

고유수용성 신경촉진법에서 CPG를 이용한 뇌손상자 보행훈련전략

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과
배 성 수

Gait Training Strategy by CPG in PNF with Brain Injured Patients
Sung-soo Bae PT. Ph. D
Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science,
Daegu University

<Abstract>

The gait training strategy is very important for central nervous system(CNS) injury patients. There are many methods and strategies for regaining the gait of those who have CNS injury.

A human being has a central pattern generator(CPG) in the spinal cord for locomotion. It is a neural network which makes cyclical patterns and rhythmic activities for walking. Sensory input from the foot and hip position is essential for CPG stimulation that makes the central neural rhythm and pattern-generating structure. From sensory input, proprioceptive information facilitates proximal muscles that are controlled voluntarily from the cortical level, and visual and/or acoustical information facilitates distal muscles that are controlled voluntarily from the subcortical level.

Gait training methods can be classified into functional level and structural level. Functional level includes level surface gait, going up and down the stairs. It is important to facilitate a guide tempo in order to activate the central pattern generators.

During functional tests or activities, we can point out the poor period in gait that has to be facilitated in the structural level. There are many access methods with patient position and potentiality. The methods use rhythmic initiation, replication, and combination of isotonic with standing position. Clinically, using it on weight transfer onto the stance leg, loading response, loading response and pre-swing, terminal stance, up and downwards stairs.

I. 서론

보행은 신경근육과 골격계, 생역학적 그리고 운동기능학적 변화가 결합된 복잡한 기능 중의 하나이다(Beck 등 1981). 그리고 인체가 보행으로 이동하는 것은 인체 분절들의 회전운동 그리고 협응운동에 의해 이루어진 병진적진행을 묘사한 것이다(Steindler, 1955). 정상적인 보행은 하지가 교대로 전진함으로써 율동적 특징이 있다. 양하지가 교대로 운동함은 머리, 상지, 체간(head, arm trunk, HAT)을 전진시키고, 지지하기 위해 필수적인 것이다(Wilson, 1987). HAT는 체중의 75%이며, 머리와 팔을 합하면 체중의 약 25%이고, 체간만은 약 50%가 된다(Inman, Ralston, Todd 1981). HAT를 한쪽다리에서 다른쪽다리를 옮길수있고, 그리고 한쪽 다리를 들어올려 앞으로 내미는 동작을 교대로 할수 있어야 한다. 이와 같은 활동들은 협응력, 균형, 정상적인 운동감각과 고유수용성 감각, 그리고 관절과 근육들의 기능적 통합이 필요하다. 정상적인 보행은 신경계의 적절한 신호유형의 형태로 신경망을 통해 근육 활동을 유발시키고 인체의 생역학적인 요구를 만족시킬때 일어난다. 또한 보행을 위한 인체 분절들의 움직임은 환경으로부터 밀접한 영향을 받게 된다. 중추신경계는 말초신경계로 부터 들어오는 다양한 구심성정보를 선별하고 통합할때 보행을 위한 움직임을 수정하고 조절된다. 이와 같이 보행은 신경회로망의 복잡한 통합과정과 지속적인 반복을 통해 주기적으로 일어나게된다. 주기적인 운동형태는 보행, 호흡, 저작 혹은 율동적이고 활동을 위해서 필요하며, 신경회로망에 의해서 생산된다(Duysens 등 1998).

주기적인 운동형태인 보행을 위해서 중추유형발생기(central pattern generator, CPG)라는 용어가 사용되는데 이것은 CPG가 운동유형을 만들기 위해 반응하는 신경원들의 조절에 의해 이루어진다 (Grillner & Wallen, 1985). 종전의 CPG에 대한 연구는 불완전 척수손상환자를 대상으로 트레드밀을 이용해서 훈련시킨 결과 효과적이었다고 보고되었다 (Dietz 등 1995, Dobkin 등 1995, Wernig 와 Muller 1992, Wernig 등 1995). 이들의 연구는 불완전 척수손상환자를 대상으로 했는데 뇌 손상환자와 얼마나 일반화 할수 있는지가 문제이며, Kandell (2000) 등이 보고한 내용중 근위근들은 대뇌 피질하의 조절, 원위근들은 대뇌피질의 조절을 받는다고했는데 이 원리와 조화가 될것인가 하는 문제를 제기 할수 있다.

과제 지향적 치료에 있어서도 대뇌피질에만 의존하는 보행을 하게 되어 에너지 소모가 크고 보행속도가 느리다는 지적을 받고 있다(Richards 등 1995). Carr 와 Shepherd(1983)는 과제 지향적 보행훈련은 과도한 근긴장, 연합반사, 비대칭적 자세, 보상작용을 만들게되어 더욱더 비효율적인 보행으로 진행되어가며, 중추신경계에 부정적인 가소성을 만든다고 했다. CPG를 자극하는 감각원은 체중부하와 관련된것 두개와 고관절의 위치가 있다. 체중부하와 관련된 두개는 신전근육들로부터 들어온 고유수용성 구심성분과 발에 작용한 기계적 수용기로 들어온 외수용성 구심성분이다. 고관절 위치로부터 오는 구심성 신호는 고관절 주위의 근육들로부터 들어온다(Pearson 1993, 1995, Rossignol, 1996, Whelan 1996).

상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 CPG의 촉진과 CPG의 임상적 적용을 제시함으로써 보행훈련에 필요한 정보를 제공하려고 한다.

II. CPG의 촉진

Hanna 와 Frank(1995), Masdeur(1994)등은 CPG의 율동발생의 시작과 끝을 조절하는 명령은 척추보다 상위수준으로 부터 온다고 하였지만, Duysens(1992)등은 CPG가 구심성으로

들어오는 반사통로를 통해 운동신경원과 직접적으로 연결되어 있어서 반사통로들을 조절하게 되며(그림 1), 따라서 근육에 작용하는 반사활동들이 보행 주기에 맞게 발생할수 있도록 조절 역할을 한다고 했다.

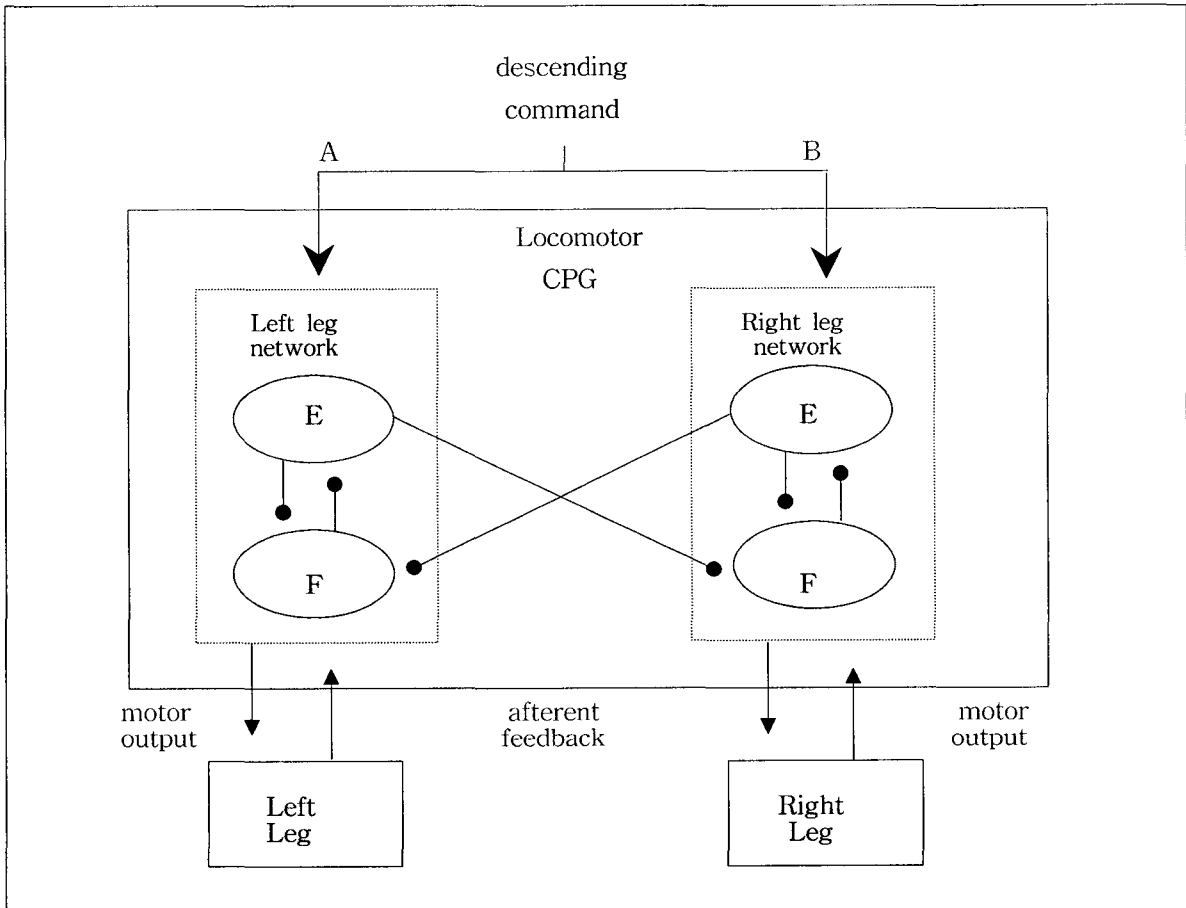


그림 1. STructure of CPG and components influencing CPG

척수에 존재하는 CPG는 다양한 구심성 자극을 통해서 조절될 수 있다고 했다(김중휘, 김중선 2002). Grillner 와 Zangger(1975, 1979)는 고양이의 척수후근에 자극을 적용하여 보행 활동을 향상시켰다고 했으며, Hodgson(1994)등은 척수에있는 CPG는 어떤 특정한 감각자극을 통해서 촉진될 수 있다고 했다.

Rossignol(1996)와 Whelan(1996)은 CPG를 촉진하기 위해서는 감각자극이 CPG에 직접으로 작용하여 율동적인 움직임을 일으키거나 재 설정시킬 수 있다면 CPG에 영향을 줄수있으며, 이것들은 체중부하와 관련된 자극과 고관절에의 위치와 관련된 것이라고 했다. 율동적인 보행은 근위 관절인 고관절에서는 안정화가, 원위분절인 발에서는 운동화(mobility)가 요구된다. Pearson(1993)은 보행을 위한 CPG촉진은 외부로부터 감각자극 투입이 필수적이라고 했다.

Horst(2003)는 근위관절에는 고유수용기를 자극하여 안정화를, 원위분절인 발에는 시각적 정보를 주어서 운동화를 촉진해야 된다고 했다. 시각적, 청각적인 정보는 원위부의 근육을 촉진 하며, 대뇌피질의 지배를 받는다. 그리고 근위부근육들은 불수의적으로 조절되고, 고유

수용성 정보는 근위부의 근육들을 촉진하며, 대뇌피질하의 지배를 받는다(Kandell 등 2000). 원위부인 발과 근위부인 고관절의 협응으로 보행주기가 일어나게 된다고 했을때, 고관절은 근위부임으로 고유수용성 정보가 필요하고, 발은 시각적, 청각적인 정보가 필요하다고 할수 있다. 고유수용성 정보를 고관절에 제공하는 방법은 압축 혹은 고관절 부위의 연부조직에 의회전 자극으로 안정화를 촉진 할 수있다. 발을 옮기라는 구두명령을 압축과 동시에 적용 될때 근위부와 원위부가 촉진되어 발을 옮길수 있게 된다. 또한 발을 옮기기 전에 하복부를 자극하여 하복부 근육이 촉진됨으로 골반의 안정화 를 도모할 수 있다.

뇌졸중환자에 있어서 평면을 걸을때보다 계단오르기를 할때 보행주기가 빨라지는것을 임상에서 발견하게된다. 이것은 시각적으로 계단이 횡으로되어 있어서 한계단 한계단 올라 갈 때 마다 횡으로된 그 계단이 새로운정보로 대뇌피질에 전달하게됨으로 보행속도가 더 빨라 지는것이다. 시각정보가 앞먹임(feed forward) 작용을 하여 근수축이 언제 일어나야 함을 알게하고, 되먹임(feed back)작용은 근수축을 일으키게하거나 신장되게하며, 길항근은 목적 동작을 달성하도록 안정성(stability)를 제공하게된다(Kandell 등 2000).

피즐을 맞출때 피즐내에 있는 그림이 무엇인가를 먼저 보고 다시 맞추는것과 그림을 보지 않고 맞추는것과의 차이는 클것이다. 이것과 같이 빠른 템포로 평지를 걷거나 계단을 오를 때는 CPG를 긍정적으로 자극하게된다. Rosignol(1996)과 Whelan(1996)의 보고에서와 같이 CPG를 촉진하기위해서 울동적인 움직임과 고관절의 체중부하와 위치를 이용해서 보행훈련 을 시킬때는 고유수용기의 촉진, 시각적 청각적 자극, 울동적인 보행이 결합되어야 한다고 했다. 이것은 보행에 있어서 CPG의 역할이 의미있게 되기위해서는 위로부터의 감각자극이 필수적인 요소라고 주장한 Pearson(1993)의 연구와 일치한다.

III. 보행훈련과 CPG

A. CPG촉진 적용

임상에서의 간단한 진단과 측정 방법은 기능검사를 하는 것이다. 보행훈련에서 기능검사라 함은 환자로 하여금 평면을 걷게하거나, 계단을 오르 내리면서 기능적 수준(functional level)에서 평가를 하게 된다. 보행을 평가할때는 보행주기를 구분해서 평가하게되는데 보행 주기중 전과정을 평가한다. 그 과정이라 함은 초기접촉(initial contact), 체중전달(loading response), 중간입각기(mid stance), 말기입각기(terminal stance), 유각전(preswing), 초기유각(initial swing), 중간유각(midswing), 말기유각(terminal swing)이 울동적으로 일어나는 것이다(Professional Staff Association, 1989).

기능적인 평가되면 과정별로 나누어서 치료 혹은 교정을 하게 되는데, 이것은 구조적 수준(structural level)즉 보행주기 전과정을 분류했을 때 취약점이 발생하는 부분을 직접교정 하거나 치료하게 된다. 구조적 수준에서 시도된 치치가 적절했는지를 곧바로 기능적 수준에서 검사를 꼭해야하며, 주어진 치치가 적절했는지의 평가는 매우 중요하다.

CPG를 촉진하기위해서 체중부하로인한 감각자극이 CPG에 직접적으로 작용하게 하여 울동적인 움직임을 일으키게 하고, 그 운동을 재설정하게 하는 것이다. 체중부하와 관련하여 고관절의 위치가 변화되어 CPG에 자극을 주게 될 것이다(Rosignol 1996, Whelan 1996).

Horst(2003)는 고유수용성 감수기를 촉진하여 울동적인 보행이 되도록 하였다. 고유수용

성감수기를 촉진하는 방법은 고관절에 손을 놓고 관절낭과 연부조직을 외회전 시키는 자극, 손을 배꼽아래에 대고 복부근을 탭(tap)하여 하복부근 수축, 손을 좌골조면에대고 대퇴를 가볍게 울동적으로 밀어 주기, 장골능 압축하기, 울동적 개시법 적용하기, 목적동작을 복제하기, 등장수축결합 적용하기를 한다. 이렇게 함으로 울동적인 자극이 CPG에 작용하게 하고, 체중부하가 고관절에 주어져 고관절의 위치를 변하게 하였다.

B. 보행훈련

1. 기능적 수준

보행을 위한 훈련은 선자세에서만 가능한것이 아니며, 모든 자세에서 보행을 위한 훈련이 가능하다. 여기에서는 단지 선자세에서 할 수있는 몇가지를 언급하려고 한다.

Horst(2003)는 보행훈련을 기능적수준과 구조적 수준으로 나누어서 시도하고 있다. 기능적 수준에서는 평면 걷기, 계단 오르기과 내려오기를 시도하면서 탭하기, 좌골부위에서 대퇴를 울동적으로 밀기, 고관절낭과 연부조직을 외회전자극하기, 시각정보와 청각정보 등을 투입했다. 탭하기는 유각전에 하고, 대퇴를 가볍게 밀기는 초기유각에 시도한다. 혹은 고관절낭부위의 연부조직에 대한 외회전 자극을 주어서 고유수용성 감수기들이 작용하게 한다. 이때 시각적 자극 또는 청각적인 자극을 함께 부여한다. 이것은 근위근육들은 대뇌피질하의 조절, 원위근육들은 대뇌피질의 조절을 받는다는Pearson(1993), Kandel(2000)등의 원리를 적용한것이다. 계단오르기와 내려오기를 할때 치료사는 환측옆에서 한손은 발등을 잡아 올리거나 내리기를 하고, 다른 한손은 머리와 어깨를 이용해서 반대편 골반을 잡거나, 발등을 잡은 손과 같은 쪽 고관절낭을 외회전 시킨다. 또는 골반을 잡은 손은 장골능에 손을 올려 압축(approximation)을 할 수 있다. 발등을 잡은 손은 계단오를때 발이 접지한후 무릎으로 옮겨서 압축을 할수있다.

계단내려오기를 할때 환자의 환측옆에 설수도 있지만 환자앞에서 지도하는 것은 환자의 공포감을 감소 시킬수있음으로 중요하다. 앞에서 양쪽 장골능 주위로 압축함으로 좌골이 후방으로 하강하게 되어 체간 신전근들이 길어지게되며, 대퇴사두근은 원심적으로 활성화된다.

2. 구조적 수준

1) 입각기로 체중을 옮겨가기(왼쪽)

치료사는 복제(replication)을 환자에게 적용하며 생역학적으로, 신경근육적으로 환자 스스로 안정적으로 할수 있는지 평가한다. 복제를 하는 동안에 압축을 시도함으로 고유수용성 감수기가 정보를 입수하게 된다. 그 후에 치료사의 손을 떼고 혼자 하라고 하고 동작 즉 체중옮기기를 평가한다. 치료사는 울동적개시(rhythmic initiation)을 환자에게 적용하여 자동적으로 할수있도록 한다. 치료사는 복부근육과 둔부근육의 고유수용성 감수기를 자극한다. 체중옮기기를 처음에는 수동으로, 능동보조로, 그리고 능동으로 하라고 한다(그림 2).

체중이 다 옮겨 졌을때는 반대편 다리의 굴곡근이 신장(elongated)되었고 이것은 초기유각기가 되었음으로 “한발앞으로”하고 구두 명령을 하여 반대편 발을 앞으로 옮기고 체중을 옮긴다.



그림 2-a



그림 2-b



그림 2-c

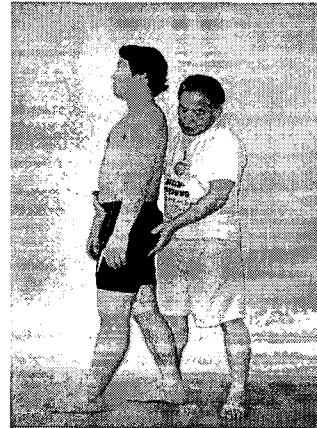


그림 2-d



그림 2-e



그림 2-f

그림 2. 입각기로 체중옮기기(복제·올동적 개시 적용). a) 복제를 이용한 체중옮기기(마지막 범위), b) 복제를 이용한 체중 옮기기(중간 범위로부터 마지막 범위로 가기), c) 복제를 이용한 체중옮기기(시작 범위로부터 마지막 범위로가기) d) 올동적 개시 시작 자세, e) 올동적 개시 중간자세, f) 올동적 개시 마지막 단계

2) 체중전달(왼쪽)

보행중 이시기에는 고관절 굴곡, 내전, 내회전 된다. 따라서 고관절 신전근, 외전근, 외회전근들은 원심성 활동을 하여, 중력에 대항한 자세조절을 하게 된다. 또한 체간 신전근은 신장되고 원심성 활동으로 체간을 안정시킨다. 체중전달시 좌골은 종골을 향하게 된다. 경골은 고정되고, 전경골근이 수축하여 중족부(mid foot)는 지면으로 부터 떨어져 있다. 전족부(forfoot)는 회내되면서 안정되어 있다. 치료사는 환자앞에서 오른손으로환자의 왼쪽 장골능 압축하고 왼손은 환자의 경골을 앞으로 당긴다. 발바닥이 닿게되면 치료사는 오른손으로 대전자부위를 잡고 외회전을 촉진시키고 경골에 내회전 자극이 되게 한다(그림 3). 이렇게 체중전달이 끝나면 반대쪽 발은 유각전기가 된다. 이 때도 고유수용성 감수기를 자극하기위해 하복부와 고관절 배부(dorsal)를 자극해야 된다.



그림 3-a



그림 3-b

그림 3. 체중전달. a) 종골 접지, b) 경골을 잡아 앞으로 당겨 오기, c) 대전자부를 외회전시켜 경골에는 내회전이 일어나도록 한다.

3) 말기 입각기

오른쪽 다리가 말기 입각기일때 왼쪽은 말기 유각기로부터 초기 접촉기로 접어들게 된다. 이때 치료사는 환자의 참재력에 따라 발뒤꿈치를 들어올리든가, 혹은 종골에 저항을 주어서 촉진한다(그림 4). 무엇보다도 먼저 구조적 수준에서 장모지굴곡근(flexor hallucis longus)의 긴을 활성화 시킨다.



그림 4-a



그림 4-b

그림 4. 말기 입각기. a) 발뒤꿈치 들어올리기(오른손 인지를 종족골관절 위에두고 발뒤꿈치를 들어 올린다). b) 종골에 저항을 가하기

4)계단오르기

치료사는 환자 뒤에 선다. 양쪽손을 장골능에 올려 압축을 한다. 이때 환자는 계단을 오를 때 한쪽발이 한 계단씩 오르도록 한다. 따라서 올라간 쪽에 체중이 부하되면 다른쪽은 유각할 준비가 된 것이다. 입각하는 다리로 체중을 옮김으로 신전근 시너지가 원심성으로 활성화되고 이것은 길이-장력관계를 발생케하여 뒤이어 일어나는 구심성 수축을 더 쉽게 만든다(Horst, 2003). 반대편 다리를 유각하여 한계단 위쪽으로 발을 옮긴다(그림 5).



그림 5-a



그림 5-b



그림 5-c



그림 5-d

그림 5. 계단오르기(I), a) 양쪽 장골능에 압축하기, b) 올라간 다리에 체중옮기기, c) 반대편 다리 유각하기, d) 반대편 다리 접지하기

편마비일 경우에 건강한쪽 다리에 체중을 옮겨 약한 쪽을 유각하며, 접지한후 체중을 옮길 때는 환자의 상황에 따라 촉진하는 손의 위치를 바꾼다. 약한 쪽이 접지를 하고 체중을 옮길때는 환자의 안정성을 확보할수 있도록 치료사는 약한쪽에 서서 한손은 반대편 장골능부위를 잡고 압축하고, 다른손은 발등을 잡아 윗계단으로 올리고 체중을 옮기도록 도와준다. 필요하면 발등을 잡은 손은 발을 계단위에 올린후 무릎위로 올려 압축을 할수 있다(그림 6). 계단을 올릴때 발을 옮기는 템포를 빠르게 함으로 CPG를 활성화 할 수 있다(Horst, 2003).



그림 6-a



그림 6-b



그림 6-c



그림 6-d

그림 6. 계단오르기(II), a) 반대편 장골능 앞부분을 잡고 압축, 다른손은 발등잡기, b) 발등을 잡고 올리기
c) 체중 옮겨 가기(손을 무릎으로 옮기고 압축하기), d) 반대편 한계단위로 유각

5) 계단 내려오기

치료사는 환자 앞에서서 장골능위를 압축한다. 압축으로 인해서 골반이 후방으로 경사되어 체간의 신전근들이 신장되고, 대퇴사두근들이 원심성으로 활성화된다. 이렇게 만드는 것은 매우 중요하다. 건축으로 체중을 옮기고 약한쪽을 내려 한계단 아래로 접지하게 한다. 접지후 체중을 옮길때도 압축을 유지한다(그림 7).



그림 7-a



그림 7-b



그림 7-c



그림 7-d

그림 7. 계단 내려오기(I), a) 양쪽 장골능 압축하기, b) 건축으로 체중옮기기, c) 약한쪽 접지하기, d) 약한쪽의 체중옮기기

약한쪽이 불안정할때는 치료사는 약한쪽에 서서 한손은 대퇴를 잡고 내회전시키고 다른손은 경골을 잡고 외회전시킬때 거골은 내회전되어 안정화된다. 그리고 슬관절은 굴곡하여 대퇴사두근이 원심성으로 활성화되게 한다(그림 8).



그림 8-a



그림 8-b



그림 8-c



그림 8-d

그림 8. 계단 내려오기(Ⅱ). a) 접지하여 체중 옮기기(대퇴는 내회전, 경골은 외전, 거골은 내회전), b) 반대편 슬관절 굴곡, c) 접지하기, d) 반대편 내려오기

IV. 결론

중추신경 손상자를 위한 보행훈련 프로그램은 매우 중요하다. 이를 위해 많은 방법들이 동원되고 있는데 중추유형발생기를 자극하는 것이 한 방법이다. 중추유형발생기는 인간에게도 있으며, 이것은 보행을 주기적, 율동적으로 만드는 신경회로망이다. 보행훈련에서 중추유형발생기를 자극하기 위해서는 외부로부터의 감각자극 유입이 필수적이며, 이러한 감각자극은 보행유형의 형태를 만들고 보행 활동을 강화, 촉진시킨다. 감각자극이 유입되면 근위근육들은 안정화를 획득하게 되고, 원위근육들은 운동화를 일으키게 된다. 고유수용성 감수기를 통한 자극은 대뇌피질의 활동을 촉진하고 시각자극과 청각자극은 대뇌피질하의 활동을 촉진하게 된다.

보행훈련을 위한 촉진방법은 기능적 수준과 구조적수준으로 분류할수 있다. 기능적 수준은 평지걷기와 계단 오르고와 내려가기로 나눌수 있다. 구조적수준은 기능적수준에서 보행과정중 열악한 부분을 개선, 치료하는 것이다. 구조적 수준에서 제공된 치료와 교정이 정확했는지를 기능적 수준에서 재평가를 해야된다. 구조적 수준에서 촉진 혹은 치료 접근 방법은 환자의 자세와 환자의 역량에 따라 다양하다. 본 연구에서는 주로 율동적 개시, 복제, 등장성 수축의 결합의 적용을 제시했으며, 임상에서 적용할수 있도록 구조적 수준에서 입각으로 체중옮기기, 체중전달하기, 말기입각기, 계단오르기, 계단내려 오기를 제시하였다.

<참고 문헌>

- 김중휘, 김중선 :중추유형발생기의 개념에 근거한 뇌졸중환자의 치료적 접근, 대한물리치료 학회지 제 14권 제4호 87-100, 2002
- Beck RJ. Andriacchi TP. Kuo KN. Fermier RW. : Galante JO : Changes in the gait patterns of growing children. J Bone and Joint Surgery, 63-A(9) : 1452-1459, 1981
- Carr JH. Shepherd RB : A Motor Relearning Programme for Stroke. Rockville MD : Aspen 1983
- Dietz V. Colombo G. Jensen L. Baumgartner L. : Locomotor capacity of spinal cord in paraplegic patients. Ann Neurol 37 : 574-582. 1995
- Dobkin BH, Harkema S. Rugejo P. Edgerton R : Modulation of locomotor - like EMG activity in subjects with complete and incomplete spinal cord injury. J Neuro Rehab. 9 : 183-190, 1995
- Duysens J. W.A.A, de Crommert V.:Neural control of locomotion ; Part 1 : The central pattern generator from cats to humans. Gait and Posture 7. 131-141.1998
- Duysens J. Tax AAM, Trippel M, Dietz V. : Phase-dependent reversal of reflexly induced movements during human gait. Exp Brain Res 90 : 404-414, 1992
- Grillner S. Wallen P. : Central pattern generators for locomotion with special reference to vertebrates. Ann Rev Neurosci 8 : 233-61,1985
- Grillner S. Zangger P. : How detailed is the central pattern generator for locomotion? Brain Res 88 : 367-371. 1975
- Grillner S. Zangger P. : On the central generation of locomotion in the low spinal cat, Exp Brain Res 34 : 241-261. 1979
- Hanna JP, Frank JI : Automatic stepping in the pontomedullary stage of central herniation, Neurology, 45 : P85-P86. 1995
- Hodgson JA, Roy RR, Leonde R, Dobkin B, Reggie Edgerton V. : Can the mammalian lumbar spinal cord learn a motor task? Med Sci Sports Exerc 26 : 1491-1507, 1994
- Horst R.: PNF international course book, level 1 and 2, Korea, 2003
- Inman VT. Ralston HJ. Todd F : Human Walking, William Willkins, Baltimore. 1981
- Kandell ER, Schwartz JH, Jessell TM : Principles of Neural Science 4th ed. New York, St. Louis, San Francisco, Mc - Graw Hill, 2000
- Masdeu JC, Alampur U, Cavaliere R, Tavoulares G : Astasia and gait failure with damage of the pontomesencephalic locomotor region. Ann Neurol 35 : 619-621, 1994
- Pearson KG : Common principles of motor control in vertebrates and invertebrates. Ann Rec Neurosci : 265-297. 1993
- Pearson KG : Proprioceptive regulation of locomotion. Curr Opinion Neurobiol, 5 : 786-791, 1995
- Professional Staff Association, Rancho Los Amigos Medical Center : Observational Gait Analysis Handbook, Downey, California 1989
- Richards CL, Malouin F. Dumas F. Tardif D : Gait velocity as an outcome measure of locomotion recovery after stroke. In : Craik RL and Oatis C. eds : Gait Analysis :

- Theory and Application. St-Louise, Mosby 355-364. 1995
- Rossignol s. : Neural control of stereotypic limb movements. In : rowell LB, Sheperd JT, editors, Exercise : Regulation and Integrarion of Multiple Systems, Handbook of Physiology, Sect. 12. Bethesda MD : America Physiologicial Society, 173-216, 1996
- Wernig A. Muller S. : Laufband locomotion with body weight support improved walking in persons with severe spinal cord injuries. Paraplegia 30 : 229-238. 1992
- Wernig A. Muller S. Nanassy A. Cagol E : Laufband therapy based on rules of spinal locomotion is effective in spinal cord injured person, Eur J Neurosci 7(4) : 823-829. 1995
- Whelan P : Control of locomotion in the decerebrate cat, Prog Neurobiol, 49: 481-515. 1996
- Wilson JM : Developing ambulation skills, In Connolly BH. Montgomery PC. : Therapeutic exercise in developmental disabilities. Chattanooga Corporation 83-94. 1987