

기능적 전기자극의 임상 적용에 관한 고찰

조 미 숙

(대구대학교 대학원 물리치료학과)

이 인 학 김 인 섭

(대전보건대학 물리치료과)

Functional Electrical Stimulation : A Review of Clinical Application

Cho Mi-Suk, P.T., M.S.

(Physical therapy major, Graduate School of Rehabilitation Science, Daegu University)

Lee In-Hak, P.T., Ph.D. Kim In-Sup, P.T., M.S.

(Dept. Physical Therapy, Taejon Health Science College)

ABSTRACT

Functional Electrical Stimulation(FES) cause paralysed muscles to contract in some clinical circumstances. Generally, FES has been thought of as a valuable tool in activating any skeletal muscle paralysed as a result of upper motor neuron damage.

But, the function of cardiac and smooth muscle is also affected by upper motor neuron damage.

Today, various applications of FES are investigated, including conditioning cardiovascular exercise, cough and breathing assistant, improving bowel and bladder control, hand grasp, standing and walking etc.

This review will focus on the literature reporting application of FES to control respiratory capabilities and internal organ function as well as increase muscular strength, hand grasp, standing and walking in patients with upper motor diseases.

Key Words: Functional Electrical Stimulation, Upper Motor Disease, Respiratory Capabilities.

1. 서론

신경이나 근육을 자극하기 위한 전기의 적용은 18세기에 마비된 근육의 치료를 목적으로 galvanic current를 이용한 이래로 계속 발전되어 왔다.

기능적 전기자극은 1961년 Liberson에 의해 처음으로 편마비환자의 보행 중 유각기 동안에 나타나는 족하수(foot drop) 조절을 위해 비골신경을 자극함으로써 마비된 하지의 고관절, 슬관절과 발목 배측굴곡을 동시에 일으키는 굴곡반사를 유발하여 보행을 가능하게 한 것로부터 시작되었다. 이러한 것을 바탕으로 하여 1967년 Gracanic 등은 기능적 전기자극을 더 이상 수의적으로 조절할 수 없게 된 근육에 전기자극을 가하여 근육수축을 유발함으로써 기능적으로 유용한 동작을 만들어내는 치료법으로 정의하였다(박래준 등, 2002).

기능적 전기자극은 편마비환자나 뇌성마비, 척수손상과 같이 상위운동신경원의 손상의 결과로 나타난 마비된 근육을 활성화시키는데 유용한 도구이다(Wilder et al., 2002). 즉, 기능적 전기자극은 상위운동신경원의 조절기

능은 상실되었으나 하위운동신경원이 정상적인 환자에게 적용되는 치료법으로 적은 양의 전기흐름을 주어 신경활성화를 조절하는 분야로서, 전기적 흥분을 일으켜 원하는 운동신경섬유를 자극하여 근육을 수축시키는 것으로 신경근전기자극(neuro-muscular electrical stimulation; NMES)으로부터 시작되어 보통 약화된 근력의 강화, 경직의 감소와 관절가동 범위의 증진 또는 수의적 운동조절의 향상을 목적으로 사용되어 왔다(McCarthy et al., 2002).

국내에서도 이영희 등(1995)이 손상 후 근긴장도의 감소와 무용성 위축으로 인해 나타나는 마비된 부위의 골조직 내 무기질의 급격한 감소를 막는데 손상 초기에 기능적 전기자극의 적용이 효과적임을 보고하였으며, 그밖에 척수손상이나 뇌손상을 가진 환자를 대상으로 한 기능적 전기자극의 임상적 적용이 많이 보고되고 있다(장순자 등, 1999; 한태륜 등, 2002).

최근에는 기능적 전기자극이 근력강화, 지구력강화, 관절구축방지, 이동, 기립, 보행 등의 목적과 함께 심혈관계 운동, 비뇨와 방광 기능의 조절과 호흡보조를 목적으로 사용되는 등 그 활용도는 점점 더 광범위해지는 추세이다(Bryant, 1995).

이러한 점을 염두에 두고 본 연구는 상위 운동신경원 손상 시 기능적 전기자극의 임상적 적용 가운데 특히 근래에 활발하게 이루어지고 있는 호흡분야를 포함한 여러 연구 동향을 문헌을 통해 고찰하고자 한다.

II. 기능적 전기자극의 신경생리학

기능적 전기자극의 신경생리학적 기전은 크게 원심성 기능적 전기자극(efferent functional electrical stimulation)과 구심성 기능적 전기자극(afferent functional electrical stimulation)으로 분류된다. 원심성 기능적 전기자극은 운동신경섬유를 자극하여 전기적 흥분을 일으킴으로써 신경전달물질을 유치시켜 근육을 수축시키는 자극법이며, 구심성 기능적 전기자극은 구심성 신경섬유의 자극을 통하여 척수반사 기전의 간접적인 영향을 증대시키는 자극법이다. 그러므로 기능적 전기자극과 관련된 신경생리학적 기전에는 인간의 의지나 반사자극으로 인한 운동신경원의 활성화에 따른 근육의 수축과 고유수용성 반사기전(proprioceptive reflex mechanism)이나 근피성 반사기전(musculocutaneous reflex mechanism) 등의 활성화에 의한 근육의 수축 모두를 포함한다(민경옥, 2001).

지속적인 근 수축을 일으키기 위해서는 기능적 전기자극은 최소한 초당 20회의 활동전위를 유발해야 하며 근육은 연속해야 한다(Popovic et al., 2001).

정상적으로 근육이 수축하는 동안에는 제1형 근섬유(slow twitch muscle fiber)가 먼저

동원되고, 제2형 근섬유(fast twitch muscle fiber)는 나중에 동원된다. 그러나 전기자극에 의해서 근육의 수축이 일어날 때는 이 순서가 바뀌어 피로가 더 빨리 나타난다. 이는 신경섬유의 직경이 큰 2형 근섬유의 흥분역치가 낮기 때문에 먼저 동원되게 되어 수의적 근 수축에 비해 더 쉽게 근 피로가 발생되는 것이다(Solomonow, 1984).

또한, 상위운동신경원 병변 이후 근 위축과 더불어 근섬유 조성비율의 변화가 일어난다고 보고되었다(Castro et al., 1999). 즉, 손상 전에 비해 피로에 대한 저항이 큰 1형 근섬유 비율이 2형 근섬유 비율에 비해 감소하여 피로를 쉽게 느끼게 되는 것이다. 이 때, 지속적으로 기능적 전기자극 치료를 하는 경우 제2형 근섬유에서 제1형 근섬유로 바뀌어 전기자극에 대한 근육의 피로도를 감소시킬 수 있다. 지속적인 근육의 수축에 따른 피로현상을 줄이기 위하여 전기자극의 주파수(frequency)를 낮추고, 파형의 변화를 주고, 근육의 자극 위치를 변화시키는 노력이 필요하다. 주파수가 낮을수록 전기자극에 의한 피로가 늦게 나타나므로, 임상에서는 강축성 수축(tetanic contraction)이 나타나는 가장 낮은 주파수를 사용한다. 이러한 목적을 위해 사용되는 주파수의 범위는 대략 40~50 Hz이다(Hudlicka et al., 1982).

Hainaut와 Duchateau(1992)는 기능적 전기자극의 지속적인 적용이 근육의 최대 수의적 수축을 현저하게 증가시키며, 적용기간이 충분히 길게 유지된 경우, 저주파에서는 적근(red muscle)이 자극되고 고주파에서는 백근(white muscle)이 자극됨을 보고하였다.

Ⅲ. 기능적 전기자극의 적용

게 한다.

1. 보행

Inman 등(1981)은 효율적인 보행에 필요한 6가지 결정적인 요소로 골반회전, 골반경사, 골반 측방전위, 입각기 시 슬관절 굴곡 및 족관절의 굴곡/신전 기전과 슬관절/족관절/발의 회전을 정의하였다(Inman et al., 1981). 척수손상 환자들은 이들 중 한 개 또는 그 이상의 기능적 결손을 동반함에 따라 비효율적인 보행을 나타낸다. Sadowsky(2001)는 하지마비 시 양측 단하지 보조기를 착용하고 보행할 때 정상적인 보행주기 동안 소모하는 에너지량의 6배가 요구된다고 보고하였다.

편마비인 경우에도 족하수 및 느린 보행 속도, 고관절 슬관절 움직임에서 병적 보행 양상을 보인다. 이에 대해, 기능적 전기자극의 적용이 보행 시 단하지 보조기의 기능을 대신할 수 있으며 족부의 내반을 개선시키는데 효과적임을 보고하였다(Granat et al., 1996; Waters et al., 1985; Cozean et al., 1988). Wilder(2002)는 비골신경에 대한 기능적 전기자극의 적용이 족하수 치료에 효과적임을 보고하였다. 1961년 Liberson 등에 의해 편마비환자의 비골신경의 전기자극이 하수족을 예방할 수 있었다고 처음 보고한 이후, 보행기능 개선을 위한 기능적 전기자극의 적용은 활발하게 이루어져 왔다. 많은 선행연구 결과로 미루어 볼 때 기능적 전기자극은 신경에 전기적 자극을 가해 마비된 근육의 수축을 유발함으로써 하지 마비환자가 보조기를 착용하지 않고도 기립 및 보행을 가능하

2. 상지기능

사지마비 환자의 독립적인 일상생활 활동들을 성공적으로 성취하기 위한 가장 중요한 기능은 손의 기능이다. 손의 기능을 향상시키기 위해 기능적 전기자극을 적용할 때 두 가지 중요한 목적을 갖는다. 첫 째는 강력한 잡기기능을 일정하고 오래 유지할 수 있게 하거나, 나머지 하나는 작은 물건들을 조작하는데 사용되는 정밀한 집기기능을 부드럽게 유지하게 하기위한 것이다. 집기방법에 관계없이 손의 기능을 보조하기 위한 기능적 전기자극의 적용은 환자가 보존하고 있는 상지기능을 방해하지 않아야 하며, 기능적 전기자극에 의해 유도되는 동작들은 관절의 실제 동작에 일치해야 한다(Popovic et al., 2001).

특히, 상지에 있어서 기능적 동작은 매우 섬세함이 요구되므로,, 기능적 전기자극의 자극변수 즉, 자극 강도, 빈도, 돌발파의 폭, 시간, 전류파형, 상승시간 등의 많은 변수를 고려해야 한다(Powell et al., 1990). 한태륜 등(2002)은 편마비환자의 상지에 대한 기능적 전기자극은 강도에 관한 연구에서 손 펴기 동작을 행할 때 환측 팔에 더 많은 자극 강도가 필요했으며 만성 편마비환자의 경우 더 많은 자극 강도를 필요로 했다고 보고하였다. Degnan(2002)는 사지마비환자의 손의 기능을 보존하기 위한 기능적 전기자극의 적용이 C5-C6 수준의 척수손상 환자의 장측면 집기와 외측 집기 기능을 향상시켰다고 보고하였다.

상위운동신경 손상을 입은 환자의 약 90%

에서 환측에 나타나는 이완성 마비로 인해 중력에 대한 저항이 소실되어 견관절에서 아탈구가 나타난다. 이것은 뇌졸중 환자의 어깨 통증의 주된 원인으로 분류된다. 편마비환자의 견관절 아탈구를 개선하기 위해 기능적 전기자극을 적용하였을 때 급성 편마비 환자군에서 만성 편마비 환자군에 비해 치료효과가 컸음이 보고되었다(Wang et al., 2000).

3. 근력과 근 지구력

기능적 전기자극이 근력에 미치는 효과에 관한 연구는 활발히 이루어져 왔다. 신경에 전기자극을 가하면 마비된 근육의 수축을 일으켜 근력강화를 시킬 뿐만 아니라 정상인에서도 근력증가를 가져왔음을 밝혔다. Selkowitz(1985)는 정상인의 대퇴사두근에 기능적 전기자극을 4주간 적용 후 대퇴사두근의 등척성 근력이 증가되었다고 보고하였다. Granat 등(1993)이 척수손상환자를 대상으로 25 Hz의 주파수로 3개월간 기능적 전기자극의 적용 후 대퇴사두근의 근력이 증가되었다고 보고하였다. 이밖에 상위운동신경원 손상환자를 대상으로 한 기능적 전기자극의 적용 후 근력증가에 관한 많은 선행논문들이 있다 (Sipsky et al., 1993; Yarcony et al., 1990).

근 지구력 향상을 위한 기능적 전기자극은 2형 근섬유를 1형 근섬유로 변화시킬 만큼 충분히 긴 기간 동안 지속적으로 10 Hz의 저주파수로 적용해야 한다고 보고되었다(Castro et al., 1999).

4. 내장 기능 조절

기능적 전기자극은 골격근의 수축을 유발할 뿐만 아니라 심근과 내장근의 활성화에 적용되고 있다. Jarvis와 Rijkhoff(2001)는 기능적 전기자극이 질병이나 외상 후 혈액순환을 증진시키고 방광과 배변조절을 가능하게 하며 성기능을 향상시킨다고 보고하였다. 또한 삼입식 기능적 전기자극을 척수손상환자의 방광과 장에 적용한 후 대부분의 환자들에게서 장운동에 요구되는 시간이 현저하게 단축되었음을 보고 하였다(Brindley, 1994). 기능적 전기자극에 의한 배변, 배뇨기능의 조절은 요도 합병증을 감소 및 예방할 뿐만 아니라 척수 손상자의 삶의 질을 향상시킨다.

5. 호흡 능력

1964년 Glenn에 의해 마비된 호흡근육의 횡격막 신경자극(phrenic nerve stimulation; PNS)이 적용된 후 대표적인 호흡 보조 장치인 기계적 환기(mechanical ventilation; MV)는 전통적으로 호흡 근육마비, 특히 횡격막 마비 환자의 호흡보조를 위해 사용되고 있으며 C3 수준이상 손상을 받은 경우 횡격막 신경자극이 사용된다. 이러한 횡격막 신경자극과 기계적 환기는 그것의 기능과 적용하는 환자의 삶의 질에 관해서 몇몇 제한점을 갖는다 (Kandare et al., 2002).

이러한 삼입식 전기자극과 함께 표면 전극식 복부근육의 기능적 전기자극은 신경학적으로 손상을 입지 않았거나 호흡능력이 있는 척수손상 환자의 환기보조에 효과적이다(Sorli et al., 1998; Stanic et al., 2000).

Kandare 등(2002)은 자발적인 호흡이 불가능한 척수손상환자들을 대상으로 한 복부근육의 기능적 전기자극 실험에서 복직근과 복사근육을 주파수 45 Hz, 자극강도 60~100 mA, 맥동 진폭 25 μ s으로 자극하였을 때, 1회 호흡용적과 총 폐환기량이 증가되었음을 보고하였다. 이때 수용할만한 1회 호흡용적수준은 기능적 전기자극을 최고 3분 적용하는 동안 유지되었다. 호흡근육을 전기적으로 자극할 때 다른 골격근보다 피로가 쉽게 온다. 횡격막이 반복적으로 수축할 때 심각한 피로가 발생한다. 피로는 호흡 시 축적되는 gas와 지속시간의 밀접한 관계에 의해 발생한다. 만약 CO₂가 기대치보다 급속하게 증가할 때 재 호흡 시 흡수되는 산소에 5%의 CO₂가 섞이게 된다. 따라서 간헐적으로 부하되는 호흡에서 CO₂가 보다 천천히 증가되며, 이에 따라 호흡의 지속시간은 길어진다(Gandevia et al., 1998).

Exner와 Baer(2000)는 C4 수준이상의 척수손상환자, 두부 외상과 혈관 손상 등의 환자를 대상으로 하여 복부근육의 기능적 전기자극이 인위적으로 폐 환기를 증가시킴을 보고하였다. Taylor 등(2002)은 C3,4 수준의 사지마비 환자의 복부근육의 전기자극이 최대 호기량을 증진시킨다고 보고하였다.

Zupan 등(1997)은 사지마비 환자를 대상으로 호흡근 훈련과 함께 호기 초기에서 복부근육의 전기자극 결과, 호기 초기에 적용되는 복부근육의 전기자극이 호흡운동만을 실시했을 때보다 효과적임을 보고했다.

Linder(1993)는 사지마비 환자의 복부근육의 기능적 전기자극이 자발적 기침 시에 비해 최대 호기압을 약 80% 증가시켰다고 보고

하였다.

Lanbein 등(2001)은 C5~T7 수준의 척수손상 환자에게 대한 복부근육의 기능적 전기자극이 강제폐활량을 23%, 강제 호기량을 16%와 최대 호기량률을 22%증가시켰다고 보고하였다.

복부근육의 전기자극은 복부근육을 수축시켜 복벽을 내측으로 밀어 복부내압을 증가시킨다. 이는 횡격막을 흉강으로 이동시킨다. 이러한 횡격막의 전위는 결과적으로 흉막압을 증가시키고 폐용적을 감소시켜 호기를 증가시킨다. (DeTroyer & Deisser, 1981). 또한 건강한 사람을 대상으로 한 복직근의 전기자극이 횡격막의 두부쪽 전위와 늑곽의 전위 직경을 크게 감소시킨다고 보고되었다 (DeTroyer & Estenne, 1988; Mier et al., 1985). 호기능력의 증가는 기능적 전기자극을 적용함으로써 최대 호기근인 복직근의 근력이 강화되어 나타난 것이다.

IV. 결론

기능적 전기자극은 족하수(foot drop) 개선을 위해 적용된 이후로 현재까지 상위운동신경원의 병변을 나타내는 뇌손상, 척수손상 및 뇌성마비 아동의 신경 재활분야에서 광범위하게 이루어져 왔다.

많은 선행 연구들은 척수손상 환자나 뇌손상 환자를 대상으로 한 기능적 전기자극이 경직의 감소, 근력 및 운동범위의 증가 등의 기능적 향상을 가져온다고 보고하였다. 또한 기능적 전기자극은 사지마비 환자의 손의 기

능을 향상시키는데 사용되며 양 하지마비 환자의 보행을 가능하게 하고 척수손상 환자의 기립을 도와준다.

뇌성마비 아동의 재활분야에서도 기능적 전기자극이 보다 광범위하게 사용되고 있다. 뇌성마비 아동을 대상으로 한 기능적 전기자극은 보통 외과적 수술 후 근육을 자극하여 수술 후에 나타날 수 있는 무용성 위축을 방지하고, 근육의 재교육을 돕기 위해 사용된다.

최근에는 기능적 전기자극이 주로 신경근 재교육을 위한 신경재활치료에 사용된다. 기능적 전기자극을 이용하여 손상과 기능부전을 최소화시키고 결과적으로 환자가 특정한 과제와 기능을 독립적으로 수행하는 방법을 재교육시키는 것이다. 뿐만 아니라 기능적 전기자극이 심혈관계, 빈요, 방광기능의 조절과 호흡 보조에 적용되는 등 그 사용범위가 점점 확대되고 있는 추세이다.

또한 기능적 전기자극은 적용에 전문 인력이 필요치 않고 휴대가 간편하며, 적용 상태로 일상생활이 가능하기 때문에 상위운동신경원의 손상 후 재활에 있어서 비교적 안전하고 간편한 치료법이라고 생각된다.

참고문헌

민경옥 : 전기치료학. 현문사. 2001.
박래준, 박흥기, 구봉오 등 : 전기생리학. 대구대학교출판부. 2002.
이영희, 원남희, 박준성, 등 : 기능적 전기자극이 하지의 골조직에 미치는 영향. 대한재활의학회지. 19(4);694-699, 1995.
장순자, 김범준, 김창원, 등 : 편마비 환자에서

단하지 보조기 및 기능적 전기자극 적용 후 보행 양상 변화. 대한재활의학회지. 23(4);853-860, 1999.

한태륜, 임석진, 김대열, 등 : 편마비 환자의 상지에 대한 기능적 전기자극의 강도. 대한재활의학회지. 26(4);379-383, 2002.

Brindley GS : The first 500 sacral anterior root stimulators : implant failures and their repair. International Med Soc Paraplegia. PAR(682), 1994.

Bryant S : Functional electrical stimulation : Can it help you walk? Accent on Living. 1;34-35, 1995.

Castro MJ, Apple DF, Staron RS : Influence of complete spinal cord injury on skeletal muscle within 6 month of injury. J Appl Physiol. 86;350-358, 1999.

Cozean CD, Pease WS, Hubbell SL : Biofeedback and functional electric stimulation in stroke rehabilitation. Arch Phys Med Rehabil. 69;401-405, 1988.

Degnan GG, Wind TC, Jones EV, et al : Functional electrical simulation in tetraplegic patients to restore hand function. J Long Term Eff Med Implants. 12(3);175-188, 2002.

DeTroyer A, & Deisser P : The effects of intermittent positive pressure breathing on patients with respiratory muscle weakness. Am Rev Respir Dis. 124;132-137, 1981.

DeTroyer A, & Estenne M : Functional anatomy of the respiratory muscles.

- Clinics in Ches Medicine. 9;175-193, 1988.
- Dworkin JP : Motor speech disorders a treatment guide. USA Mosby. 1996.
- Exner G, & Baer CA : functional electrical stimulation in paralyzed respiratory muscles. International Neuromodulation Society. 3;211-217, 2000.
- Granat MH, Maxwell Dj, Ferguson ACB, et al : Peroneal stimulator : Evaluation for the correction of spastic drop foot in hemiplegia. Arch Phys Med Rehabil. 77;19-24, 1996.
- Gandevia SV, Allen GM, Butler JE et al. : Human respiratory muscles : sensations, reflexes and fatigue ability. Clinical and Experimental Pharma Cology and Physiology. 25;757-763, 1998.
- Hainaut K, & Duchateau J : Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. Sports Med. 14;100-113, 1992.
- Hudlicka O, Tyler KR, Srihari T : The effect of different patterns of long term stimulation on contractile properties and myosin heavy chains in rabbit fast muscles. Pflugers Arch. 393;164-170, 1982.
- Inman VT, Ralston HJ, Todd F : Human Walking, Williams and Willkins. Baltimore. 1981.
- Jarvis JC, & Rifkhoff JM : Functional electrical stimulation for control of internal organ function. Neuromodulation. 4;155-164, 2001.
- Kandare F, Exner G, Jeraj J. et al : Breathing induced by abdominal muscle stimulation in individuals without spontaneous ventilation. International Neuromodulation Society. 5(3);180-185, 2002.
- Langbein WE, Maloney C, Kandare F. et al : Pulmonary function testing in spinal cord injury : Effects of abdominal muscle stimulation. Journal of Rehabilitation Research and Development. 38(5);591-597, 2001.
- Linder SH : Functional electrical stimulation to enhance cough in quadriplegia. Chest. 103;166-169, 1993.
- McCarthy JJ, Finson R, Smith BT. et al : Cerebral palsy : Results of surgical releases augmented with electrical stimulation. Neuromodulation. 5(2);113-119, 2002.
- Mier A, Brophy C, & Estenne M : Action of abdominal muscles on rib cage in humans. J Appl Physiol. 58;1438, 1985.
- Popovic MR, Curt A, Keller T et al : Functional electrical stimulation for grasping and walking : indications and limitations. Spinal Cord. 39;403-412, 2001.
- Powell J, David Pandyan A, Granat M, et al : Electrical stimulation of wrist extensors in poststroke hemiplegia. Stroke. 30;1384-1389, 1999.
- Selkowitz DM : Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. Physical Therapy. 65;186-196, 1985.
- Sipski ML, Alexander CJ, Harris M :

- Long-term use of computerized bicycle ergometry for spinal cord injured subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 74;238-241, 1993.
- Sorli J, Kandare F, Jaeger RJ. et al : Ventilatory assistance using electrical stimulation of abdominal muscles. *IEEE Trans Rehab Eng.* 4;1-6, 1996.
- Solomonow M : External control of the neuromuscular system. *IEEE Trans Biomed Eng.* 31;752-763, 1984.
- Stanic U, Kandare F, Jaeger RJ. et al : Functional electrical stimulation of abdominal muscles to augment tidal volume in spinal cord injury. *IEEE Trans Rehab Eng.* 8;30-34, 2000.
- Taylor PN, Tromans AM, Harris KR. et al : Electrical stimulation of abdominal muscles for control of blood pressure and augmentation of cough in a C3/4 level tetraplegic. *Spinal Cord.* 40;34-35, 2002.
- Wang RY, Chan RC, Tsai MW : Functional electrical stimulation on chronic and acute hemiplegic shoulder subluxation. *AM J Phys Med Rehabil.* 79;389-390, 2000.
- Waters RL, McNeal DR, Faloon W, et al : Functional electrical stimulation of the peroneal nerve for hemiplegia. *J Bone Joint Surg.* 42;792, 1985.
- Wilder RP, Wind TC, Jones EV. et al : Functional electrical stimulation for a dropped foot. *J Long Term Eff Med Implants.* 12(3);149-159, 2002
- Yarcony GM, Jaeger RJ, Roth E, et al : Functional neuromuscular stimulation for standing after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 71;201-206, 1990.