근방추는 세 가지 주요요소, 즉 추내근섬유(intrafusal fiber)라 불리는 작은 근섬유, 감마(γ)원심성 운동신경원, 그리고 Ia형 및 II형 구심성 신경원으로 구성된다(그림 1). 추내근섬유는 핵낭(nuclear bag)

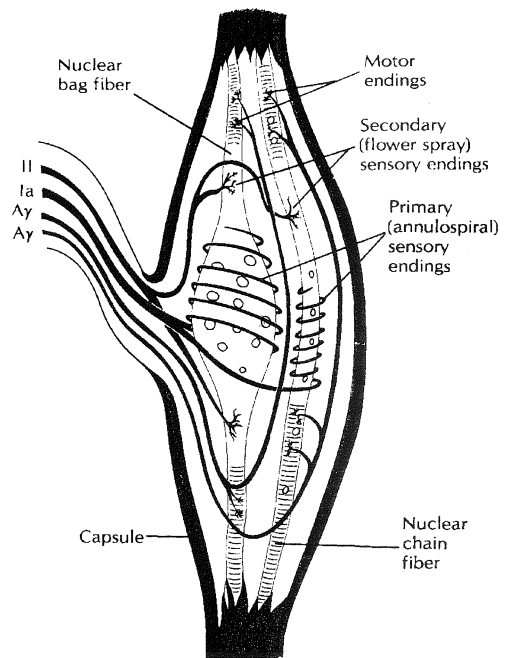


그림 1. 근방추의 해부적 구조.

섬유와 핵사슬(nuclear chain)섬유로 이루어져 있으며, 핵낭섬유는 다시 동적 및 정적 핵낭섬유로 나뉜다. 추내근섬유의 양쪽 끝은 적도영역(equatorial region)이라 불리는 방추의 중심영역에 장력을 부과한다. 감각종말들은 대개 근방추의 적도(중간)영역에 위치하고 있으며, 주종말(primary ending)이라 불리는 첫 번째 유형의 감각종말은 거의 모든 추내근섬유에서 관찰되며, 부종말(secondary ending)이라 불리는 두 번째 유형의 감각종말은 정적 핵낭 및 핵사슬섬유에서 흔히 관찰된다. 주종말과 주요 신경학적 연결을 이루는 것은 Ia 구심성섬유이고, 이 섬유의 출력은 근육의 길이 및 길이 변화의 속도와 관련된다. 즉, 근육의 길이가 늘어날수록 그리고 길이변화가 빠를수록 Ia 구심성섬유의 활동이 활발해질 것이며 이는 알파운동신경원의 활성화와 연결된다(그림 2). 부종말의 축삭인 II형 구심성섬유는 근육의 길이변화에만 민감하다(Latash, 1998;

성에 영향을 미치고, 정적 감마-축삭은 정적 핵낭 및 핵사슬섬유를 지배하며 주종말과 부종말의 민감성을 변화시킨다(Latash, 1998).

중추신경계에 의해 감마운동신경원이 활성화될 경우 추내근섬유는 약간 수축되며 이는 근방추의 중앙에 있는 감각영역을 넓히게 된다. 감각영역이 넓어졌을 때 넓어진 영역으로부터 나온 Ia 구심성섬유들은 더 빠르게 발화(firing)되며, 그러한 정보는 후근을 통해 척수의 뒤쪽으로 전달된다. 즉, Ia 구심성섬유의 활동은 근육 신장에 의한 근방추 전체의 신장을 통해 증가하거나 감마운동신경원을 통한 추내근섬유의 수축에 의해 적도영역에 부과되는 신장과 관련하여 증가한다(Schmidt & Lee, 1999). 알파 및 감마운동신경원은 모두 상위 운동중추에 의해 조절될 수 있으며, 그러한 신경원들의 활동은 알파-감마 상호활성화(alpha-gamma coactivation)라 불리는 과정에 의해 “협응되는” 것으로 생각된

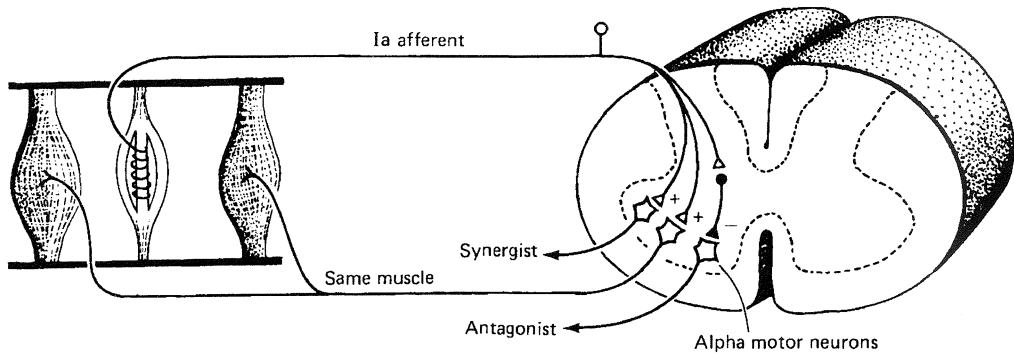


그림 2. 척수 내의 Ia 구심성 신경회로.

Schmidt & Lee, 1999).

다(Rothwell, 1994)(그림 3).

B. 감마체계

근방추 내에 있는 근섬유(추내근섬유)를 지배하는 운동신경원들은 감마체계(Gamma system)에 속하며 감마-운동신경원이라 불린다. 감마운동신경원은 알파운동신경원보다 크기는 작으나 축삭의 길이는 동일하다. 감마운동신경원은 동적 및 정적 유형으로 분류되는데, 동적 감마-축삭은 동적 핵낭섬유를 지배하며 그 섬유에 위치하는 주종말의 민감

C. 신장 자극과 신장반사

신장 자극(Stretch stimulus)은 근육이 늘어났을 때 일어나며, 이러한 자극은 늘어난 근육, 동일 관절의 협력근과 다른 관련된 협력근의 수축을 촉진한다. 사지 또는 체간의 협력근이 모두 늘어났을 때 보다 큰 축진이 일어나게 된다. 예를 들어, 전경골근의 늘어남은 그 근육뿐만 아니라 고관절 굴곡근-내전근-외회전근을 촉진한다. 고관절과 발목관절의

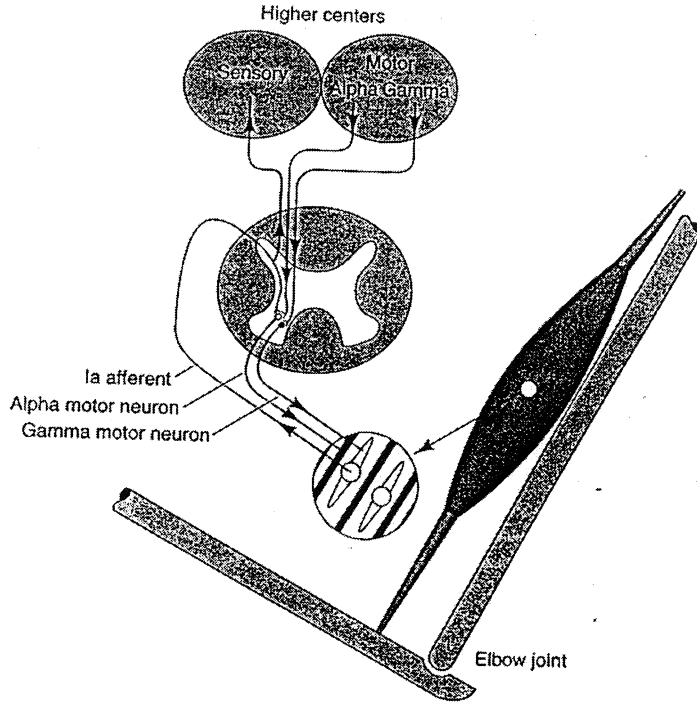


그림 3. 알파 및 감마 운동체계와 척수 및 상위중추의 연결

모든 근육이 동시에 길어지게 될 경우 하지에서의 흥분성은 더욱 증가되고 협력적인 체간 굴곡근으로 확산된다(Adler 등, 1999).

신장 자극에 의한 근 수축 촉진 기전에 대해 살펴보면 다음과 같다. 근육(즉, 모든 신경들이 제대로 연결되어 있는 근육)이 외부의 힘에 의해 서서히 신장되는 경우 먼저 근육의 수동적 탄성특성 때문에 신장에 저항할 것이고 그런 다음 특정한 근육 길이에서 증가된 근방추의 활동은 신장에 대해 근육의 능동적인 힘을 일으키는 운동신경원들의 자생적 동원(autogenic recruitment)을 일으킬 것이다(Latash, 1998). 근육의 수동적 탄성특성에 의하면 수축하는 근육이 “스프링같은” 물질이기에 근 길이가 증가함에 따라 역학적 의미로서 더 큰 장력이 근육에서 생성된다는 것이다(Schmidt & Lee, 1999). 따라서 신장 자극은 운동신경원의 동원과 근육의 고유한 특성에 의해 근 수축을 촉진하게 된다.

신장반사(stretch reflex)는 근육이 늘어나거나 수축되어 장력상태 하에 있는 근육으로부터 유도된다. 반사에는 두 가지 부분이 있다. 첫째는 작은 힘을 생성하고, 기능적으로 중요하지 않은, 잠복기가

짧은 척수반사(spinal reflex)이고, 둘째는 잠복기가 길고, 보다 큰 힘과 기능적 수축을 생성하는 기능적 신장반사(functional stretch reflex)이다(Chan, 1984).

척수수준에서의 신장반사는 단지 하나의 중추 연결을 포함하는 단일연접반사(monosynaptic reflex)로서 수용기에 부과되는 특수한 자극 수준 변화에 대한 반응으로 출현하는 위상성 반사(phasic reflex)이다. 이는 하나의 연속성동작(twitchy movement)을 일으키는 근육활동으로 표현되며, 중추 연결을 한 번만 하기에 잠복기가 30ms 정도로 짧다(Latash, 1998). 단일연접 신장반사(monosynaptic stretch reflex)의 대표적인 예로서 슬개건반사(patellar tendon reflex)가 있다. 이 반사는 근육(대퇴사두근)의 신속한 신장에 의해 야기되는데 그것은 근방추를 신장시키고, 신장된 근방추는 Ia 구심성섬유의 발화를 증가시키며 알파운동신경원의 발화율을 증가시켜 근육의 수축을 일으키게 된다. 이러한 반사는 자극된 근육의 활동을 야기하므로 자생적 반사(autogenic reflex)이다(그림 4).

기능적 신장반사(functional stretch reflex, long-

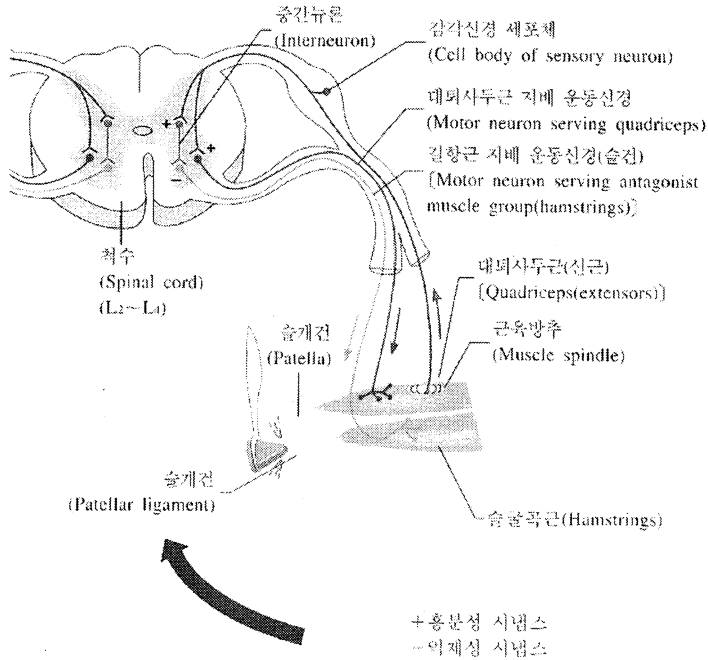


그림 4. 슬개건반사

loop reflex)는 근육의 신장에 대해 50~80ms의 잠복기를 거치면서 일어나는 반응으로서 실질적인 힘의 증가를 일으키지 못하는 30ms의 잠복기를 거친 초기의 활동보다 강도가 더 높고 지속적이며 실질적인 힘의 변화를 일으킬 수 있다(Dewhurst, 1967)(그림 5). 근방추가 신장되고 Ia 구심성섬유의 활동이 증가될 때 그러한 정보는 척수로 피드백되어 알파운동신경원을 활성화시키며 이어서 척수의 상위분절 수준이나 대뇌로 전달된다. 보다 완전한 반응을 위해 상위중추까지 이동해야 하므로 반사는 더 긴 시간을 요한다. 기능적 신장반사를 위한 50~80ms의 회로시간은 신경회로가 이동해야 할 부가적인 거리와 일치하는데, 그 과정은 한번 이상의 연결을 포함한다(Schmidt & Lee, 1999).

기능적 신장반사는 상위중추에서 조직화되기 때문에 단일연접반사보다 더 융통성(flexible)이 있다. Evarts(1973)는 피험자들에게 손위에 놓여진 가벼운 무게를 지지하도록 팔꿈치를 직각으로 유지하라고 한 후 무게가 예기치 않게 증가될 경우 신장에 저항하라고 지시했을 때 그림 5와 유사한 활동 유형이 나타났으나 무게가 부과되었을 때 부과된 무

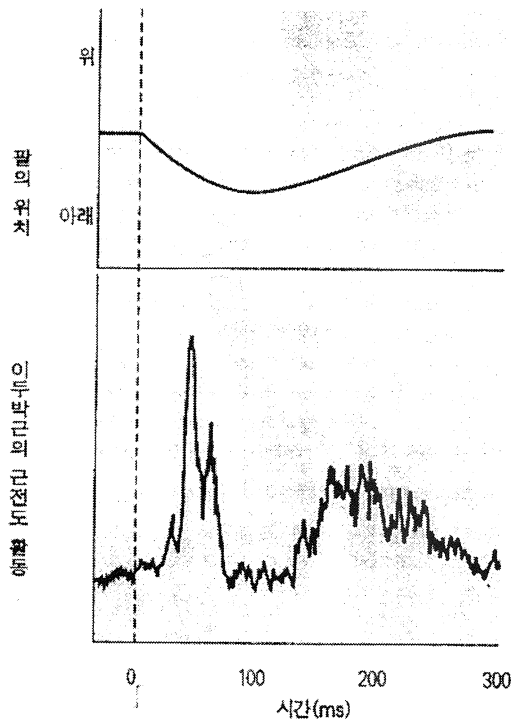


그림 5. 두 가지 반사활동이 나타난 근전도 기록

게에 의해 팔이 움직일 수 있도록 “내버려두라고” 지시했을 경우에는 두 번째 활동은 거의 사라진 반면, 첫 번째 활동(단일연접 신장반사)은 영향을 받지 않았다. 반응의 개시 이전에 제공된 사전 지시는 주어진 자극에 대한 반응을 변화시킬 수 있다. 따라서 신장 자극을 가하여 근 수축을 촉진시키기 위해서는 신장 후 저항에 대해 수의적인 근 수축을 하도록 지시하여 기능적 신장반사를 유도해야 한다 (Bennis et al., 1996).

D. 신장 자극과 근 수축 활성화

알파운동신경원을 통한 골격근으로의 출력은 상 위중추로부터 직접 제공되는 신경지배의 수준과 Ia 구심성섬유로부터 간접적으로 제공되는 부가적인 신경지배량에 의해 결정된다(Schmidt & Lee, 1999). 즉, 알파운동신경원의 발화율은 초기 사지의 위치 및 근육의 신장 속도와 환자가 근육을 수축하려는 의지에 달려있으므로 보다 강한 근 수축을 유도하기 위해서는 최대한 신장된 위치에서 빠른 신장을 적용해야 할 것이며, 패턴을 시작하기 전 교육이 필요하다.

Nakazawa 등(2003)은 정상 성인 10명을 대상으로 선 자세와 바로 누운 자세에서 전경골근에 신장 자극을 가한 실험에서 신장 속도에 따라 근육반응의 강도가 달라졌다고 하였다. 즉, 세 가지 다른 각속도(100°, 200°, 300°/s)조건 중에서 자극속도가 가장 빠른 조건에서 느린 조건보다 근육반응 강도가 더 높았다. 또한 Shimura와 Kasai(2002)의 연구 결과에 의하면 수의적 운동의 개시는 초기 사지의 위치에 영향을 받는 것으로 나타났다. 상지 신전근이 중립위(neutral position)에 있을 때보다 주동근이 신장된 자세(PNF position)에 있을 때 자극에 대한 근육의 반응시간이 더 빨랐으며, 운동 시작 전에 주동근이 약한 배경(background) 근육활동을 보였다. 이는 PNF 자세에서 근육의 흥분성(excitability)이 증가됨을 시사한다. 아울러 근육활성화 순서에도 변화가 나타나서 PNF 자세에서는 움직이는 관절의 가장 근위부 근육이 먼저 활성화된 반면, 중립위에서는 그렇지 않았다. 이러한 근육활성화 순서의 변화에 의해서 관절의 운동 효율성이 증진될 수 있다. PNF 자세는 신장반사 기전

으로 인해 관련 근육의 활성화 역치를 변화시키며 (Etnyre & Abraham, 1986; Romano & Schieppati, 1987), 운동신경원연합(motoneuron pool) 내에서의 활동수준과 비례하여 척수반응(spinal responses)을 증가시키는 것으로 나타났다(Kernell & Hultborn, 1990). 또한 사지 위치의 변화는 척수 수준뿐만 아니라 피질을 포함한 상척수(supraspinal) 수준에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 중립위에서보다 PNF 자세에서 초두개자기자극(transcranial magnetic stimulation; TMS)에 의한 운동유발전위(motor evoked potential) 강도가 더 컸으며 잠복기도 더 짧았다. 이는 말초로부터 감각 입력의 양이 중립위보다 PNF 자세에서 더 크다는 사실에 기인하는 것으로 추측된다(Benecke, et al. 1988; Shimura & Kasai, 2002). PNF 자세에 의해 유도된 말초로부터의 감각 입력은 피질운동영역(cortical motor area)에서 더 강한 흥분(excitation)을 이끌어내며 다수의 운동신경원 역치를 변화시킨다. 따라서 PNF 자세는 수의적 운동 개시 이전에 피질과 척수 활성화에 영향을 주어서 근육활동 반응시간을 감소시키며, 근육의 흥분성 변화를 가져오게 한다.

이상에서 살펴본 바와 같이 초기 신장된 위치와 빠른 신장 자극에 의한 고유감각 정보의 입력은 척수수준의 활성화와 상척수수준의 활성화를 통해 운동신경원의 발화율을 증가시켜 근 수축을 촉진하므로 약화된 근육의 근력 증가에 도움을 줄 것이며, 운동 개시를 촉진시킬 것이다. 또한 초기 신장된 위치는 근육활성화 순서에도 영향을 주어서 관절의 운동 효율성을 증진시킨다.

III. 결 론

근 약화가 있거나 근 조절력이 떨어지는 환자의 수축을 촉진하거나 운동 개시를 촉진하기 위해서 고유수용성 신경근 촉진법(PNF)의 다양한 기법이 적용될 수 있다. 그 중 한 요소인 신장 자극에 의한 근 수축 촉진을 위해서는 실질적인 힘의 증가를 가져올 수 있는 기능적 신장반사가 유도될 수 있도록 신장 자극 후 환자의 수의적인 노력이 이어지도록 지시될 필요가 있으며, 고유감각 정보의 입력을 통해 중추신경계의 활성화를 이끌어내기 위해서는 운동 시작 전 자세가 신장된 위치에 있어야 하며, 동

작 개시 전과 동작 범위 동안 빠른 신장이 적용되어야 할 것이다.

앞서 언급한 바와 같이 근 수축 강도는 Ia 구심성 섬유로부터 제공되는 고유감각 정보의 입력에 의한 α -운동신경원의 발화율과 피질운동영역 및 상위중추의 흥분성 정도에 달려있으므로 상위중추의 활성화와 Ia 구심성섬유의 활성화를 통한 알파운동신경원의 발화율을 높이기 위해서는 최대로 신장된 시작 자세에서 빠른 신장을 적용해야 할 것이며, 환자는 근 수축을 위한 의식적인 노력을 기울여야 한다. 또한 근육 활성화 순서의 변화를 가져와 관절 운동의 효율성을 증진시키기 위해서도 운동 시작전 신장자세가 중요하다. 아울러 치료적인 효과를 높이기 위해서는 빠른 신장 후에 수축근이 장력 하에 있도록 주동근에 대해 지속적인 저항을 적용하도록 한다.

참 고 문 헌

- Adler SS, Beckers D, Buck M. PNF in practice. 2nd ed. Springer-Verlag, 1999.
- Benecke R, Meyer BV, Gohmann M, et al. Analysis of muscle responses elicited by transcranial stimulation of the corticospinal system in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69:412-422, 1988.
- Bennis N, Roby-Brami A, Dufosse M, et al. Anticipatory response to a self-applied load in normal subjects and hemiparetic patients. *J Physiology(Paris)*, 90; 27-42, 1996.
- Chan CWY. Neurophysiological basis underlying the use of resistance to facilitate movement. *Physiother Canada*, 36(6):335-341, 1984.
- Dewhurst DJ. Neuromuscular control system. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 14:167-171, 1967.
- Etnyre BR, Abraham LD. H-reflex changes during static stretching and two variations of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 63:174-179, 1986.
- Evarts EV : Motor cortex reflexes associated with learned movement. *Science*, 179; 501-503, 1973.
- Gordon J, Ghez C. Muscle receptors and spinal reflexes: The stretch reflex. In ER Kandel, JH Schwartz, TM Jessell(Eds.) : *Principles of neural science* (3rd ed.) Amsterdam: Elsevier, 1991.
- Kernell D, Hultborn H. Synaptic effects on recruitment gain: A mechanism of importance for the input-output relations to motoneuron pool? *Brain Research*, 507:176-179, 1990.
- Kisner C, Colby LA. *Therapeutic exercise: Foundations and techniques*. 4th ed. F.A. Davis Company, 113-120, 2002.
- Latash M. Neurophysiological basis of movement. *Human Kinetics*, 64-76, 1998.
- Nakazawa K, Kawashima N, Obata H et al. Facilitation of both stretch reflex and corticospinal pathways of the tibialis anterior muscle during standing in humans. *Neuroscience Letters*, 338:53-56, 2003.
- Romano C, Schieppati M. Reflex excitability of human soleus motoneurons during voluntary shortening or lengthening contraction. *Journal of Physiology (London)*, 390:271-284, 1987.
- Rothwell J. *Control of human voluntary movement*. 2nd ed. London : Chapman & Hall, 1994.
- Schmidt RA, Lee TD. *Motor control and learning*. 3rd ed. Human Kinetics, 110-125, 1999.
- Shimura K, Kasai T. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation on the initiation of voluntary movement and motor evoked potentials in upper limb muscles. *Human Movement Science*, 21:101-113, 2002.
- Stalvey MH. Proprioceptive neuromuscular facilitation. In WD Bandy, B Sanders(Eds.) : *Therapeutic exercise : Techniques for intervention*. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.