

## 전기자극이 개구리 뒷다리 부종형성에 미치는 영향

대구대학교 물리치료학과  
박 래 준

### Effects of Electrical Stimulation on Edema Formation in Frog Hind Limbs

Park, Rae-Joon, P.T. Ph.D.,

Dept. of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Taegu University

#### <Abstract>

The purpose of this study was to determine the effects of high voltage pulsed current(HVPC) and low voltage pulsed current(LVPC) on posttraumatic edema formation in frog hind limbs.

In this study, 16 bullfrogs(*Rana Catesbeiana*), weighting 182g to 340g, were used. Limb 16 anesthetized bullfrogs were systemically injured by weight drop. One hind limb of each frogs was randomly selected to receive continuous 120 pps HVPC and 100 pps LVPC at 90% of motor threshold(HVPC : 33.3V, LVPC : 0.2-1mA). The opposite hind was remained as a control. A series of six 30-minute treatment(interrupted by 30-minute rest) was begun minutes after injury.

The results were as follows.

1. Cathodal HVPC has been shown to be effective in curbing posttraumatic edema formation in frogs, but anodal HVPC did not effect.
2. Volumes of hind limbs treated with LVPC were not significantly different over time from those of untreated hind limbs.
3. Therefore, waveform(HVPC versus LVPC) seems to influence the efficacy of electrotherapy for edema control.
4. Electrical stimulation were not increased edema formation on frog hind limbs.

#### I. 서 론

부종은 혈관의 조직에 과량의 수분이 축적되어 있는 상태이다. Guyton(1976)은 부종의 원인으로 첫째, 간질사이로 많은 체액이 흘러 정수압이 증가하여 부종이 형성되며, 둘째는 혈장 단백질 농도의 감소는 교질삼투압의 감소때문에 유사한 현상이 일어나며 이것이 모

세혈관 속으로 혈관 밖의 체액 재흡수가 감소되어 발생하고, 셋째는 부적절한 림프의 기능이 또 하나의 원인이 되는데 즉, 간질조직으로부터 단백질제거의 실패는 간질과 혈관 구조물 사이에 정상적으로 존재하는 교질정수압을 떨어뜨려 부종이 발생하고, 마지막으로 발초혈관 막 투과성의 증가로 발생하는데 부종은 혈장 단백질의 증가와 간질강 안으로 체액 유입이 증가

\*이 논문은 1993학년도 대구대학교 학술 연구비 지원에 의한 논문임.

하므로 발생한다고 하였다.

부종은 그 발생부위에 따라 전신부종과 국소부종으로 나누는데 전신부종은 심성부종, 신성부종, 기아부종으로 나누고 국소부종은 여러가지 원인으로 매우 국소적인 형태의 부종이 발생하는데 발생기전은 주로 모세혈관 수준에서 압력차이의 변화에 기인하며 전신적인 신체 변화를 일으키지는 않는다. 국소적으로 형성된 부종은 주로 인체의 국소효과를 나타낸다. 그러나 폐와 뇌의 부종은 치명적이며 매우 중요하다.

이와 같은 부종은 통증을 일으키고 또한 손상부위의 장기간 비가동성을 유발하며, 실제로 기능적 가동성을 감소시키고 이차적 합병증인 섬유화를 일으킨다. 특히 관절염과 또는 근육손상 등으로 국소적으로 발생했을 때 빨리 제거해 주지 않으면 근섬유의 유착에 의한 강직관절이 형성되기도 하고 혈액순환의 장애로 근섬유의 괴사 등 여러가지 합병증을 일으킨다.

부종을 제거하기 위한 방법으로는 물리치료법으로 국소부위를 심장위치이상 올려주거나, 압박붕대로 압박을 하기도 하고 급성기에는 냉치료가 일반적으로 많이 이용된다. 그러나 이와 같은 치료는 지속적으로 하기가 곤란하고 급성기에 완전한 치료로서는 아직 미흡한 단계이다.

최근에 와서는 고압맥동직류(high voltage pulsetile galvanic current, HVPC)가 임상에서 폭넓게 사용되고 있는데 아직까지 이 전류의 부종완화 기전에 대하여는 완전히 밝혀지지는 않았지만 몇몇의 연구결과에서 부종에 효과가 있는 것으로 보고되었다. Battany 등(1990)은 음극고압맥동전류가 개구리뒷다리에서 부종형성을 현저히 억제한다고 보고하였고, Reed(1988)는 급성 부종 자극에서 고압맥동전기자극이 혈관의 투과성을 줄여 부종을 완화시킨다고 하였으며 Newton(1978)은 국소부종치료를 위하여 고압맥동직류자극치료의 이론적 배경으로 전기자극 변수인 극성은 근 펌핑작용을 일으키고 체액을 제거할 수 있다고 하였고, 근 펌핑작용은 수의적으로나 전기자극으로 유발시킬 수 있다고 하였다.

전기자극에 의한 부종억제의 기전은 Alon과 DeDomenico(1987)에 의해 기술된 전기물리현상에 기초하였는데 즉 외상을 입은 관절에 음전기로 충전된 혈장단백질은 전기작용으로 세포막의 투과성에 영향을 미친다. 이와 같은 이동성은 림프관에 의해 단백질의 흡수를 증가시킨다. 따라서 림프의 흐름이 세포체액의

흡수를 증가시키는 것이다. 한편 Karnens등(1992)은 저압맥동직류전류(low voltage pulsetile current, IVPC)를 이용하여 압좌손상 후 개구리 뒷다리 부종형성에 대한 연구에서 음극에서는 효과가 없다고 보고하였고 양극에 관한 효과는 연구를 하지 않았다. 또한 전기자극이 부종치료에 효과가 있었다는 보고(Karnens 등, 1992; Taylor 등, 1991,1987)가 있으며 극성에 따라 효과가 다르다는 보고도 있다.

본 연구는 체적계측(volume metrics)방법으로 다양한 전기자극 즉, 고압맥동직류전류와 전통적으로 사용했던 단속평류전류(interrupted galvanic current)인 저압맥동직류전류를 이용하여 극성(polarity)에 따라 개구리 뒷다리의 압좌손상 후 부종억제 효과를 알아보고 앞으로 임상에서 염좌, 골절 등 부종억제 치료에 응용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

#### 실험 동물 사용의 이론적 근거

압좌손상이나 그 밖의 다른 부종을 야기하는 손상들은 흔히 발생할 수 있으며, 그와같은 자연발생적으로 일어나는 손상은 심각성이나 해부학적인 위치에 있어서 다양하고 발생하는 사람들도 연령, 성, 건강, 그외에 다른 많은 변수들이 작용한다. 이러한 다양성은 인체의 부종에 대한 여러가지 전류의 효과에 대한 연구에서 변동의 요인으로 작용하여 측정에 영향을 줌으로 대규모의 표본이 필요하게 되지만 그와 같은 연구는 비용이 많이 들고 시간도 많이 소모된다. 그래서 시간과 비용을 줄이기 위한 비인간 모델 즉 쥐나 토끼와 같은 작은 포유류들이 광범위하게 사용되어 왔다(Mendel 등, 1992).

그러나 작은 포유류들은 높은 대사율로 인해 영양공급 없이 지속적인 마취가 불가능하다. 만약 외상을 입히기 위하여 마취를 시킨다면 깨어난 후 움직이게 되고 그것은 근수축을 유발하게 되고 따라서 근육은 근 펌핑작용에 의해 체액변화를 가져오며 실험하고자 하는 다리 체적에 변화를 초래한다. 결국 부종의 측정은 이완된 상태 즉 완전히 정지된 상태에서 측정되어야 한다.

인간 혹은 작은 포유동물을 대상으로 한 실험과 관련된 몇가지 문제점을 피하기위하여 본 연구에는 Fish 등(1991)이 사용을 제안한 개구리가 실험 동물로 사용되었다.

양서류는 피부를 통해 물을 흡수하여 효과적으로 수분을 유지할 수 있기 때문에 수분소실에 있어서 작은

포유류보다는 양서류에서 조절하기가 더 쉽다.

외상을 입은 마취된 동물은 정상활동을 하는 상태와는 다를지라도 동물자체의 전형적인 생리적 반응이 나타나고, 각 척추동물의 생리적인 반응은 종류나 기능면에서 유사하므로 생리적인 과정도 유사하다고 추측할 수 있다. 따라서 마취된 상태에서 근수축은 일으키지 않고 전류를 통전시키는 방법은 완전한 전류의 효과를 보는데 의미가 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 동물

본 연구를 위해 체중182-340g( $X=286.125$ )인 개구리(*Rana Catesbeiana*) 16마리가 사용되었는데, 고압맥동직류실험에 8마리 그리고 저압맥동전류실험에 8마리가 이용되었으며 각 그룹은 양극과 음극으로 나누어 각각 4마리씩 사용되었다.

### 2. 체적변화의 측정

부종의 변화를 측정하기 위하여 Fish 등(1991)이 고안한 체적변동측정기(plethysmography)를 변형하여 사용하였다. 이들이 고안한 측정기(A)는 일정량의 물을 관에 넣은 후 개구리 다리를 침수시켜 물이 넘쳐나는 양으로 측정을 하였으나 실제의 그 량이 미세하기 때문에 측정이 어려워 체적 0.001ml까지 측정이 가능한 모세관을 고무튜브로 연결시켜 아르키메데스의 원리에 따라 모세관현상을 이용하여 측정하였다(B). 측정방법은 개구리 뒷다리의 외과부위에 표식을 한 후 그 표시점까지 침수병안에 넣고 모세관의 물이 올라가는 양을 측정하였다(Fig 1).

### 3. 전기자극 및 실험방법

전기자극치료기는 고압맥동직류자극을 위해서 Intellect 500(Chatanooga, 일본)을 사용하였고 저압맥동직류자극을 위하여 medcolator(Medcoproucts, 미국)를 사용하였다.

각 개구리는 압좌손상에 앞서 대퇴부에 0.1ml의 Kattamine을 주사하였다. 방수용 잉크로 개구리의 외과부위에 기준점을 표시하고, 손상을 주기전에 먼저 표시점까지 개구리의 뒷다리를 침수시켜 외상전의 체적을 측정 기록해 놓았다(Fig 2). 각각의 뒷다리를 2장의

타올(1cm)로 싼 다음 높이 10cm에서 1,300g의 추를 낙하시켜 개구리 뒷다리에 압좌손상을 가했다.

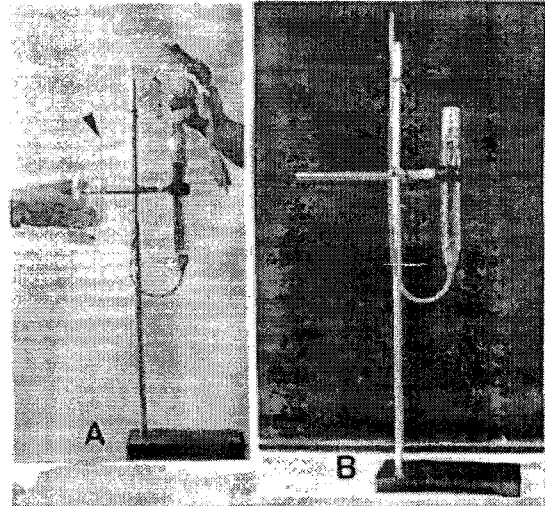


Fig 1. plethysmography

외상 후 각 뒷다리를 분리된 비이커 안에 미리 표시된 점까지 침수시키고 오른쪽은 전기자극을 왼쪽은 대조군으로 하였으며 활성전극은 비이커 안에 놓였으며 비활성전극은 개구리의 복부에 부착시켜 놓았다(Fig 2).

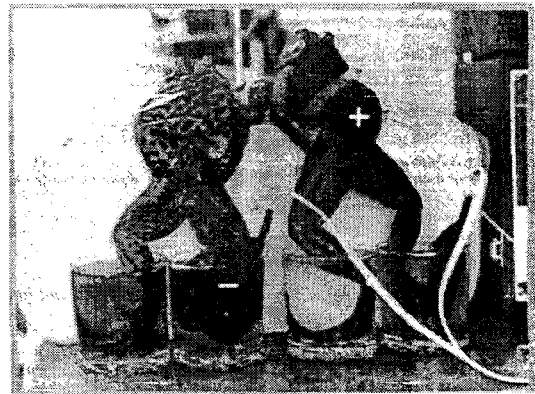


Fig 2. HVPC and LVPC treatment set-up

먼저 30분동안 전기자극을 한 후 다음 30분 동안 휴식기를 두었고, 이때 체적을 측정하였으며 이 과정을 6회 반복하여 손상 후 6시간 동안의 체적변화를 관찰하였다.

뒷다리에 적용된 자극강도는 최소가시수축이 일어날 때까지 천천히 증가시킨 후 최소가시수축이 일어나면 즉시 강도를 10%감소시켜 운동역치의 90%에서 자극이

전달되도록 하여 큰 펌핑작용에 의한 부종변화 변수를 제거하였다.

고압맥동전류의 강도는 펄스간격을 120 pps로 ON/OFF주기를 2.5초 : 2.5초로 하여 가시수축의 강도(역치 33.3V)의 90%(30V)를 적용하였고 저압맥동전류는 100 pps로 3초 자극 3초 휴식하는 방법으로 전류강도는 최소가시수축 강도의 90%인 0.2-1mA로 하였으며, 개구리는 체적이 측정되는 동안을 제외하고는 엎드린 위치로 유지되었다.

#### 4. 결과분석

반복된 실험결과를 analysis of variance(ANOVA)로 단순효과 유의성을 검정하고 paired t-test로 전기자극군과 비자극군 간의 차이를 분석하였다(p<0.05).

### III. 결 과

#### 1. 고압맥동전류에 의한 효과

고압맥동전류에 의한 효과는 음극으로 자극시 치료군과 대조군이 모두 2시간까지는 부종이 증가하나 그 후로는 감소추세를 보였고 대조군에 비하여 치료군은 뚜렷한 부종억제 효과를 보였다(Table 1, 2, 3, Fig 3).

고압맥동전류의 양극전류로 자극을 한 결과 압좌손상 후 3시간까지는 전기자극군이나 대조군이 모두 부종이 증가하였으나 그 이후는 감소추세를 보였고 전기자극군이나 대조군 사이에는 차이가 없었다. 따라서 양극전류는 부종형성을 억제하는 효과가 없었다(Table 1, 2, 3, Fig 4).

고압맥동전류로 장시간 자극하여도 개구리의 부종을 증가시키지는 않는 것으로 나타났다.

Table 1. Means of frog hind limbs by cathodal and anodal HVPC Mean±SD

time side	* cathode		anode	
	right	left	right	anode
pre-test	.0110±.0011	.0112±.0017	.0156±.0062	.0172±.0069
1	.0133±.0019	.0150±.0028	.0163±.0069	.0188±.0077
2	.0152±.0009	.0173±.0027	.0187±.0074	.0198±.0080
3	.0136±.0011	.0157±.0025	.0191±.0076	.0201±.0082
4	.0118±.0011	.0152±.0024	.0192±.0077	.0193±.0080
5	.0132±.0020	.0157±.0026	.0187±.0075	.0184±.0077
6	.0123±.0011	.0154±.0020	.0181±.0070	.0193±.0078

Repeat six times respectively \* p<0.05

Table 2. Results of one-way ANOVA for repeated measures demonstrating effects of cathode and anode HVPC

pole	side	SS	df	MS	F	signif.of F
cathode	right	.4441	6	.704	3.651	.012
	left	.8226	6	.1371	2.274	.076
anode	right	.4844	6	.0807	.155	.986
	left	.2249	6	.0374	.062	.999

Table 3. Paired t-test for cathodal and anodal HVPC Mean±SD

item	t-value	df	p	
cathode	right/left	-5.63	27	.000
anode	right/left	-3.80	27	.000

전기자극군에서 양극과 음극을 비교할 때 압좌손상 후 2시간까지는 양쪽 모두 부종이 증가하였으나 음극은 그 이후로 감소 추세를 보였으며 양극에서는 3시간 까지

부종이 증가하고 그 후로는 완만한 감소를 보여 대조군과 차이가 없었다(Table 1, Fig 5).

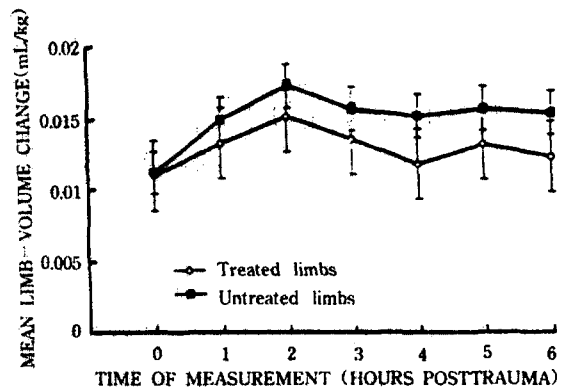


Fig 3. Volume changes of frog hind limbs by cathodal HVPC

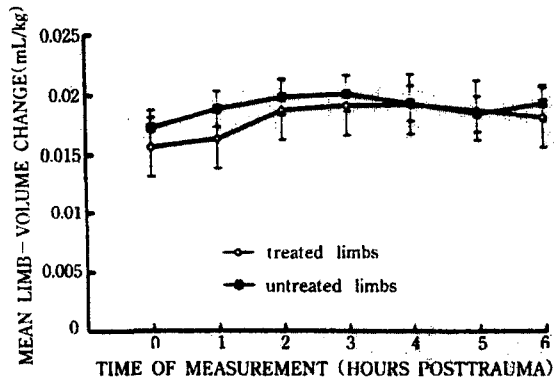


Fig 4. Volume changes of frog hind limbs by anodal HVPC

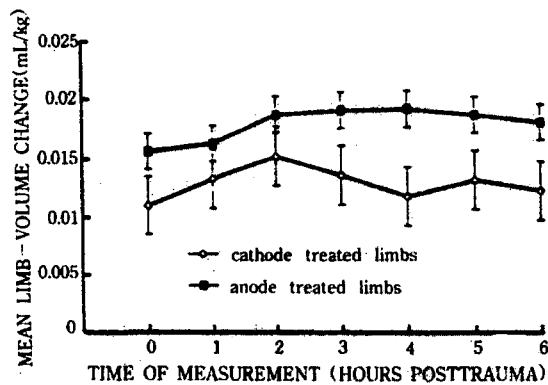


Fig 5. Volume changes of frog hind limb by cathodal and anodal HVPC

## 2. 저압맥동전류 효과

저압맥동전류로 자극을 한 결과 압좌손상 후 2-3 시간후 부터 부종이 감소하기 시작하였고 욱극과 양극 모두에서 전기자극군과 대조군간에는 유의차가 없었다. 따라서 저압맥동전류는 압좌손상 후 부종형성에 효과가 없는 것으로 나타났다. 저압맥동전류도 고압에서와 같이 전기자극이 부종을 증가시키지는 않는 것으로 나타났다(Table 4, 5, Fig 6, 7).

Table 4. Means of frog hind limbs by cathodal and anodal LVPC Mean  $\pm$  SD

time	cathode		anode	
	right	left	right	left
pre-test	.0106 $\pm$ .0015	.0109 $\pm$ .0020	.0149 $\pm$ .0028	.0154 $\pm$ .0022
1	.0128 $\pm$ .0020	.0126 $\pm$ .0018	.0162 $\pm$ .0019	.0165 $\pm$ .0030
2	.0140 $\pm$ .0023	.0136 $\pm$ .0015	.0167 $\pm$ .0014	.0162 $\pm$ .0018
3	.0127 $\pm$ .0018	.0129 $\pm$ .0027	.0170 $\pm$ .0015	.0167 $\pm$ .0017
4	.0125 $\pm$ .0017	.0123 $\pm$ .0015	.0167 $\pm$ .0021	.0167 $\pm$ .0023
5	.0118 $\pm$ .0025	.0114 $\pm$ .0023	.0163 $\pm$ .0025	.0163 $\pm$ .0019
6	.0112 $\pm$ .0017	.0112 $\pm$ .0021	.0161 $\pm$ .0023	.0151 $\pm$ .0015

Repeat 6times respectively \*p(0.05)

Table 5. Results of one-way ANOVA for repeated measures demonstrating effects of cathode and anode LVPC

pole	side	ss	df	MS	F	signif. of F
cathode	right	.1601	6	.0266	5.641	.001
	left	.1920	6	.0320	7.467	.000
anode	right	.0935	6	.0155	5.508	.001
	left	.1483	6	.0247	10.489	.000

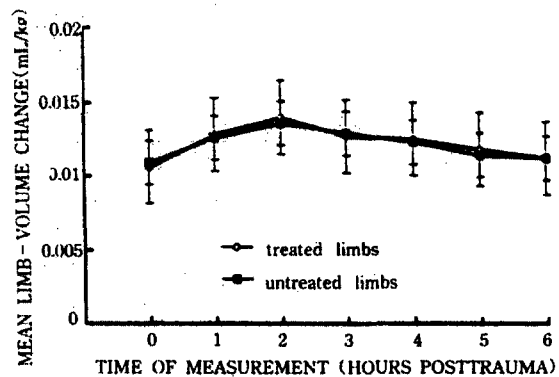


Fig 6. Volume changes of frog hind limb by cathodal LVPC

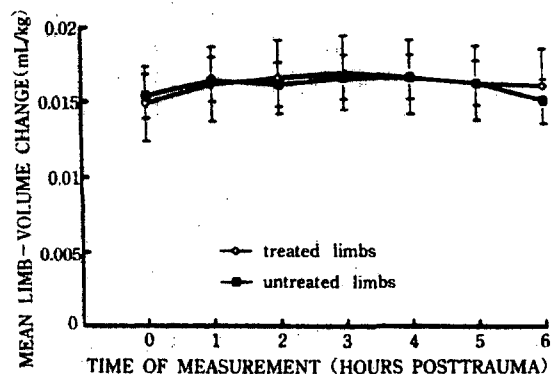


Fig 7. Volume changes of frog hind limb by anodal LVPC

#### IV. 고 찰

전기치료는 현재 임상에서 널리 쓰이고 있는 물리치료의 한 분야이다. 고대 Aristoteles가 전기가오리에서 처음으로 전기적 현상을 발견한 이래로 전기치료는 많은 발전을 거듭해 왔다.

전기를 신경과 근육의 연구 대상으로 시작한 것은 1780년경 이탈리아의 Luigi Galvani이다. 그는 번개가 대기 중의 전기임을 알아낸 후, 전기를 이용하여 개구리에 통전시켜 근육축이 일어나는 것을 관찰하였다. Alessandro Volta는 생체뿐 만 아니라 같은 모양의 기구에서도 전기가 발생한다고 하였고 Duchenne은 위축된 근육이나 마비근의 치료에 감용전류를 사용하였고 Erb는 운동점과 변성반응을 연구하여 전기진단에 공헌하였다(이재학, 1993).

그 후에도 전기치료의 연구는 계속되어 왔는데, 탈신경근육에 근력을 유지하기 위하여 적용되어 왔고(Lewis 등, 1986) 진행성 근위축증의 치료(Scott 등, 1986), 특발성 측만증의 교정(Schmitt, 1986), 무용성 위축의 예방(Gibson 등, 1988), 상처치유의 촉진(Brown과 Gogia, 1987) 및 경피신경 자극에 의한 통증 조절 효과(Jette, 1986) 등 많은 연구가 발표되고 있다.

부종은 혈장단백질이 외상에 의해 모세관으로 유출된 것으로서 과도한 혈장단백질이 개재 공간으로 이동됨에 따라서 체액은 혈관 벽을 가로지르는 이 단백질의 불균형 때문에 혈관에서 빠져나온 결과로 부종이 형성된다(Taylor, 1991).

일반적으로 부종치료는 냉치료, 압박, 환부의 거상(elevation)이 있는데 한냉치료는 혈장 막을 가로지르는 힘의 균형을 변화시켜 부종을 제거한다고 추측되는데 한냉의 적용은 막 투과성 동맥혈류를 줄여주고 그에 따라서 부종을 억제한다. 과도한 냉각은 조직허혈을 유발하고 조직 손상을 가져온다. 또한 전통적인 방법인 압박은 환부를 압박하여 소순환에서 혈장 단백질과 체액의 유출을 줄여서 부종을 감소시키는 방법이다. 이때 주의 사항은 외부 압박을 조직허혈에 이르기까지의 혈류를 떨어뜨려서는 안된다는 것으로 적당한 압박을 가하기가 어렵다는 단점이 있다. 그 다음으로 거상은 손상된 지혈을 중력의 도움으로 외상 부위로부터 정맥과 림프의 흐름을 촉진시킨다는 간단한 방법이다. 그러나 환자가 일상생활동안 계속해서 지혈을 거상해 있을 수

없다는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하고자 연구된 것이 전기자극 치료이다.

부종에 관한 치료 효과로는 주로 고압맥동전류를 사용하여 그 효과를 보고하였는데(Betany 등, 1990, 1992; Fish 등, 1991; Taylor 등, 1991), 고압맥동전류의 특징은 microsecond(200us)에서 고정된 기간 동안에 쌍극점(twin-peak)의 단상파를 가지며 여기에 사용되는 전압은 100V보다 높다. 이와 같은 고압맥동전류는 고전압이면서도 전체전류(total current)는 줄여서 환자에게 고통이 없는 microampere단위의 전류로 치료의 목적을 달성하기 위하여 고안된 치료 방법이다. 이와 같은 고압맥동전류는 통증치료 외에도 상처치유의 촉진, 근재 교육 등에도 이용되고 있다(Newton 1978).

본 연구에서는 고압맥동전류(120 pps, duty cycle 2.5sec, 33.3V, 0.5-1usec)로 자극한결과 음극 전류에서는 부종의 억제 효과가 있고 음극에서는 대조군과 차이가 없어서 선행 연구(Betany 등, 1990; Fish 등, 1991)들과 일치하였는데 부종 치료에서 고압맥동전류의 작용에 대하여는 위의 다른 전통적인 치료 방법과 비교하여 철저히 연구되어야 하는데, Reed(1988)는 고압맥동전류가 혈관상에서 혈장 단백질의 누출을 억제 시킴으로서 부종 형성을 억제시키는데 효과적이라는 이론을 수립하였다.

저전압단속전류치료(low voltage interrupted galvanic current)는 Karnes 등(1992)이 고압맥동전류와 같이 역치의 90%수준으로 전기 자극을 하면 부종억제에 효과가 있을 것이라는 가설하에 전형적인 이상(biphasic)펄스 파를 정류기를 통하여 이중 정점의 단상으로 변조시킨 음극 전류를 사용하여 펄스 기간을 가능한 한 고압맥동전류와 같은 620-630 microsecond로 실험을 하였다. 그 후 Karnes(1992)는 Bettaney 등(1990)이 사용한 고압맥동전류와 유사한(5microsecond의 첫번째 펄스 지속과 8 microsecond의 두번째펄스 지속으로 7.5 microsecond의 펄스 간격을 가진 120 pps의 음극 지속전류를 사용한 결과 부종억제에는 효과가 없었다.

본 연구에서는 일반적으로 사용되는 단속명류전류를 사용하여 최소가시수축 강도의 90%강도로 자극한 결과 양극과 음극 모두에서 부종 억제의 유의한 차이를 발견하지 못하여 Karnes 등(1992)과는 치료 변수가 차이가 있으나 결과는 동일하게 나타났다. Karnes(1992)은 고압전류와 저압전류의 차이를 극성으로 가정하고

음극은 혈장과 다른 혈액 성분은 음극 전하를 가지고 이것이 부종 부위로 모이지 못하게 차단하거나 혈관으로부터 혈장 단백질이 혈관 밖으로 유출되는 속도를 낮춘다고 하였다.

또 다른 이론으로 부종억제에 영향을 미치는 요인이 교감신경의 자극이라 할 수 있다. 그러나 교감신경 자극에 의한 효과로는 다양한 결과가 보고되었는데 Alon과 DeDomenico(1987)는 전기 자극은 교감 신경계를 자극하여 혈관 수축을 일으키고 혈액 유출을 억제하여 부종을 억제한다고 하였다. 그 외에 다양한 효과로 피부 온도의 변화(Abrams, 1976; Ebersol 등, 1977), 혈압 및 심박동의 변화(Ebersol 등, 1977)를 보고하였는데 그 정도는 상반된 보고도 있다. 즉 교감신경 자극은 간접적으로 흥분을 증가시킨다는 Abrams(1976)의 보고와 감소한다는(Owens 등, 1975)보고가 있고, 또 변화가 없다는 Wong과 Jette(1984)의 보고도 있다.

전기 자극의 효과에서 극성(polarity)은 중요한 변수가 되는데 Fish등(1991)은 120 pps의 고압맥동직류로 30-40V 사이의 0.75-1.0  $\mu$ c로 자극한 결과 부종 억제에는 효과가 없었다. 이 결과 극성이 부종억제에 중요한 변수임이 입증되었는데 본 연구에서도 고압맥동직류나 저압맥동직류 모두에서 양극에서는 효과가 없어 Fish등의 결과와 일치하였으며, 부종이 더 심해 지지 않는 것도 선행 연구와 일치하였다.

Alon과 DeDomenico(1987)는 고압맥동직류의 자극 시 효과를 전장 현상(electrical field phenomenon)으로 가정하였다. 전장 현상의 개요는 극성을 띤 전장은 전하를 가진 단백질을 림프관 안으로 이동시킨다고 생각하여 부종 형성과 수반된 간질 용액 축적을 제시하였다. 더 나아가 전장 이론(electrical field theory)은 감각 신경 수준의 고압맥동직류를 통한 부종 조절을 위한 치료 계획에 이론적 근거를 제공해 주게 된 것이다. 왜냐하면 고압맥동직류의 의무 주기(duty cycle)는 120 pps에서 0.16% 만이 작용되기 때문에 저주파 전류보다 적다. 따라서 이온 도입 효과(전장)는 운동 역치보다 적은 강도의 고압맥동직류를 사용할 때 나타난다. 더 나아가 고압맥동직류의 펄스 기간은 매우 짧기 때문에 어떤 극성의 영향이라도 매우 짧은 기간에 작용한다. 따라서 Alon과 DeDomenico는 양극을 사용해도 부종이 심해지지 않는 이유라고 하였고, 이것을 양극 이온 도입(anophoresis)이 일어나는 현상이라고 예상하였다.

그러나 Newton과 Karselis(1983)는 전극 밑에서는 산과 염기(base)를 형성하기 때문에 사람에서는 100V, 8-82 pps고압맥동직류로 30분간 자극했을 때 pH의 변화가 일어나지 않는 것을 발견하고 이 전류의 전장 효과는 없거나 일어나지 않는다고 하였으며 Alon과 DeDomenico(1987)와 같이 림프관 안으로 단백질 이동을 지지하였으며 최근에는 고압맥동직류는 전장이 림프관을 통하여 작용하지 않는다고 분명히 하였다.

부종형성에 미세혈관의 투과성에 대하여 Reed(1988)는 histamine에 노출된 미세혈관으로부터 dextran이라는 물질의 유출을 감소시킨다고 하였는데 이것은 전기 자극이 미세혈관의 투과성에 영향을 미치고 부종 형성에 영향을 준다고 할 수 있다. Nannmark 등(1985)은 직류와 교류(5-50 $\mu$ A)를 자극하여 관찰한 결과 30-160분이 지난 후 미세혈관의 투과성이 증가하였고 고분자(macromolecule)와 백혈구의 유출이 일어났다. 이들은 자극을 한 조직에서 많은 수의 백혈구가 혈관 밖에서 관찰된 외에 다른 조직학적 변화는 없는 것을 확인하였다. Reed와 Nannmark 등의 보고를 종합하면 전기 자극에 대한 미세혈관의 반응은 상반된다고 할 수 있다.

이상의 연구를 종합하면 고압맥동직류의 음극 전류는 조직 손상 후 바로 적용하였을 때 손상 부위 주위의 건강한 미세혈관으로부터 혈장 단백질의 유출을 억제하거나 감소시키며, 그럼에도 불구하고 약간 부종이 생기는 것은 손상 부위의 혈관이 손상되었기 때문에 혈장 단백질이 흐르게 되고 고질 삼투압에 의해 감소된다.

고압맥동직류의 음극전류는 미세혈관의 투과성을 감소시키나 양극전류는 분명하지 않고 앞으로 연구가 필요하다.

부종치료에 전기자극치료는 유효하며 적절한 전류 선택과 극성의 선택이 중요하다. 앞으로는 실제로 사람에게 적용하여 그 효과를 밝혀 나가야 하며 이러한 방법은 부종완화뿐 만 아니라 상처치유의 촉진, 혈액순환의 개선 등에 이용될 수 있을 것이다.

## V. 결 론

고압(120 pps, 33.3V) 및 저압 맥동직류(100 pps, 0.2-1mA) 자극이 개구리 뒷다리의 부종억제에 어

떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 양극 및 음극을 각각 활성전극으로 하여 인위적으로 압좌 손상을 시켜 30분 전기자극을 하고 30분 휴식을 하며 체적측정기로 측정을 한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 고압맥동직류로 자극한 결과 음극전류에서는 뚜렷한 부종억제 효과가 있었고 양극전류에서는 대조군과 차이가 없었다.
2. 저압맥동(단속)직류로 자극한 결과 양극 및 음극 모두에서 대조군과 차이가 없었다.
3. 저압 및 고압 모두에서 전기자극시 부종이 증가하는 현상은 나타나지 않았다.

### 참 고 문 헌

이재학 : 전기치료학. 대학서림, 11-15, 1993.

Abram SE : Increased sympathetic tones associated with transcutaneous electrical stimulation. *Anesthesiology*. 45 : 575-577, 1976.

Alon G, DeDomenico G : High voltage stimulation : An integrated approach to clinical electrotherapy. Chatanooga. Tenn : Chatanooga Corp, 1987.

Bettany JA, Fish DR, Mendel FC : High voltage pulsed direct current : Effect on edema formation after hyperflexion injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 71 : 677-681, 1990. Brown M, Gogia P : Effect of high voltage stimulation on cutaneous wound healing in rabbits. *Phys Ther* 67-663, 1987.

Ebersol MJ, Laws ER, Albers JW : Measurements of autonomic function before, during, and after transcutaneous stimulation in patients with chronic pain and in control subjects. *Myo Clin Proc*. 52 : 228-232, 1977.

Fish DR, Mendel FC, Schultz AM, Gottstein Yerke LM : Effect of anodal high voltage pulsed current on edema formation in frog hind limbs. *Phys Ther*. 71 : 724-733, 1991.

Gibson JN, Smith K, Rennine MJ : Prevention of disuse atrophy by means of electrical stimulation. *Lance*. T 8614 : 767-70, 1988.

Guyton AC : Text book of medical physiology. 5th ed. Philadelphia : WB Saunders. 397-443, 1990.

Jette DU : Effect of different forms of transcutaneous electrical nerve stimulation on experimental pain. *Phys Ther*. 66 : 187-193, 1986.

Karnes JL, Mendel FC, Fish DR : Effect of low voltage electrical stimulation on edema formation in frog hind limbs following impact injury. *Phy Ther*,

71-S118. Abstract. 1992.

Lewis DM, Amund WS, Rosendorff C : Stimulation of denervated muscle. What do isometric and isotonic recording tell you? In Nix WA, Vrbova G(eds) *Electrical stimulation and neuromuscular disorder*. Springer Berlin. 101-113, 1986.

Mendel FC, Wylegala JA, Fish DR : Influence of high voltage pulsed current on edema formation following impact injury in rats. *Phys Ther*. 1992.

Nannmark V, Buch F, Albrektsson T : Vascular reactions during electrical stimulation. *Acta Orthop Acad*. 56 : 52-56, 1985.

Newton RA : High voltage pulsed galvanic stimulation : Theoretical bases and clinical application. In : Nelsons RM, Currier DP, eds. *Clinical electrotherapy*. Norwalk, CT : Appleton&Lange. 165-182, 1978.

Newton RA, Kerselis TC : Skin pH following high voltage pulsed galvanic stimulation. *Phys Ther*. 63 : 1593-1596, 1983.

Owens S, Ackinson ER, Lees DE : Thermographic evidence of reduced sympathetic tone with transcutaneous nerve stimulation. *Anesthesiology*. 50 : 62-65, 1975.

Reed BV : Effect of high voltage pulsed electrical stimulation on microvascular permeability to plasma protein : a possible mechanism in minimizing edema. *Phy Ther*. 68 : 491-495, 1988.

Scott OM, Vrbova G, Hyde SA, Dubowix V : Effect of electrical stimulation on normal and diseased human muscle. In Nix Wa, Vrbova G(eds) *Electrical stimulation and neuromuscular disorder*. Springer Bertin 125-131, 1986.

Schmitt O : Treatment of idiopathic scoliosis with daily short-term electro-stimulation. In Nix WA, Vrbova G(eds). *Electrical stimulation and neuromuscular disorders*. Springer Berlin 132-143, 1986.

Taylor K, Fish DR, Mendel FC, Burton HW : Effect of a single 30 minute treatment of high voltage pulsed direct current on edema formation. *Phys Ther*. 71 : S117. abstract.1991.

Wong RA, Jette DU : Changes in sympathetic tones associated with different forms of transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects. *Phys Ther*. 64 : 478-482, 1984.