

## 고전압 펄스 직류자극의 임상적용

신구전문대학 물리치료과

오 경 환

### Clinical Applications of High Voltage Pulsed Galvanic Stimulation

Oh, Kyung Hwan

*Dept. of Physical Therapy, Shin Gu Junior College*

#### 차 례

#### I. 서 론

#### II. 본 론

1. 전기자극의 생리학적 효과
2. 고전압 펄스 직류자극의 특성
3. 임상적용

#### III. 결 론

#### 참고문헌

#### I. 서 론

물리치료에서 사용되는 가장 오래되고 효율적인 기구의 하나가 전기자극치료기이다. 전기자극을 위하여 대전어를 이용하였던 고대로부터 인공적인 전기자극의 형태가 발전하여 현재는 다양한 전기치료기구가 개발되어 임상에서 많은 환자에게 적용되고 있다.

전기자극에 대한 용어는 신경근육자극(NMS), 전기근육자극(EMS), 기능적전기자극(FES), 경피전기신경자극(TENS) 등으로 쓰이고 있으나 생리학적 효과와 임상효과와 관련되어 치료기

구간에 명백한 차이가 있는 것은 아니다<sup>6,10)</sup>.

최초의 고전압 자극기는 1945년 Haislip 등에 의하여 개발되었으며 그들은 펄스기간의 감소와 전압의 증가에 의하여 조직손상을 일으키지 않고 심부조직을 자극할 수 있다는 사실을 알게 되었다. 새로운 기구를 Dyna Wave 신경근 자극기라고 명명하였으며 욕창, 화상, 급성염좌, 요통, 환상지통의 치료를 위한 새로운 전기자극기로 사용하게 되었다<sup>13)</sup>.

이 기구를 사용한 최초의 보고는 1966년에 있었으며 연구의 목적은 창상치유를 촉진하는 효용성을 검사하는 것으로 전기자극으로 손상부위의 순환증진에 의하여 치유효과가 높았다고 하였다<sup>18)</sup>.

1971년 발표된 증례보고에는 당뇨병 환자의 족부 농양치료에서 Dyna Wave와 회전축의 사용으로 환부의 순환증진, 감염의 지연이 있었으며 치료의 이론적 근거는 전기자극으로 유발된 근 수축으로 감염부위의 혈류를 증가시켜 치유를 촉진하는 것이라고 하였다<sup>15)</sup>. 1974년 Lehmann이 High-Voltage Electro-Galvanic Stimulator(EGS)를 널리 광고하기 시작하면서

고전압치료기의 사용이 급증하였다<sup>8)</sup>.

최근 들어 국내에서도 전기자극기의 한 형태로 고전압 자극기를 폭 넓게 사용하고 있는 바 임상적용에 도움이 되고자 문헌고찰을 통하여 이론적 근거를 제시하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 전기자극의 생리학적 효과

임상에서 직면하는 난해한 문제의 하나는 임상적으로 실용적인 통합된 자료에 의하여 전기자극의 효과를 체계화하는 일이다. 전류가 인체에 전달될 때 인체의 각 레벨 즉, 세포, 조직, 체절, 전신 레벨에서 생리학적 과정에 변화를 일으킬 수 있다. 적용하는 방법에 따라 생리학적 활동을 촉진하거나 억제하며 자극의 효과는 직접적이거나 간접적 또는 두 가지 모두에 의한 것이다.

다음은 네 가지 레벨에서 나타나는 자극의 주요 효과를 요약한 것이다<sup>10)</sup>.

#### 1) 세포레벨(cellular level)

- ① 말초신경의 자극
- ② 비홍분세포의 막투과성 변화
- ③ 섬유아세포의 변이 및 파섬유세포형성(modification of fibroclastic formation)
- ④ 골아세포의 변이 및 파골세포 형성
- ⑤ 미세 순환의 변이—동맥, 정맥, 림프(모세혈류)
- ⑥ 단백질 변조 및 혈구세포농집(alteration of protein and blood-cell concentration)
- ⑦ 호박산 디하이드로게나제(SDH), 아데노신삼인산(ATP)과 같은 효소작용의 변조
- ⑧ 단백질합성의 변조
- ⑨ 사립체(mitochondria)의 크기 및 응집의 변이

#### 2) 조직레벨(tissue level)

- ① 골격근 수축 및 근력, 수축속도, 반응시간,

피로도에 대한 영향

- ② 평활근 수축 또는 이온 및 동맥, 정맥 혈류에 대한 영향
- ③ 골, 인대, 결합조직, 피부조직을 포함하는 조직 재생
- ④ 연화, 신장, 점착력 감소 및 관절강, 간질공간으로부터 체액흡수를 포함하는 세포 개조(tissue remodeling)
- ⑤ 조직에서 열 및 화학적 균형의 변화

### 3) 체절레벨(segmental level)

- ① 근근 수축 및 관절 가동성, 협력근 작용에 대한 영향
- ② 근 펌프 작용에 의한 림프순환, 정맥, 동맥 혈류에 대한 영향
- ③ 골격근 수축과 관련되지 않은 림프순환, 동맥 혈류의 변화

### 4) 전신레벨(systemic level)

- ① 베타 엔돌핀, 엔케파린, 도파민, 다이모르핀과 같은 내인성 폴리펩티드와 연관된 진통 효과
- ② 세로토닌, P물질과 같은 신경전달물질과 연관된 진통효과
- ③ 맥관 활동성 내장 폴리펩티드(VIP)와 같은 폴리펩티드와 연관된 순환 효과
- ④ 신장·심장 기능과 같은 내부기관작용의 변화

### 2. 고전압 펄스 직류 자극의 특성

고전압기구는 아주 짧은 기간(최고 200  $\mu$  sec) 임펄스를 전달한다. 이러한 짧은 기간은 생리학적 효과를 일으키기 위하여 고전압(최고 500 volt)이 필요하다<sup>4)</sup>.

파형은 한 쌍의 피크단상파형(twin peak monophasic wave form)으로 각 피크마다 즉각적인 상승과 하강이 일어난다. 한 쌍의 피크가 사용되는 것은 단일펄스의 짧은 기간으로는 신경을 자극하는데 충분한 시치값이 되지 못하기

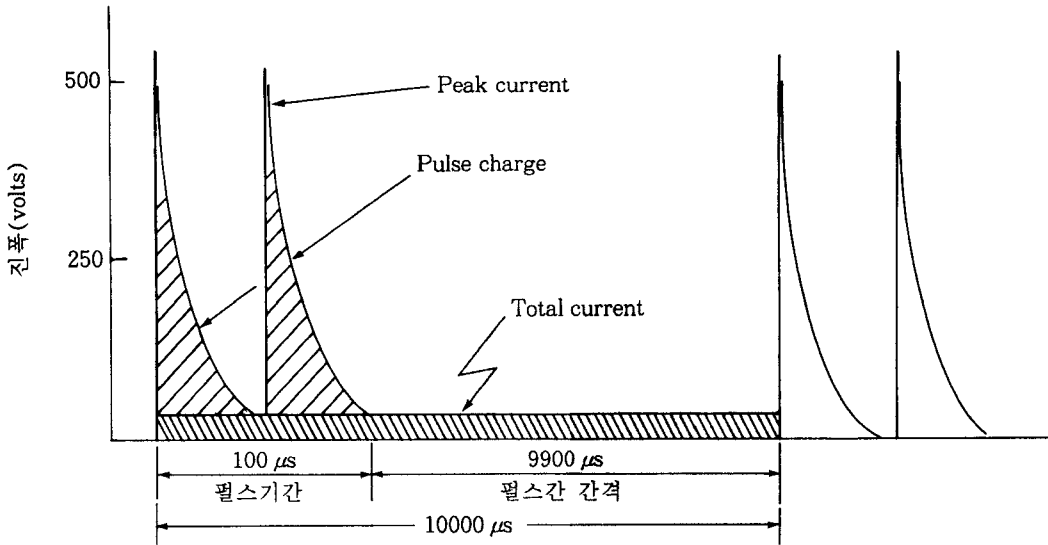


그림 1. 고전압 펄스 직류

때문이다. 파형은 기구 자체에 고정되어 있기 때문에 치료사에 의하여 조절될 수 없다.

펄스 간의 간격(inter pulse interval)은 전류가 흐르는 기간의 최소한 99%만큼 차지하므로(그림 1) 초 당 조직에 전달되는 전체 전류는 1.2~1.5 mA를 초과하지 않는다<sup>16)</sup>. 이것은 500 volt에서 진폭이 정해졌을 때 전달되는 전체 전류의 양이다. 그러므로 고전압 자극은 큰 전극과 작은 전극을 모두 사용할 수 있다. 치료시간(20~45분) 중 세포에 전달된 매우 적은 전류는 빠르게 분산되며 치료를 중단하였을 때 잔여전하(residual charge)가 남지 않는다<sup>17)</sup>.

단위시간 당 전류밀도를 변화시키는 한 가지 방법은 첫 번째 펄스의 마지막과 두 번째 펄스의 시작 사이의 시간인 펄스 간 간격을 조절하는 것으로 펄스 간 간격이 짧을수록 흐르는 전자의 수는 증가한다. 즉 전류밀도는 증가한다. 두 번째 방법은 전류밀도를 증가하기 위하여 주파수를 증가하는 것이다. 이것은 단위시간 당 파형의 수를 증가하는 것으로 단위시간당 전자의 흐름이 증가하게 된다.

주파수는 초 당 파형의 수로 정의된다. 측정

의 단위는 Hertz(Hz) 또는 pulses per second(pps)이다. 2 Hz의 주파수는 초 당 완전한 두 파형의 율을 의미한다. 그러나 역전류검출관(oscilloscope) 상에서 볼 수 있는 피크의 수는 4개가 된다.

모드(mode)라는 용어는 발생하는 펄스의 패턴을 가리킨다. 모드라는 용어 대신에 train, on/off cycle, duty cycle이 사용되기도 한다<sup>18)</sup>.

연속적 모드(continuous mode)는 전체 치료기간 중 펄스가 발생하는 것을 의미하는 것으로 일련의 펄스를 가리키며 직류를 의미하지 않는다. 각 펄스의 강도는 미리 설정한 강도에서 일정하다.

교차모드(reciprocate mode)는 다른 활성전극과 관련하여 하나의 활성전극에서 전류가 교대로 들어오고 꺼지는 것을 의미한다. 활성전극(active electrode)은 치료를 위하여 사용되는 전극을 가리키며 분산용전극(dispersive electrode)은 환자 회로를 완성하는데 사용된다. 교차모드는 2.5, 5, 10초간 전기가 들어오고 2.5, 5, 10초간 전기가 꺼지게 고정되어 있다. 각각의 활성전극은 1:1(on:off)의 비율로 맞춰진

다. 각 펄스의 강도는 미리 설정한 정도에서 일정한다.

서지 모드(surge mode)는 미리 설정한 강도에 도달할 때까지 파형의 진폭을 증가시키는 것이다. 이러한 모드의 이점은 강도가 일정하게 증가하여 환자가 자극시점에서 최대 전압을 느끼지 않는다는 것이다. 즉 환자를 놀라게 하지 않는다. 또 다른 이점은 길항근을 자극하였을 때 강축근(spastic muscle)의 신장반사를 방지할 수 있어 뇌졸중 환자의 근재교육에 사용할 수 있다는 점이다.

고전압 자극기는 아주 짧은 펄스기간을 가지므로 변성근을 자극하는데 사용할 수 없다. 변성근은 최소한 1 msec의 펄스기간(시치값)이 필요하다. 이 기구로 부분적으로 변성된 근육을 치료하기 위하여 사용한다면 온전한 운동신경만이 흥분할 것이다<sup>10)</sup>.

최단 펄스기간의 이점은 감각신경섬유의 자극과 연관되어 있다. Li 및 Bak은 A-beta(촉각), A-delta(통각, 온각), C(통각) 감각섬유

의 시치는 각각 0.02, 0.45, 1.5 msec라고 하였다<sup>9)</sup>. 고전압 자극기의 펄스기간은 최고 200  $\mu$  sec이므로 A-delta, C감각 섬유를 자극할 가능성이 적으므로 환자는 안락감을 느낀다.

### 3. 임상적용(clinical application)

특정질환을 치료하기 전에 적합한 전기자극 치료기를 선택하여 인체의 적용시 나타나는 생리학적 효과를 비롯하여 도자배치, 자극강도, 파형, 주파수, 치료시간 등을 고려해야 한다.

#### 1) 동통조절(pain control)

TENS로 반응하는 동통과 관련된 대부분의 질환은 또한 고전압 자극기로 치료할 수 있다. 환자를 평가하고 치료계획을 수립한 후 기구의 선택은 환자의 동통상태(급성, 만성, 표재, 심부)에 따라야 한다.

급성 외상과염(acute epicondylitis)으로 인한 동통과 같이 근골격계에서 기시한 급성, 표재

표 1. 5개 전류의 진통을 위한 자극 기술

	Interference Current	High-Voltage Pulsed Current	Impulse Current	Diadynamic Current	Alternating Current
급성, 표재 동통	f : 1~2 bps d : 250 $\mu$ s a : 근수축이 일어나지 않는 안락한 감각	f : 50~100 pps d : 5~65 $\mu$ s a : 좌동	f : 100 pps d : 250 $\mu$ s a : 좌동		
만성, 심부 동통	f : 1~5 bps d : 250 $\mu$ s a : 율동적 근수축이 일어나는 최대 강도	f : 1~5 pps d : 65 $\mu$ s a : 좌동		f : 10 Hz d : 10 $\mu$ s a : 좌동	
급성동통성시술 (피사조직제거, 마찰맞사지, mobilization)	f : 50~100 bpd d : 250 $\mu$ s a : 강축성 근수축이 일어나는 최대 강도	f : 50~100 pps d : 65 $\mu$ s a : 좌동			f : 2.5 KHz d : 400 $\mu$ s a : 좌동

\* f : 주파수, d : 자극시간, a : 진폭

표 2. 고전압 펄스 직류의 임상적용

치료목적	이론적 근거	강도	주파수	활성전극의 극성	펄스형태	활성전극의 배치 부위	치료시간	치료빈도
동통완화	감각신경자극	안락한 감각 자극	40 ~ 100 pps	+	지속	운동점, 경혈, 동통점, 근절(myotome), 피부절(dermatome)	30분 또는 그 이상	필요시
경혈치료	중뇌, 세로토닌 회로 활성화	최대 자극	4~8 pps	-	지속	경혈	부위당 30초~2분	매일
부종감소	전기삼투를 통한 체액이동 근 펌프작용	감각 자극	가능한 고주파	+	지속	양극: 부종 부위 음극: 근위부	30~45분	매일 2회
		안락한 근수축	2~3 pps	-	지속	해당근육	30분	매일 2회
창상치유	병원균 파괴 섬유아세포 유인	감각자극 창상부위 홍반유발	가능한 고주파	- +	지속	창상부위	20분~2시간	최고매일 4회
근운동	비대	강한 근수축	30 ~ 50 pps	-	surge 1:5duty	운동점	10회 수축 (10분)	매일
근재교육	근조절 보조	안락한 근수축	30 ~ 50 pps		surge 도수단속	운동점	20~30분	매일
말초순환 증진	근수축을 통한 대사산물 증가	안락한 근수축 (최대의 30%)	강축형 (30 ~ 50 pps) 펄스형 (2 ~ 3 pps)		강축형 (surge) 펄스형 (지속)	순환장애부위의 근육	20~50분	매일 2회
근경축 감소	이완 훈련	강한 근수축	30 ~ 50 pps		강축형 (surge) 펄스형 (지속)	해당근육	10~20분	매일

동통(acute, superficial pain)은 간섭전류 또는 고전압 직류 자극에 잘 반응하는데 고전압직류로 적용시는 펄스기간이 5~65  $\mu$ sec, 주파수는 50~100 pps로 한다. 이들 두 전류에서 진폭은 근 수축을 일으키지 않는 안락한 감각을 느끼는 정도로 한다.

경추골관절염(cervical osteoarthritis)환자로서 후두골하부(suboccipital area)로부터 기시한 만성, 심부동통(chronic, deep pain)인 경우 고전압 직류, 간섭전류, diadynamic 전류로 치료할 수 있다. 이때 고전압 직류의 주파수는 1~5pps로 한다. 이러한 자극은 침과 같은 형태의

경피신경자극(acupuncture like-mode TENS)과 유사한 자극을 일으킬 것이다.

욕창(decubitus ulcer)의 피사조직제거(debridement)는 동통을 야기하는 시술이다. 환자는 간섭전류, 고전압 직류 또는 교류기구를 이용하여 시술 중 창상 또는 인접 조직에 전류를 통과시켜 진통효과를 얻을 수 있다. 표 1은 5개의 상이한 형태의 전류로 급성 동통, 만성 동통, 시술과 연관된 동통에 적용하는 방법을 요약하였다<sup>4)</sup>. 동통을 포함한 기타 질환에 대한 치료기술은 표 2에 기술되어 있다<sup>5)</sup>.

## 2) 신경근 자극(neuromuscular stimulation)

고전압 직류자극의 짧은 펄스기간은 비교적 강한 수축을 유발하는 반면 거의 불쾌한 감각을 유발하지 않는다.

주파수와 duty cycle은 정상근육을 자극시 고려해야 하는 두 가지 요소이다. 강도와 자극시간이 적절한 상태에서 전기자극의 주파수가 증가함에 따라 개개 근 연축(muscle twitch)은 가중되어 불완전한 강축이 일어나다가 주파수를 더 이상 증가하면 완전한 강축이 일어난다. 20 Hz의 주파수는 일부 근육에서 완전한 강축이 일어난다. Benton 등은 20~30 Hz의 자극이 최적의 근수축을 일으키나 고주파(50~100 Hz)에서는 근 피로를 야기한다고 하였다<sup>7)</sup>. 또한 duty cycle은 근피로의 발생을 지연하는데 사용할 수 있는 제2요소로서 1:5의 on:off율의 duty cycle이 효과적이라고 하였다.

## 3) 창상치유(wound healing)

조직 치유에 효과가 있는 것은 순환증진, 혈괴형성, 살균효과, 세포이동(cellular migration), 손상전위의 발생과 연관되어 있다.

조직이 손상되었을 때 세포막의 파괴와 세포성분의 변화는 손상 및 접상조직간에 전위차를 발생시킨다. 이러한 전위차를 손상전위(injury potential)라고 한다. Burr 등은 상처가 치유될 때 손상전위는 동요(fluctuation)한다고 하였다. 발병시 전위는 양성이며 손상 후 48시간에 피크를 이룬다. 이러한 피크는 전위가 음성이 될 때(손상후 8~9일)까지 점진적으로 감소한다. 회복이 완료될 때까지 보다 적은 동요가 일어난다<sup>1,2)</sup>. 손상전위에서 이러한 동요는 회복과정과 연관하여 필요하다.

Carey와 Lepley는 창상의 혈구세포 이동을 연구하기 위하여 토끼의 피부 창상에 0.2~0.03 mA 직류를 2~5일간 적용한 결과 양극근처의 작은 혈관에서 백혈구가 모이고 혈전이 생기는 것을 알게 되었다. 반면에 음극에서는 아무런 변화가 없었다<sup>3)</sup>.

Ross와 Segal은 족부 수술후 창상치유를 보조하기 위하여 고전압 직류를 사용하여 음극은 혈류를 증가하여 환부로부터 체액을 이동하여 창상치유를 촉진하였으며 양극은 살균효과와 신경의 진정효과가 있었다고 하였다<sup>12)</sup>.

극성은 창상 치유에 중요한 요소로서 음극을 병원균 성장을 억제하며 양극은 특히 창상치유의 증식기(proliferation phase)에 세포이동을 촉진하는데 사용한다<sup>10)</sup>.

## 4) 부종 감소(edema reduction)

전기자극과 극성은 근 펌프작용과 체액을 이동하는데 사용된다. 근 펌프작용은 수의적으로 또는 전기자극으로 일어날 수 있다. 아급성 또는 만성질환에서 고전압자극으로 근 수축을 유발하여 부종을 경감시킬 수 있다. 근수축은 림프, 정맥류의 흐름을 증가시켜 해당부위의 배액(drainage)을 촉진하기 때문이다. 이러한 반응은 체지를 들어올리면 증가된다<sup>14)</sup>.

William과 Carey는 양극전류로 혈구세포의 응집(clumping)이 일어나는 것을 알게 되었다<sup>17)</sup>. 급성 손상에서 이러한 현상은 세포외 출혈(extracellular bleeding)의 양을 감소시킬 것이다.

혈액성분이 전류에 의하여 영향을 받을 때면 체액도 역시 영향을 받는다. 주요 혈장단백인 알부민은 친수성(hydrophilic)이며 정상 혈액 pH에서 세포막은 음전하를 띤다. 그러므로 해당부위로부터 음전하를 띤 세포와 단백질을 타부위로 이동시키게 되면 체액의 이동도 또한 일어난다<sup>11)</sup>.

## III. 결 론

고전압 직류치료기는 짧은 펄스기간과 고전압 전류를 가진 TENS의 한 형태로 정상근의 전기자극을 목적으로 단독으로 또는 다른 치료와 병행하여 사용된다.

동통조절뿐 아니라 손상으로부터의 회복 촉진, 근재교육, 부종감소 등 다양한 치료목적에 사용되는 고전압직류 치료의 치료효과를 높히

기 위해서는 적절한 기구의 선택과 이론적 근거에 맞는 치료기술이 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Burr HS, Harvey SC : Bio-electric correlates wound healing. *Yale J Biol Med* 11 : 103, 1938-1939.
2. Burr HA, Taffel M, Harvey SC : An electrometric study of the healing wound in man. *Yale J Biol Med* 12 : 483, 1940.
3. Carey IC, Lepley D : Effect of continuous direct electric current on healing wounds. *Surg Forum* 13 : 33, 1955.
4. Gersh MR : Electrotherapy in rehabilitation. F A Davis Co., Philadelphia, p. 210~215, 1992.
5. Hayes KW : Manual for physical agents. North Western University, 3rd ed, p. 145-146, 1984.
6. Kahn J : Principles and practice of electrotherapy. Churchill Livingstone, New York, 2nd ed, p. 71, 1991.
7. Kots YM : Notes from Kots's(USSR) lectures and laboratory periods. Canadian-Soviet exchange symposium on electrostimulation of skeletal muscles, December 1977.
8. Lehmann P : Personal communication, January 1984.
9. Li CL, Bak A : Excitability characteristics of the A-and C-fibers in a peripheral nerve. *Exp Neurol* 50 : 67, 1976.
10. Nelson RM, Currier DP : Clinical electrotherapy. Appleton & Lange, Norwalk, p. 165-181, 1987.
11. Newton RA : Electrotherapeutic treatment : Selecting appropriate wave from characteristics. Clinton, NJ, Preston, 1984.
12. Ross CR, Segal D : High voltage galvanic stimulation-An aid to post-operative healing. *Cutt Podiatry* 19-25, May 1981.
13. Spassoff DA : My Fabulous life : The story of an athlete, trainer, therapist. Boynton Beach, Fla, Star, 1979. p. 323.
14. Starkey C : Therapeutic modalities for athletic trainers. FA Davis Co, Philadelphia, p. 139-143, 1993.
15. Thurman B, Christian E : Response of a serious circulatory lesion to electrical stimulation. *Phys Ther* 51 : 1007, 1971.
16. Wheeler P, Wolcott L, Morris J, et al : Neural considerations in the healing of ulcerated tissue by clinical electrotherapeutic application of weak direct current : Findings and theory. In Reynolds DV, Sjoberg AE(eds) : Neuroelectric Research, Springfield, III, Thomas, 1971, p. 83-96.
17. Williams R, Carey L : Studies in the production of standard venous thrombosis. *Ann Surg* 149 : 381, 1959.
18. Young HG : Electric impulse therapy aids wound healing. *Mod Vet Med Dec*, 1966.