

기능적 전기자극 치료의 최근 기법과 향후 발전 방향

서울대학교 병원 물리치료실, 안산 1대학 물리치료학과,¹⁾ 경기대학 물리학과²⁾

정진우 · 김순자,¹⁾ 임종수²⁾

Current method of Functional Electric Stimulation and Direction of Henceforth Expansion

Chung, jin-woo MA,RPT Kim, soon-ja MA,RPT¹⁾ Lim, Jong-Soo Ph.D.²⁾

Department of Physical Therapy Seoul Natioal University Hospital

Department of Physical Therapy Ansan college¹⁾

Department of Physics Kyonggi University²⁾

- ABSTRACT -

Functional Electrical Stimulation is the clinical application of a small electric current to the intact nerves of the body, in order to trigger a muscle contraction. This contraction is then incorporated into a functional activity, for example walking. A clear distinction needs to be made between therapeutic stimulation and functional stimulation. The former being of an exercise orientation, where one would relax while the stimulation works on its own. Functional electrical stimulation on the other hand, incorporates this elicited muscle movement into an everyday activity, like standing, walking, reaching out etc.

But recently, New method used to FES which updated electrode insuit in muscle and small nerve branch. A lot of new research build up many countries such as England, USA, Japan, Spain, Canada. So I had been write this paper for introduce new FES method, and I hope to more enhanced motivation of therapist for the functional electric stimulation.

I. 서 론

인체에 치료적으로 사용된 전기자극은 B.C 400 년경에 이미 의료적 치료의 한 영역으로 들어오게 되었다. 1840년에는 마비된 근육에 평류(galvanic current)를 통전하는 치료가 사용되었으며 1907년에는 탈신경을 측정하는 시도로 전기 자극을 시도하게 되었다. 1900년대 이후에는 기능적 전기자극으로 마비된 근육의 치료로 이용되고 있다. (이영희 등, 1995)

전기자극은 신경근계(neuromuscular system)의 치료나 진단목적으로 이용되고 있으며 인체에서 발생시키는 신호 역시 대부분 전기적 성질을 나타내고 있다. 치료용으로 이용되는 전류의 주파수는 주로 0-100Hz 범위이고 전체 파장으로 볼 때 이 파장은 저주파에 속하지만 이 범위의 주파수 내에서도 50Hz 이하의 낮은 주파수와 그 이상의 높은 주파수로 따로 분류하여 이용한다. 치료주파수 내의 이러한 분류는 신경근계에 미치는 효과가 다르다고 보고 되어 있다. 대개 0 - 10Hz의 자극은 통증조절이나 침과 유사한 효과를 얻기 위하여 이용되며, 100Hz에 가까운 주파수는 근육의 재훈련, 경직변화, 기능적 전기자극 등을 목적으로 이용하고 있다. 이러한 사실은 전기자극기와 컴퓨터의 발달에 의하여 자극을 가하는 전류의 주파수, 강도, 자극기간 등의 변조를 이용한 전기조절이 가능해진 후에 많은 변화를 가져왔으나 기본적인 원리는 위에 언급한 것을 기준으로 하고 있다.(이청기, 1997)

일반적으로 전기자극치료는 말초신경 마비에 대해서는 근 위축지연, 근력강화를 목적으로 치료하고 있으며, 중추신경 마비에 대해서는 근육의 불용성 위축 방지, 경직완화, 근재교육과 근육의 평가, 혈전증 및 욕창방지 등에 이용되고 있다. 그러나 통증을 경감시킬 목적으로는 감각신경에 경피신경자극(TENS)을 하고 있으며 그 이론적 근거는 Melzak과 Wall의 관문조절설에 기초하고 있다.(윤태식 등, 1997)

최근에는 말초신경은 물론 중추신경이 마비된 근육에도 전류의 빈도를 빠르게 하여 연속에 의한 강축을 유발시켜 마비가 있는 환자에게 강한 근수축을 유도하여 운동기능의 강화와 근 기능을 향상시키기 위한 목적으로 다양한 전류를 이용한 치료적 전기자극(Therapeutic Electrical Stimulation, TES)이 사용되고 있다. 의공학의 발달과 컴퓨터의 발달로 치료기는 간단하고 소형화되어 몸에 지니고

다닐 수 있게 되었으며 근육의 여러 곳을 시간차를 두어 자극을 가하여 정상적인 운동기능의 순서대로 근 기능이 일어나도록 자극을 줄 수 있게 개발되어 말초신경마비의 경우에는 물론 중추신경장애 환자에게도 사용하게 되었다.(이영희 등, 1995)(이청기, 1998) 즉 뇌졸중환자는 손의 기능을 잡는 기능으로 향상시키거나 관절의 탈구를 방지하기 위하여 사용되고 있으며(김용권, 2000), 하지는 보행 기능을 정상에 근접하도록 전기자극을 정상보행의 속도와 기능에 맞추어 근 수축이 유발되도록 유도하고 있다. 척수장애환자의 경우에도 독립보행이 가능하도록 보행의 시간차에 의한 근수축의 유발로 보조기의 착용 없이 정상보행처럼 자연스럽게 걸어갈 수 있게 도움을 주고 있다. 이와 같이 전기를 사용하여 마비된 부분을 기능적으로 사용하도록 유도하는 전기치료 방법이 점점 임상적 관심거리가 되어 가고 있다. 전기치료로 동통 완화 뿐 아니라 운동훈련과 기능적 훈련을 병행할 수 있는 기능적 전기 자극에 대한 것을 문헌을 통하여 고찰하고 최신기법을 소개하고자 한다.

II. 기능적 전기자극의 임상적용과 최신기법의 소개

1. 기능적 전기자극(Functional Electric-nerve Stimulation, FES)의 정의

의학이 발전되어 있어도 뇌졸중이나 척수손상과같은 상위 운동신경원(upper motor neuron, UMN)의 재생은 불가능하다. 그러나 이러한 상위운동신경에 장애가 있다고 하더라도 말초신경(α 운동신경)이나 근육의 전기적인 흥분성은 온전하기 때문에 전기자극을 주면 근 수축을 일으킬 수가 있다. 따라서 중추신경계에 손상을 받은 환자라고 하더라도 말초신경이나 근육에 적합한 전기자극을 주어 움직임을 일으키고자하는 말초신경의 주행방향이나 주된 동작을 일으킬 수 있는 해당근육의 운동점에 가하면 건강인의 팔 다리처럼 움직임을 재현시킬 수가 있다. 이러한 잃어버린 생체기능의 재현을 목적으로 한 전기자극을 일반적으로 기능적 전기자극(Functional Electric Stimulation)이라고 하며 그 약어로 FES로 통용되고 있다.

Gracanian 등(1967)은 기능적 전기자극이란 정상적인 신

경지배를 받지 못하는 근육에 전기자극으로 근 수축을 유도하여 기능적인 동작을 할 수 있도록 하는 방법이라고 하였다. 정호중 등(1993)은 기능적 전기자극은 주로 뇌졸중, 척수손상이나 두부외상 등의 중추신경 손상환자에서 마비근의 근력강화, 보행장애의 상태개선과 보행훈련 및 보조기의 역할로서 이용되고 소량의 전류를 근육이나 신경에 통전하여 목적에 합당한 신경섬유들을 활성화시켜 근 수축을 유발시키는데 사용하고 있다고 하였다. 용도는 기능적 측면과 치료적 측면으로 사용되는데 기능적 측면은 하지 마비 환자에서 서기, 보행 등에 사용되고, 치료로서는 근력이 약한 환자에게 근력강화, 횡격막 또는 방광수축을 위해 이용되고 있다. 기능적 전기자극은 일반적으로 마비 후 수개월 이후에 사용되고 있다.

척수 병변으로 인한 중추성 허반신 또는 사지 마비환자에 대한 기능적 전기자극은 운동 신경원이 살아 있는 근육들을 순차적으로 자극하여 마비된 상하지에서 특정한 움직임을 유발시키는 전기치료의 한 분야로서 보행 등의 기능회복에 그 이용빈도가 점차 증가하고 있고 근육의 마비에 의한 합병증인 욕창, 심부 정맥혈전증, 관절의 구축 등의 예방에도 좋은 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 그러나 일반적으로 척수 병변에 의한 허반신 마비환자에서는 척추의 안정성을 유지하기 위한 수술 및 회복 그리고 배변, 배뇨의 조절 등으로 마비 후 수개월이 지나서 기능적 전기자극이 시작되는데 전기자극에 의한 근수축이 척수손상 초기의 칼슘의 무기물 손실을 줄일 수 있다면 골다공증으로 인한 골절 등 합병증을 예방하는데 도움을 줄 것이다. 기능적 전기자극은 전기자극에 대해서 흥분성을 가지고 있는 생체 조직이 그 대상이 되기 때문에 심장 페이스메이커, 호흡페이스메이커, 인공내이에 와우내, 전기자극을 통한 청각보철, 시각영야에 전기자극을 주는 시각보철, 배뇨 페이스 메이커, 상지와 하지의 운동기능을 활성화하는 상지FES, 하지FES, 척추 측만증의 교정을 위한 측만증에 대한 FES, 피부감각 대행과 같은 여러가지로 응용할 수가 있다.

특히 근년에 들어 마비된 팔 다리에 대한 기능적 전기자극에 대한 연구는 급속히 발전하고 있다 이것은 전극, 절연피복재 등의 재료공학의 발달이 가속화되고, 컴퓨터공학의 진보가 크게 공헌하고 있기 때문이다. 이러한 기능적 전기자극 치료는 미국의 Cleveland에서는 기능적 전기자극에 대한 전문적인 연구센터가 있으며, 일본에서는 표층

전극의 이용보다는 근육에 미세한 전극을 삽입하는 방법을 이용하여 좋은 효과를 거두고 있다. FES의 가장 큰 임상센터는 영국, Wiltshire에 있는 살리스버리 지역병원(Salisbury District Hospital) 의학물리학과(Department of Medical Physics)로서 현재 1,100명 이상의 환자가 FES를 하고 있고, 300명이상의 FES 전문요원이 배치되어 있으며 활발한 연구와 발달프로그램이 마련되어 있다. 임상에서 흔히 사용되고 있는 Odstock Dropped Foot Stimulator와 Microstim 2, Four-Channel Exercise Stimulator 등은 이 병원 연구진이 개발해 낸 것이다.

2. 기능적 전기자극의 원리

뇌졸중 또는 척수마비가 된 상위 운동신경장해에는 대뇌피질 운동야(motor area)에서의 수의적 운동명령이 말초신경에 전달되고, 근육운동을 일으키는 상태가 된다. 기능적 전기자극은 이러한 운동마비에 대해 환자의 잔존기능(음성, 호흡 장애가 없는 부분의 운동 등)을 수의적 운동명령(제어명령)을 통해서 합리적인 프로그램을 갖춘 전기자극을 말초신경이나 근육에 전극을 부착하여 필요한 동작을 제어시키는 것으로서 그 기능을 재건시키는 것이다.

환자는 자기의 의지를 가지고 마비된 사지의 동작제어가 가능하게 된다.

3. 기능적 전기자극의 적용

기능적 전기자극을 시행할 때의 절대적인 조건은 반드시 말초신경에 장애가 없어야 한다는 것이다. 즉 전각세포에 있는 운동신경이 장애를 받아 변성이 되어있으면 그 신경지배도 변성되기 때문에 기능적 전기자극으로의 동작제어가 불가능하게 되기 때문이다. 그렇기 때문에 뇌혈관장애, 뇌성마비, 척수 손상 등의 중추성 운동마비 질환이라고 하더라도 말초신경이 정상일 경우에는 적용이 된다. 그러나 척수손상인 경우에는 손상부위의 전각세포나 신경이나 근육의 장애가 존재하는 경우도 많이 있기 때문에 그러한 경우에는 기능적 전기자극이 적용되지 않는다. 그밖에 지적 능력이 떨어져 있어서 이해하는 능력이 너무 저하되어 있을 경우, 중증의 심장 질환으로 페이스 메이커를 착용하고 있는 경우, 고혈압과 같은 내과적인 문제가 있는

경우에는 기능적 전기자극을 적용하지 못하며 중등도의 관절구축, 변형이 있을 경우 또는 전기자극에 대한 지나친 공포심이 있을 경우에도 적용이 불가능하다. 그러나 불용성 근 위축이나 경직성은 전기자극에 의한 훈련으로 개선될 수도 있기때문에 완전히 기능적 전기자극의 적용을 배제할 수는 없다.

4. 기능적 전기자극을 위한 전극의 비교

기능적 전기자극을 신경이나 근육에 자극을 주기 위해서는 인터페이스(CPU와 단말 장치와의 연결부분을 이루는 회로)로 전기자극을 할 필요가 있다. 전극으로 자극하는 방법에는 표면전극 방법과 전극을 근육내에 삽입하는 방법의 2종류가 있다. 표면전극은 장착하기가 쉽지만 삽입전극은 장착하려면 간단한 수술이 필요하다. 표면전극은 부착된 전극이 떨어지기가 쉬우나 삽입전극은 그럴 염려가 없다. 표면전극은 반응이 좋은 곳을 선택하여 연습해야 하며 선택하기가 쉽지 않지만 삽입전극을 사용하면 그럴 필요가 없고 자극의 선택성도 확실하다. 자극출력강도에 있어서도 표면전극은 피부저항으로 10mA 이상의 강한 전류의 강도가 필요하지만 삽입전극을 사용할 경우에는 10mA 이하의 약한 전류에도 잘 반응한다.

1) 표면전극으로 자극하는 방법

표면전극으로 자극하는 방법은 인체를 손상시키지 않고도 간편하게 사용할 수 있기 때문에 널리 일반적으로 사용되고 있다. 특히 하지에 대한 기능적 전기 자극은 비교적 큰 그룹의 자극 방법으로도 기립보행이 가능하기 때문에 표면전극 자극 방법이 많이 이용되고 있다.

표면전극을 사용하기 위해서는 피부의 전기저항을 적게 하고, 피부 위에 전극을 밀착시키기 위해서 젤(gel) 상태의 전극풀(electric paste)을 사용한다. 최근에는 전극 도자에 전극풀이 부착되어 있어서 여러 번 사용할 수 있고 사용하기가 편리하다.

2) 전극을 근육내에 삽입하는 방법

자유도가 큰 관절의 운동을 수행하기 위해서는 해당되는 여러 근육의 동작을 제어하기 위해서는 각 근육을 선택적으로 저전압 자극을 할 수 있고, 자극효과를 얻기 위해서 전극을 목적하는 해당 근육 내에 삽입하는 방법이

있다. 삽입전극에 관해서는 생체의 조직손상이나 신경마비의 위험성이 없는지를 살펴보아야 한다. 그러나 근년에 들어 의학의 발달로 전극이 인체에 무해한 재질이 나오고 있기 때문에 이러한 문제는 상당히 많이 해결되고 있다 (McNeal 등, 1977)(Peckharm 1977). 삽입전극 방법은 생체 내에 자극장치와 전극을 완전히 삽입시키는 완전삽입방법과 전극을 피부를 관통시켜 신경, 근육 근처에 삽입시키는 경피적 삽입전극방법이 있다. 삽입 전극방법에는 Case Western Reserve 대학과 Wien 대학에서 개발한 것이 있다. 이것은 가느다란 전극을 직접 신경속에 넣어서 이용한다. 동시에 피하에 삽입시키는 자극장치는 체외에서 텔레메타 방식으로 필요한 전력과 신호를 보내어 사용하고 있다(그림 1). 그러나 전극수, 수술법, 장치의 소형화의 문제 등 해결해야 할 문제가 아직 남아있어서 보편적인 실용화가 그리 쉽지는 않다.

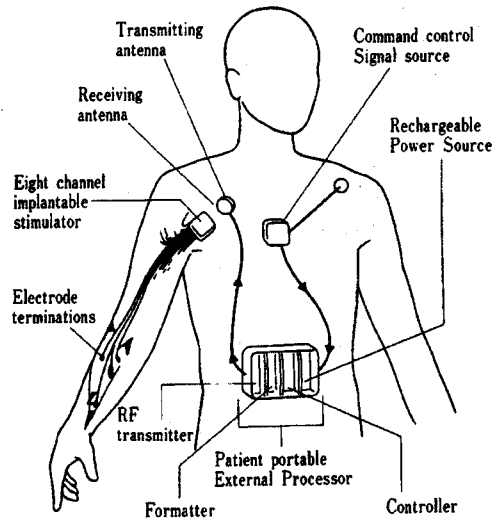


그림 1. 근육에 삽입한 FES전극과 장치들의 도형.

경피적 삽입전극 방법을 시행할 경우에는 가느다란 전극을 주사침안에 넣고 목적하는 부위에 찔러 넣은 후에 전극이 삽입되면 주사침만 빼고 전극은 근육내에 삽입해 둔다. 이 방법은 조직에 손상을 주는 일이 적고 불필요한 전극을 제거하기가 쉽기때문에 전극의 교환에 별로 어려움이 없다. 일본의 半田 (1966)은 특수한 경피전극을 개발해서 임상적용을 가능하게 하고있다. 일본에서는 현재 기능적 전기자극치료 분야에서의 연구는 주로 경피적 삽입전극 방법을 이용하고있다. Mulcahey 등(1997)은 척수손상

환자의 우측 손에 기능적 전기자극기의 미세한 전극을 삽입하여 손의 기능을 활성화하는 연구를 통하여 기능적인 손의 움직임에 대한 효과를 연구보고한 바 있다.

5. 자극출력의 변조방식

신경과 근에 전기자극을 주기 위해서는 지속시간이 짧은 펄스전류가 사용되며 자극한 근 수축량을 제어하기 위해서는 진폭 A, 펄스진폭 Tw, 펄스 주파수 $f(f=1/T)$ 를 변화시킴으로서 흥분한 신경근의 수와 빈도를 제어하는 것이다. 다양한 진폭변조(amplitude modulation AM) 펄스폭 변조(pulse width modulation PWM) 와 주파수변조 (frequency modulation FM)가 있다. 이러한 자극의 파라메타(A, Tw, F)를 증대시킬 때, 흥분한 신경근 단위가 증가하고, 수축량이 증가하는 것을 점증원 (recruitment)이라고 한다. FES에서는 점증원이 요구되기 때문에 일반적으로 진폭변조방식이 사용되고 있다.

1) 자극파형

전극의 파형(펄스파)에는 여러가지 파형이 있다. 양극과 음극의 펄스사이클에 부전류가 흐르면 전극과 생체조직에 분극현상을 일으키고 전기화학적 조성에 변화를 일으키기 때문에 좋지않다. 그것을 방지하기 위해서는 펄스파형이 완전한 직각으로 이루어져 부전류가 흐르지 않는 파형으로서 평균전류가 0이 되게 하는 상하대칭인 이상성의 파형이 적당하다. 즉, 전극과 조직에 전하량이 축적되는 평균전류 = 0이 되는 것이 절대적이다.

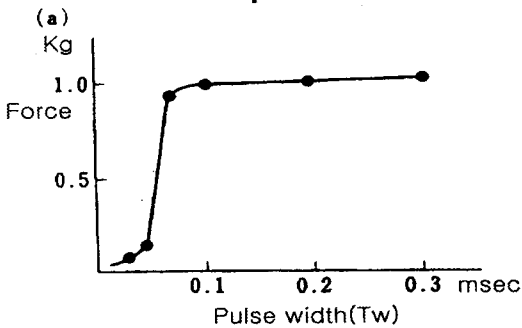


그림 2 펄스폭과 근력과의 관계

2) 펄스폭, 자극 주파수

그림 2는 C4 사지마비환자의 요골신경지배하에 있는 지

신근(extensor incisis proprius)을 전기자극해서 손가락의 신전력을 force transducer로 검출한 결과이다. 펄스폭은 0.1 msec 이상에서 급격히 상승을 보였고 그 이하에서는 급격한 저하를 보였다. 기능적 전기자극은 0.2 - 0.6msec의 범위가 사용되었다.

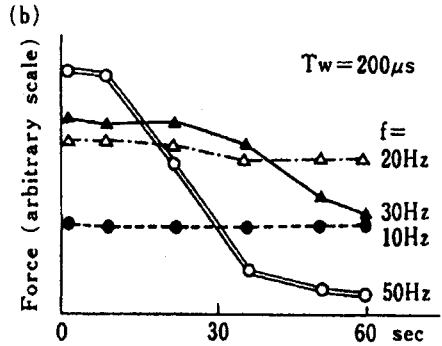


그림 3 주파수와 근력과의 관계

그림 3은 주파수에 대한 것으로 강한 근수축력을 얻기 위하여 주파수를 올리면 근의 파로현상이 생긴다. 그러나 15Hz이하의 전류로 자극하면 근육이 진동만 일어나고 근수축을 얻을 수가 없었다. 20-30 Hz의 전류를 사용하였을 때가 가장 근수축이 잘 일어났다. 따라서 근수축을 유발하기 위해서는 0.1이상의 펄스폭과 20Hz 이상의 주파수를 사용하는 것이 가장 적당하다는 것을 알 수 있다.

3) 자극진폭

자극진폭은 전극과 해당신경근과의 거리로 결정하고, 삽입전극일 경우에는 최대 15V 정도로 표면전극으로는 20-100V가 필요하다.

6. 마비된 지체의 제어방법

1) 자극 데이터 작성

기능적 전기자극으로 마비된 지체의 동작을 제어하기 위해서는 각 신경과 근육을 어느 정도 강한 자극에 반응하는가를 얻어낼 자극 데이터가 필요하다. 뇌졸중(편마비) 환자의 침족의 경우 기능적 전기자극을 실시할 경우에는 보행의 유각기를 족저 스위치로서 검출하고 그 근육을 지배하는 비골신경을 자극해서 족관절의 배굴을 일어나게

해야 하기때문에 자극 출력도 1 채널이 좋고, 그 자극 패턴도 스위치 on/off로 일정압력의 출력이 전극에 부여되는 단순한 것이어야한다. 그러나 하반신마비의 보행의 제어나 사지마비, 편마비의 상지의 제어로는 관절운동의 자유도가 여러 관절을 제어해야 하기때문에 보다 시간적 공간적으로 억제시킬 자극 데이터가 요구된다.

이러한 자극데이터는 작성하기 위해서는 근전도를 이용하여 상지와 하지의 일상생활동작에 의한 수축패턴을 정상피험자의 동작을 근전도로 분석하고 이것을 기초로 자극 데이터를 구하는 방법이 좋다. 즉 정상피험자의 상지 또는 하지의 각 근육에 와이어 전극을 삽입하고 목적인 동작을 근전도로 도출하고 전기정류후 적분한다. 다음에 각 근육에 그 최대 근방전 적분치에 대한 동작중의 근방전 적분치의 나누어진 합을 구하고 그것을 기본으로 그 동작의 표준 자극패턴을 작성하여 자극 데이터작성용 컴퓨터에 입력한다. 그리고 환자의 각 마비근의 자극역치와 자극 최대전압을 측정하고 그 수치를 자극 데이터 작성용 컴퓨터에 입력하면 그 환자 고유의 자극 데이터가 자동적으로 작성된다. 이러한 데이터를 가지고 각 근육의 적절한 수축강도를 얻어내어 기능적 전기자극에 적용한다.(半田, 1986)

2) 제어명령

환자가 마비된 팔다리를 기능적 전기자극으로서 수의적으로 제어하는 것은 환자 자신이 제어명령을 기능적 전기 자극장치에 부여해야 한다. 이 제어명령은 환자의 잔존기능에 따라 부여한다. 예를 들면 사지마비환자의 상지의 제어에는 어깨와 머리의 움직임과 음성, 호흡 등이 이용된다. 편마비, 하반신마비 환자의 보행의 제어에는 구두 밑창에 넣어둔 foot switch를 밟으면, 보행기, 지팡이 또는 손가락에 장치한 제어스위치를 손으로 조작하는 방법을 이용하고있다. 이 제어명령은 환자 스스로 조절하기 쉽게 되어있다. 그 외에 FES동작을 방해받지 않게 하는 것이 중요하며 또 제어된 동작이 좀더 자연스러운 모양이 이루어지는 것이 바람직하다.

7. 최신의 기능적 전기자극기

언제 어디서든 동작의 제어가 이루어질 수 있도록 최근에는 마이크로칩을 이용한 소형 FES장치가 개발되어 있

다. 크기는 9 cm 증량은 500g으로, 허리벨트에 착용하여 가지고 다니기 쉽게 되어있다. 1대에 30개 채널의 출력이 가능하고 연락통신(communication)단자와 2대를 연결하여 62채널까지 접속 할 수 있다. 주 전원에는 충전식 리튬 건전지를 사용하며 1회 충전으로 6시간 이상의 연속사용이 가능하게 되어 있다.

8. 기능적 전기자극의 임상적용

1) 훈련자극

기능적 전기자극을 하려면 적용하려는 관절과 근육의 구축이 없어야 하며, 이소성골화, 관절의 변형 또는 ROM의 제한이 없는 환자로서, 대부분 마비된 근육은 불용성위축으로서 전기자극에 따라 일어나는 수축력이 상당히 저하되어 있고, 근긴장 이상(경축성등)이 절반이하로 감소되어 있는 경우가 많다. 이러한 경우에는 목적된 기능적 전기자극으로 즉시 제어하는데 어려움이 있다.

이러한 경우에는 마비근에 대해 제어할 때와 동일한 자극 데이터에 의한 치료적 전기자극에 의한 훈련자극(therapeutic electrical stimulation: TES)을 시행하고 근위축을 개선하여 근력을 증강시키며 특히 경련성을 경감시켜줄 필요가 있다. 또 그 훈련으로 근의 피로저항이 증가하고 장시간 전기자극을 부여해도 근력이 유지되는 이점도 있다. 이 훈련자극은 1일 1회 30분을 6셋트로 실시하여 자극하고, 3-6개월간 시행한다.

2) 상지의 기능적 전기자극

(1) 편마비 환자에 대한 상지FES

전관절과 주관절의 마비가 가벼워 상지를 앞으로 뺏는 기능에는 문제가 없고 수지의 자동굴곡도 어느 정도 가능한 경우에 기능적 전기자극을 사용한다. 또한 수지 굴곡근(finger flexor group)의 경련성이 강하여 수지의 자동 신전력이 약해져서 손을 펴기가 쉽지않은 경우에도 기능적 전기자극을 사용할 수 있다(이영희,1995). 기능적 전기자극으로부터 손의 펴는 것을 제어함으로써 ADL상 유용한 손의 기능을 얻을 수 있다. 유고슬라비아 Ljubjana대학에서는 건축 어깨의 저장동작을 제어신호로 전기자극을 지닌 전근군(finger extensor group)에 부여하는 장치를 개발한 것이 제품화 되어있다. 이 기능적 자극 치료기는 2채널 자극장치와 어깨의 결방(harness)를 이용해서 수지신전과 주

관절신전을 제어하는 방법을 이용하고 있다. 또한 경피적 삽입 전극을 지신근(finger extensor), 모지신근(thumb extensor) 모지의전근(abductor pollicis), 모지구근(thenar muscle) 등에 삽입하여 자극하여 보다 정교한 손의 제어를 하고 있다. 표면전극으로는 모지(thumb)의 제어가 어렵지만 삽입방법으로는 손바닥쪽의 외전(palm abduction), 대립(opposition) 등의 미묘한 제어도 가능하다. 그러나 편마비환자의 경우에는 환측 상지의 움직임을 일상생활 동작에 적합하게 한 기능적 전기자극을 하지만 사용빈도는 그다지 높지 않다.

(2) 사지마비 환자에 대한 상지 FES

사지마비 환자에 대한 기능적 전기자극은 C5-6 레벨의 사지마비일 경우에 그 대상이 된다. 이 레벨의 마비는 어깨의 마비와는 다르다. 주관절과 손목관절에는 일부 마비가 있는 경우도 있지만 일상생활에 필요한 상지의 동작은 가능하다. 기능적 전기자극은 모지와 수지를 제어하는 것으로 한 손으로 기능을 할 수 있도록 하는 것이 주목적이다.

Case Western Reserve 대학의 Peckham(1977)은 환자의 어깨의 움직임을 제어 명령하는 완전 삽입형 기능적 전기자극 장치를 개발하고 C6 사지마비환자의 마비된 손의 제어를 시험하고 있다. 半田(1966)은 경피적 삽입전극으로 C4 사지마비환자의 상지의 제어를 시험하였는데 어깨제어는 BFO (balanced forearm orthosis)의 도움보다 환자의 자동운동이 되는 정도로 하는 것이 좋다고 하였다. 현재까지는 주관절보다 원위의 관절운동을 기능적 전기자극으로 억제하고 있다. 그리고 환자가 마비된 지체의 관절운동을 수의적으로 억제할 수 있게 하기 위하여 환자의 흡기, 호기를 호흡센서로 감지하고 제어할 수 있는 명령으로 이용하고 있다.

3) 하지의 기능적 전기자극

(1) 편마비 환자에 대한 하지 FES

편마비 환자의 대부분은 내반침착(equinovarus)을 보이며, 보행시 유각기(swing phase)에 있어서 발을 끄는 형태를 나타내어 보행의 어려움이 있다. 이에 대해서 Liberson 등(1960)이 처음으로 비골신경을 표면전극으로 자극해서 내반침착의 개선을 시행한 이래 유고슬라비아 Ljubljana 대학이나 미국의 Rancho Los Amigos 병원을 중심으로 해서

각국에서 많은 연구개발과 임상평가가 이루어지게 되었고 특히 그 장치가 시판되기에 이르렀다. 그 원리는 족저스위치의 on/off에 따라서 유각기를 감지하고 이에 따라 자극회로를 구동해서 비골신경에 자극 펄스를 부여하고 족관절의 배굴이 이루어지도록 하는 것이다. Granat 등(1996)은 편마비 환자에게 4주간 기능적 전기자극을 비골신경에 적용했으나 중부접지, 족관절내전, 보행 속도 등의 보행변수에 이월효과(carry over: 전기자극이 끝난 이후에도 그 효과가 지속되는 것)가 없다고 보고하였다. 그러나 Vodovnik 등(1978)은 편마비 환자에게 4주 동안 족관절 굴곡근에 기능적 전기자극을 적용했더니 보행시 슬관절의 굴곡각도와 고관절운동에 뚜렷한 이월효과가 있었다고 하였다. 또한 바이오피드백과 함께 기능적 전기자극을 편마비 환자에게 적용하였더니 슬관절 굴곡, 족관절 굴곡, 보행주기에서 이월효과가 있었다(Cozean 등, 1968)고 하였다. 김용권 등(2000)은 편마비환자의 견관절 아탈구를 기능적 전기자극을 적용하여 초기 편마비 환자의 견관절 아탈구를 개선시키는데 유용하였으며 통증과 운동제한이 개선되었다고 보고하였다. 김용욱 등(2000)의 연구에서는 뇌졸중환자의 기능적 전기자극을 적용하였을 때 보폭이 증가하였고 양 발 너비는 감소하여 보행패턴이 향상되는 모습을 보였으나 보행률은 별 변화가 없었다고 보고하였다. Burridge 등(1997)은 편마비환자 32명을 Odstock Dropped Foot Stimulator를 사용하여 대퇴사두근의 경직감소에 대한 연구를 하였다. 치료군과 대조군 모두 첫 4주간 10회의 물리치료를 실시하였다. 물리치료시간은 동일하게 적용하였고 치료군은 FES를 실시하였다. 경직의 측정은 Wartenberg pendulum test로 하였고 첫 4주간은 두군에서 모두 경직감소를 보였으나 12주 이후에는 경직감소를 보이지 않았으며 두군에서 모두 통계적인 차이를 보이지 않았다고 하였다. 문제점은 경직의 측정, 물리치료효과, 보행속도, 보행성과의 관찰에 주관적 견해가 내재해 있었다는 것이다.

(2) 하반신마비 환자에 대한 하지 FES

하반신 마비의 기립, 보행의 제어에 관해서는, 경피전극에 따른 기능적 전기자극이 처음으로 시행된 분야이다. Chizeck(1985)나 Marsolais 등(1987)은 경피전극을 장요근, 대퇴사두근, 봉공근, 박근, 대퇴근막장근, 대둔근, 슬괸근, 전경골근, 비골근 근의 표면, 척주기립근, 요방형근, 복근

근등에도 경피전극을 유지하고, 보행 제어 스위치가 작동하는 컴퓨터식 FES 장치에 따라 보행의 제어를 시행하고 있다. 환자는 여기에 쌍지팡이를 사용하여 평행보행, 횡보행, 후방보행, 계단오르기 등도 가능하다. 그러나 장기간 사용하면 4-5개월 이내에 약 35%는 전선줄이 끊어지는 단점이 있어 실용적인 면에서는 문제가 있다. 이러한 단점을 보완하여 장요근, 요방형근을 제외한 하퇴의 모든 근에 전극을 자입 유지하고 T8 하반신 마비환자의 기립, 보행의 제어를 하고있다(Handa, 1999).

9. 기능적전기치료의 생리적 및 기능적 효과

기능적 전기치료의 생리적 효과는 마비된 근육의 기능적인 사용이외에도 여러 가지 생리적인 변화와 효과가 있다. 다음은 기능적 전기치료에 관한 연구자들의 논문을 통하여 생리적 효과와 연구방향 등에 대하여 소개하도록 하겠다.

이 등(이영희, 1995)은 하지마비 토끼의 양다리에 기능적 전기 자극을 이용하여 자극을 가한 측이 자극을 가하지 않은 측보다 골 밀도의 저하가 덜 일어났다는 것을 보고하였다. 정 등(정호중, 1993)은 기능적 전기자극을 이용함에 있어서 나타나는 문제점의 하나인 전기 자극으로 인한 근육 피로에 대한 연구로 전기 자극의 주파수가 근육 피로에 미치는 영향에 대하여 조사하여 전기자극의 주파수가 높을수록 근육피로가 쉽게 유발되는 것을 확인하여 보고한바 있다. 또한 중추신경계장애로 인한 보행장애 상태 개선을 위하여 족관절 배측 굴곡근에 표면전극을 이용하여 기능적 전기자극을 임상에서 사용할 때에 발생하는 여러 문제점 중의 하나인 근육이 전기 자극에 더 이상 반응하지 않게되는 상황으로 인하여 치료를 진행시킬 수 없다는 점이다. 이는 근피로에 의하여 나타나는 현상이라고 설명할 수 있으며 여기에 관계하는 요인으로는 자극기와 무자극기의 시간, 자극의 회수 및 자극의 주파수 등이 있고, 특히 자극의 주파수는 근육 수축의 강도, 근력의 증가 비율, 근육 피로의 속도와 직접적으로 연관되어 있다고 하였다.(최현주 등, 1995). 프랑스의 Gallien 등(1995)은 1992년도에 비로소 프랑스에 처음으로 parastep이 도입되었고 T4-T10레벨의 완전마비환자 13명을 대상으로 하여 대퇴사두근 강화훈련과 회피반사를 강화하는 훈련을 하였으며 평행봉 내에서 보행연습과 균형연습을 시키고 밖에

서도 보행 훈련을 하게 하였다. 1명을 제외한 12명의 환자가 모두 독립보행이 가능하였다. 평균보행거리는 최대 360m였고 평균 76m였다. 보행속도는 초당 0.2m였다. 지구력은 만족할 만 하였으며, 정신적인 만족도는 매우 좋았고 하였다. Kagaya 등(1995)은 FES를 이용하여 하반신의 완전마비환자에 대한 일어서기와 걷기를 분석하였다.

다채널 FES와 보행분석을 통하여 완전 하반신마비환자의 일어서기 동작이 회복되었다고 보고하였다.

Thourni 등(1995)은 RGO-II hybridorthosis(하지 보조기의 일종)를 착용한 하반신마비 환자에 있어서 기능적 전기자극을 통한 보행 분석을 실시하여 보행기능이 회복됨을 보고하였다. 그는 재활원에서 6개월간 다각도로 연구하였으며, 26명의 환자를 평가하였는데 21명은 보행 프로그램에 진전이 있었고 19명은 혼자설 수 있었다. 훈련된 환자의 보행거리는 200-1400m였고 보행속도는 0.15-0.4m/sec였다. 2개월 후에 기능적으로 사용할 수 있는 사람은 15명이었다고 보고하였다.

III. 결 론

임상에서 뇌졸중환자와 척수장애환자를 많이 만나고 있으며 이들의 기능이 정상이 되기를 희망하고 있다. 그러나 그 희망은 소망일 뿐인 경우가 많다. 아직 중추신경계에 대한 이렇다할 대안이 서지는 않지만 의학과 의공학과 치료사의 노력으로 많은 진전을 보이고있다.

이러한 중추신경계의 마비로 인한 상지 및 하지의 불용 기능을 기능적 전기자극으로 많은 도움을 주고 있으며 이에 대한 연구는 더욱 임상에서 실용할 수 있도록 연구되어 가고 있고 진보되어 가고 있는 것으로 알고 있다. 또한 전자공학 및 재료공학의 발전으로 앞으로 더욱 크게 발전할 것으로 생각된다.

아직은 연구실 레벨에서 이루어지고 있는 것이 많지만 앞으로는 널리 실용화될 때까지 최적의 제어 명령을 선택하고, 센서의 개발, 동작의 정교한 제어의 개선, feedback 기능을 적립한 시스템의 고기능화, 자극전극의 개량 등 여러 가지 문제가 남아있다. 불행히도 중추성 운동 신경의 장애의 경우 상하지의 마비에 대한 근본적인 치료방법은 아직은 없다. 그래도 현재까지는 기능적 전기자극치료가 가장 유력한 기능 재건 방법의 하나이고, 앞으로는 이 분

야의 연구가 크게 발전되기를 희망하며, 또한 임상에 근무 중인 치료사들도 많은 관심과 연구가 있기를 염원하는 바이다.

참 고 문 헌

김용권, 차정진, 김상수. 기능적 전기자극이 편마비 환자의 건관절 아탈구에 미치는 효과, 대한 물리치료사 학회지, 8(1) : 133-141, 2001.

김용욱, 원종혁, 정보인. 기능적 전기자극이 뇌졸중 환자의 보행에 미치는 영향. 한국전문 물리 치료학회지 7(3) 72-78, 2000.

윤태식, 이동수, 김영신, 경피적 전기신경자극과 미세전류자극이 전기생리학적 검사에 미치는 영향. 대한 재활의학회지. 21(4) 696- 701 1997.

이영희, 원남희, 박준성, 박노목. 기능적 전기자극이 마비된 하지의 골조직에 미치는 영향. 대한 재활의학회지. 19, 694-697. 1995.

이영희, 유동훈, 원남희, 안상호. 정상 성인의 전완 수저부의 골밀도. 대한재활의학회지. 19: 165-168, 1995.

이청기 : 전기자극에 대한 신경생리학적 반응 근위부 말초신경자극. 대한재활의학회지 : 21(3) 235-242 1997.

이청기. 전기자극에 대한 신경생리학적 반응 및 척추주변 말초신경자극. 대한재활의학 회지. 22(3) : 399-406 1998.

정호중, 권도철, 박인선, Functional Electric Stimulation(FES)시 자극 주파수 차이에 따른 근육의 반응 효과에 대한 연구. 대한재활의학회지. 17 95-99 1993.

최현주, 양길태, 명정신, 정순열, 강근, 정진상, 정상인과 척추 손상환자에서의 전기자극양상에 따른 근육의 피로현상. 대한재활의학회지. 19(3) : 659- 663, 1995.

Burridge JH, Taylor PN, Hagan SA. Experience of clinical use of the odatock drooped foot stimulator . Artif Organs, 21(3):254-260 1997.

Chizeck HL : Helping paraplegic walk :A look- king beyond the Media Blitz. Technology Rev, 88 : 55-63, 1985.

Cozean CD, Pease WS, Hubbeil SL. Biofeed- back and functional electric stimulation instroke rehabilitation. Arch Phys Med Rehabil. 69:401-405,1988.

Glanz M, Klawansky S, Stason W, Berkey C, ThalmersTC. Functional Electrric stimulation in Poststroke Rehabilitation AMeta-Analysis of the Randomized Controlled Trals Arch Phys Med Rehabil-ation 177(6) : 549-552, 1996.

Gracanin F, Prevec F, Trontelj I. Evaluation of use of functional electronic personeal brace in hemiparetic patients Belgrade, Yugoslav Committee for Electronics and Automation 198-205 1967.

Granat MH, Maxwell DJ, Ferguson ACB. Personael stimulator : Evaluation for the co- rrection of spastic drop foot in hemiplegia Arch Phys Med Rehabil. 77:19-24, 1996.

Handa Y, Ohkubo K, Hoshimiya N. A portable multi channel FES system for restoration of motor function of theparalyzed extremities. Auomedica, 1999.

Leberson WT, Holmguest HJ, Scot D. Func- tional electrical stimulation of the personal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. Arch Phy Med Rehabil. 42 : 101-105, 1961

McNeal DR, Waters R, Rewick JB. Experience with implanted electrodes, Neurosug. 1: 228- 229, 1977.

Mulcahey JJ, Betz RR, Smith BT, Weiss AA, Davis SE. Implanted Functional Electrical Stimulation Hand System in Adolescents with Spinal Injuries : An Evaluation Arch Phys Med Rehabil 78(6) 1997. 597- 605

Peckham PH, Mortiner JT : Restoration of the hand function in the quadriplegic through electrical stimulation. In Hamtrech FT, Resick

Rewick JB(Ed) : Functional Electrical Simula- tion. Application in Neural Prosthesis. Marcel Dekker, New york., 83-95. 1977.

Vodovnik L, Kralj A, Stanic U, dt al. Recent applications of functional electcrnal stimulation to stroke patednts in jjubijana. Clin Orthop. 131: 64-70 1978.

半田康延, 星宮 望. 機能的 電氣刺戟(FES)による 麻痺上 下肢の 制御. 醫用電子と 生體工學, 24 : 1-7, 1966.

田口順子. 物理療法マニュアル. 醫齒藥出版 株式 會社 1997.