

## 맥동전자장에너지의 미세전류가 가토의 상처치유에 미치는 영향

김준 정형외과  
권 원 안

대구대학교 물리치료학과  
박 래 준

대구보건대학 물리치료과  
박 윤 기

전남과학대학 물리치료학과  
황 태 연

## The Effects of Pulsed Electromagnetic Energy and Microcurrent on Wound Healing in Rabbits.

**Kwon, Won-An, P.T., M.S.**

*Department of Physical Therapy, Kim-Joon Orthopaedic Clinic*

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

*Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Taegu University*

**Park, Youn-Ki, P.T., M.S.**

*Department of Physical Therapy, Taegu Health College*

**Hwang, Tae-Yeun, M.S., P.T.**

*Department of Physical Therapy, Chunnam Techno College*

### <Abstract>

The purpose of this study was to evaluate the effects of pulsed electromagnetic energy(Diapulse) and microcurrent on the wound healing in rabbits. 15 domestic rabbits were randomly assigned to the PEME(n=5),

MC(n=5) and CON(n=5) group. Each rabbits were anesthetized with lidocaine HCL 2%. Skin wounds were created laterally on the back of 15 domestic rabbits(3 3cm). From 24 hours after being injured, the rabbits of the PEME group were irradiated with an intensity of 3 at a 300 pulses per second, which were applied for 15 minutes every day during the 12 days. The MC group were stimulated with an intensity of 50 $\mu$ A at frequency of 40 pulses per second, which were applied for 15 minutes every day during the 12 days. The CON group were not stimulated. The rabbits were sacrificed and the incised wound parts were processed appropriately for the light microscopic examination on the 3rd day, 6th day and 12th day before the beginning of wound treatment. The areas of wound were measured with metric graph paper.

The results were as follows.

1. The PEME and MC group compared with control group showed that wound closure rate increased on 6th, 12th day.

2. It was found that the CON group did not show a complete maturation and had a chronic inflammatory

response. Judging from the irregularity of intercellular space and the loose alignment of connective tissue, these findings showed that wound healing was delayed.

3. It showed that inflammatory cells, fibroblasts and epithelial cells activity rapidly processed in the PEME group compared with the CON group. It was found that the PEME group showed a advanced remodeling of epithelial layer and a positive repair of connective tissue.

4. It showed that fibroblasts, epithelial cells and inflammatory cells activity rapidly processed in the MC group compared with the CON group. It was found that the MC group showed a improved remodeling of epithelial layer and a dense connective tissue.

## I. 서론

상처치유는 상처가 형성된 후, 초기에 염증성 반응이 나타나며(Ordman과 Gillman, 1966), 이어서 상피세포의 활동으로 일어나는 상피화와 상피의 재형성(Martinez, 1987) 등이 일어나면서 상처가 치유되지만, 아직 상처치유의 정확한 기전은 불분명한 상태이다(McGrath, 1990).

임상적으로 개방성 상처는 환자의 재활과정을 지연시키고 의료비의 부담을 증가시키는 주 요인의 하나이며, 척수 손상 환자나 뇌혈관 손상 환자 등에서 허혈성 피부 궤양은 심각한 합병증 중의 하나이다(Griffin 등, 1981; Mayer와 Richardson, 1981; Sommers, 1991). 1962년 Carey와 Lepley가 연속직류전류의 창상치유효과에 대해 발표한 이래 많은 학자들이 창상 치유속도를 증진시킬 목적으로 여러 형태의 전기자극을 이용하고 있으며, 이재형(1995)에 의하면 미세전류와 맥동전자장을 이용한 전기치료도 이러한 치료 방법중의 하나라고 언급하였다.

맥동 전자장에너지가 상처의 회복과정에 미치는 영향에 대하여 언급하고 있는 연구는 많이 있으며(Brown 등, 1986; Eaglestein과 Mertz, 1981; Knighton 등, 1986), 비열 맥동 고주파 전자장에너지에 대한 실험적, 임상적 사용은 연부조직 치유(Goldin 등, 1981; Ross, 1990), 부종 감소(Rhodes, 1981), 혈중 흡수(Fenn, 1969), 염증감소(Willson, 1972), 말초 맥관구조의 치유(Erdman, 1960)에 안전하고 효과적인 방법으로 문헌에서 보고되고 있다. 비록 작용 기전은 잘 이해되고 있지 않지만, Ross(1984)의 연구에 의하면 신체의 손상에 의한 첫 번째 반응은 전자기적 또는 전기적 반응에 의해 신호를 척수와 대뇌로 전달하고, 이어서 감염을 차단하고, 출혈을 막아 신체의 안정성을 유지하는 전기화학적

반응이 나타나며, 마지막으로 혈류를 따라 손상부위에 정상적인 전기적, 대사적 효소균형을 회복시키며 새로운 조직의 형성, 부산물의 제거를 담당하는 화학적 반응이 나타난다고 하였다. 비열 맥동 고주파 전자장에너지를 적용하면 이상고열(hyperpyrexia)과 조직의 손상없이 혈류와 산소를 증가시키며(Erdman, 1960), 손상된 조직에 대해 전기충전의 회복을 가속화시키고, 전기적, 전기화학적 반응을 촉진시켜 부종의 제거, 혈종의 흡수와 혈류증가를 발생시키는 특정한 생물학적 효과를 발생시킨다(Ross, 1984).

Cameron(1961)이 행한 상처회복에 대한 비열 맥동 고주파 전자장 에너지의 조직학적 연구를 보면, 교원질 형성, 백혈구 침윤, 식작용, 조직구 활동, 지방 활동, 혈종의 배출관 형성 등이 나타난다고 보고하였다. Hymes(1986)는 맥동전자장에너지의 적용으로 파이브로넥틴(fibronectin)의 응집이 상처부위에 증가한다고 하였고, 이것은 상처치유 과정을 증진시키는 것과 관련 있다고 하였다. Duma-Drzewinska 등(1978)는 맥동 전자장치료가 일반적인 방법으로 치료해서 효과가 없는 표층과 심층 욕창치료에 긍정적인 효과를 미친다고 하였다.

맥동전자장 치료기인 다이아펄스(diapulse) 장비의 제원은 주파수가 27.12kHz, 맥동(pulse) 빈도는 초당 80-600회, 맥동폭(pulse width)은 65μs, 한 맥동당 출력영역은 293-975W, 순환주기(duty cycle)는 0.5-3.9%이며 1%보다 적은 강도증가시간(rise time)과 강도하강시간(fall time)을 가진 정방형맥동(square pulse)이다(Ross, 1984).

미세전류에 관한 많은 임상연구(Alon 등, 1986; Barron 등, 1985; Carley와 Wainapel, 1985)와 동물 실험(Alvare 등, 1983; Bourguignon과 Bourguignon, 1987; Cheng 등, 1982; Suzuki 등,

1986)을 보면 미세전류자극이 조직치유와 회복과정을 활성화시킨다는 것을 알 수 있고, 조직 또는 배양세포를 이용한 연구에서는 세포내의 ATP 재합성, 단백질 합성, 그리고 DNA 복제 비율이 직접적인 전기자극에 의해 증가되는 증거를 제시하고 있다. 여기에는 또한 개방성 상처를 포함하여 손상된 조직은 자연적으로 발생하는 상처전류에 관한 증거도 보여주고 있다. 미세전류는 DuBois-Reymond(1843)에 의해서 처음 실험적으로 관찰되었으며 그는 조직에 손상이 일어나면, 손상부에 미세한 전류가 흐른다는 것을 발견하고 이를 상처전류라 불렀다. 하등 양서류의 재생하는 다리 절단부에서 평방센티당 10~100 $\mu$ A의 전류가 측정되었고(Borgens 등, 1977), 이와 다른 연구에서 Barker 등(1982)은 한 어린이의 절단된 손뼉부분에서 상처주위 cm<sup>2</sup>당 약, 10~30  $\mu$ A 범위의 전류가 흐른다는 것을 보고하였다. 이러한 상처전류가 어떻게 발생되는가를 알아보면, 포유류표피의 양단에는 총 30~80mV의 전압차이가 있으며 이것은 각각 다른 각질세포부위에 있는 양단막 전압의 차이로 인한 누적적인 효과이며(Barker 등, 1982) 상처로 표피조직이 손상을 입으면, 상처부위에 있는 액체 삼출물과 손상세포의 저저항통로를 통해 이온전류의 그룹흐름을 형성할 것이고, 이러한 정상조직과 손상조직사이의 이온전류의 흐름양상은 정상적이고 건강한 기능상태로 조직을 회복시키는데 필요한 혈장막 회복과정을 자극하는데 중요한 역할을 한다(Borgens 등, 1977). Harrington 등(1974)은 토끼의 피부창상에 200~800 $\mu$ A로 24시간 자극을 하여 피부세포의 운동을 관찰한 결과 상피세포의 이동이 현저하다고 보고하였다.

본 실험은 가토의 배부에 인공적으로 만들어진 창상에 맥동전자장에너지와 미세전류를 적용하여 가토의 상처가 치유되는 과정에서 상피세포와 진피의 치유진행 과정을 헤마톡시린-에오진 염색을 통해 광학현미경으로 형태학적인 분석을 하여 관찰하였고, 그룹간의 상처수축률을 알아보기 위해 상처의 크기를 측정하여 비교하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

본 실험재료는 생후 5개월된 체중 3kg~3.5kg 내외의 옹성 가토 15마리를 사용하였다. 이 실험동물들은 동일

한 조건을 유지하기 위하여 같은 고행사료를 적용하여 7일간 사육하면서 적응훈련을 시켰다. 실험그룹의 설정은 대조군(N=5), 맥동전자장에너지 치료군(N=5), 미세전류 치료군(N=5)으로 분류하였으며 각각을 다시 3일, 6일, 9일, 12일군으로 세분하였다.

## 2. 방법

### 1) 실험전 처치

15마리의 가토에 피부 표면을 절개하기 위해 수술부위를 삭모하고, 소독을 실시한 이후 염산 리도카인 2%를 사용하여 국소 마취하였다. 수술부위는 몸체의 배측 중앙부위 외측에 적용하여 굵기거나 부딪히는 것을 방지하도록 하였으며 수술용 칼로 크기는 3×3cm, 깊이는 피하조직까지 절개창을 만들었다. 가능한 균일성을 유지하기 위해 노력하였으며 절개된 부위가 마르지 않도록 바세린거즈와 멸균거즈를 덮고 반창고로 고정하였다.

### 2) 맥동 전자장에너지 치료군

전기 자극기는 맥동 전자장에너지 치료기인 다이아펄스(Diapulse, America)를 사용하여 상처를 주고 난 24시간 후부터 하루에 한번씩 일정하게 출력은 3, 맥동빈도는 300회/초로 상처표면에 15분간 조사하였다.

### 3) 미세전류 치료군

미세전류는 Myopulse(EMI, America)를 적용하였고, 1×3inch 크기의 전극 두 개를 상처 양쪽에 부착하고, 하루에 한번씩, 주파수는 40Hz, 강도는 50 $\mu$ A로 15분간 적용하였다.

### 4) 창상 수축률 측정

동일한 물리치료가 치료 전 매일 상처의 크기 변화를 측정하기 위하여 OHP용 용지를 상처 위에 놓고 끝이 정교한 사인펜으로 상처 주위를 따라 그렸고 상처의 크기가 그려진 OHP 용지 위에 미터 그래프용지를 놓고 다시 그렸으며 상처부위 측정선의 표시 안에 존재하는 평방 밀리미터의 수를 계산하여 측정하였다.

### 5) 광학현미경적 관찰

조직학적인 변화를 알아보기 위하여 각 실험군에서 1마리씩 실험완료일에 마취를 하고, 창상부위를 15×15mm로 자른 후 10% 포르마린으로 고정하였다. 고정된 조

직접편은 에틸 알코올로 탈수하고, 자이렌(xylene)으로 투명화 과정을 거쳐 파라핀으로 포매한 후 미세절단기로 4~5 $\mu$ m의 조직절편을 만들었다. 각 조직절편은 슬라이드에 정위치로 부착하여 1시간 동안 슬라이드 건조기로 건조시킨 다음 자이렌으로 파라핀을 제거한 후 수세시킨 다음 헤마톡시린 에오진(H-E)염색을 하여 물로 여분의 염색제를 씻어내고 점차 높은 농도의 알코올을 거치며 탈수하여 캐나다 발삼(canada balsam)으로 봉입하였다. 이 표본으로 광학현미경 하에서 창상의 표피층과 진피층의 일반적인 형태를 관찰하였다.

#### 6) 자료분석

SPSS/PC+를 이용하여 맥동 전자장에너지 치료군, 미세전류 치료군 그리고 대조군에 대한 창상 수축률의 유의성을 검증하기 위해서 독립표본(independent samples) t-검정을 실시하였다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 창상의 육안적 변화와 수축률 측정

가토에 창상을 만드는 수술 직후부터 혈액과 혈청이 스며나와 피하 출혈과 용괴가 시작되었고 2일에서 3일 동안 상처부위의 염증성 소견을 관찰할 수 있었으며 실험 1일에는 상처부위가 확장되는 것을 확인할 수 있었다.

대조군의 경우 창상을 만드는 수술을 한 이후 5일까지는 혈청이 스며나왔고 상처 주위의 붉은 테두리가 형성되는 것으로 보아 염증성 소견을 추측할 수 있었으며 치료군에 비해 넓은범위의 부종이 관찰되었다. 실험 3일이 경과하면서 자가면역반응의 증가로 인해 창상부위가 점차적으로 수축되는 것을 관찰할 수 있었으며 가피의 생성도 치료군에 비해 느리게 생성되는 것을 관찰할 수 있

었다.

맥동 전자장에너지 치료군의 경우 맥동 전자장에너지 조사 3일까지 다소 혈청이 스며나오는 것을 확인할 수 있었으며 상처주위의 붉은 테두리가 나타나는 염증성 소견을 추측할 수 있었다. 실험 3일 이후부터는 상처부위의 종결비율이 상당히 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 가피의 형성도 대조군에 비해 빠르게 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 실험 6일에는 절개된 부위의 안이 붉은 빛을 띄는 육아조직을 관찰할 수 있었고, 9일경에는 가피의 탈락이 부분적으로 관찰되었다.

미세전류 치료군의 경우 전기자극 3일까지 약간의 혈청이 스며나오는 것을 확인할 수 있었고 상처주위의 붉은 테두리가 나타나는 염증성 소견을 관찰할 수 있었다. 실험 3일 이후부터는 상처부위의 수축률과 가피의 형성이 대조군에 비해 상당히 빠르게 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 실험 6일에는 절개된 부위의 안은 붉은 빛을 띄고 있으며 전기자극 9일경에는 가피의 탈락이 부분적으로 관찰되었고 육아조직을 관찰할 수 있었다.

각각의 실험 완료일에 창상 면적을 측정한 결과 대조군의 경우 창상면적은 1일 9.22 $\pm$ 0.04 $cm^2$ , 3일 8.52 $\pm$ 0.05 $cm^2$ , 6일 7.15 $\pm$ 0.06 $cm^2$ , 9일 5.63 $\pm$ 0.06 $cm^2$ , 12일 4.15 $\pm$ 0.05 $cm^2$ 이고, 맥동 전자장에너지 치료군의 창상면적은 1일 9.23 $\pm$ 0.04 $cm^2$ , 3일 7.80 $\pm$ 0.05 $cm^2$ , 6일 5.56 $\pm$ 0.04 $cm^2$ , 9일 3.80 $\pm$ 0.05 $cm^2$ , 12일 2.35 $\pm$ 0.07 $cm^2$ 이었다. 미세전류 치료군의 창상면적은 1일 9.23 $\pm$ 0.05 $cm^2$ , 3일 7.89 $\pm$ 0.06 $cm^2$ , 6일 5.64 $\pm$ 0.06 $cm^2$ , 9일 3.75 $\pm$ 0.05 $cm^2$ , 12일 2.32 $\pm$ 0.04 $cm^2$ 으로 치료군에서 창상 수축률이 높은 것으로 나타났다.

실험 6일, 12일의 대조군과 맥동전자장에너지 치료군 사이와 대조군과 미세전류 치료군사이의 상처 수축률에 대하여 통계학적인 유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의확률(p-value)을 검증한 결과 맥동 전자장에너지 치료군과 미세전류 치료군간을 제외한 모든 군간에서 유의한 차이가 있었다(표 1, 2).

표 1. Wound closure rate(%) of each groups (day 6)

	N	Mean $\pm$ S.D	p
PEME	4	39.76 $\pm$ 0.47	.000
CON	4	22.45 $\pm$ 0.61	
MC	4	8.89 $\pm$ 0.64	.000
CON	4	22.45 $\pm$ 0.61	

표 2. Wound closure rate(%) of each groups (day 12)

	N	Mean±S.D	p
PEME	3	74.55±0.76	.000
CON	3	54.81±0.55	
MC	3	74.56±0.47	.000
CON	3	54.81±0.55	

## 2. 광학현미경적 관찰

3일 창상 대조군을 보면 상처는 피사성 가피에 의해 덮여져 있고, 염증세포가 전체에 걸쳐 골고루 관찰되며 조직세포의 활동은 보이지 않는다. 진피는 상당한 정도의 부종이 전체적으로 관찰된다(Fig. 1). 3일 맥동 전자장에너지 치료군의 경우, 상부 표피층의 피사성 가피가 관찰되고 염증세포가 대조군과 달리 피사성가피의 바로 밑부분에 활발한 염증세포를 관찰할 수 있었으며 전체에 걸쳐 부종이 관찰된다(Fig. 2). 3일 미세전류 치료군의 경우, 표피층의 피사성 가피가 상처부위를 덮고 있으며 용괴된 바로 밑부분에서 활발하게 진행되고 모여있는 염증세포가 보이며 전체에 걸쳐 부종이 보인다(Fig. 3).

6일 창상 대조군을 살펴보면 염증세포가 다소 많이 관찰되며 섬유아세포들은 상처의 가장자리로 유입되는 것이 보이며 표피층이 가장자리로 이동하고 있으나 느리게 진행되는 것을 알 수 있다(Fig. 4). 6일 맥동 전자장에너지 치료군의 경우, 상처는 잘 치유되고 있으며 염증세포가 감소하고 표피층이 상처 가장자리로 진행되어 치유되고 있으며 섬유아세포의 활동이 뚜렷하다(Fig. 5). 6일 미세전류 치료군의 경우, 염증세포가 감소하며 표피층이 상처쪽으로 이동하고 있으며 섬유세포와 섬유아세포의 활동이 대조군에 비해 다소 많이 나타난다(Fig. 6).

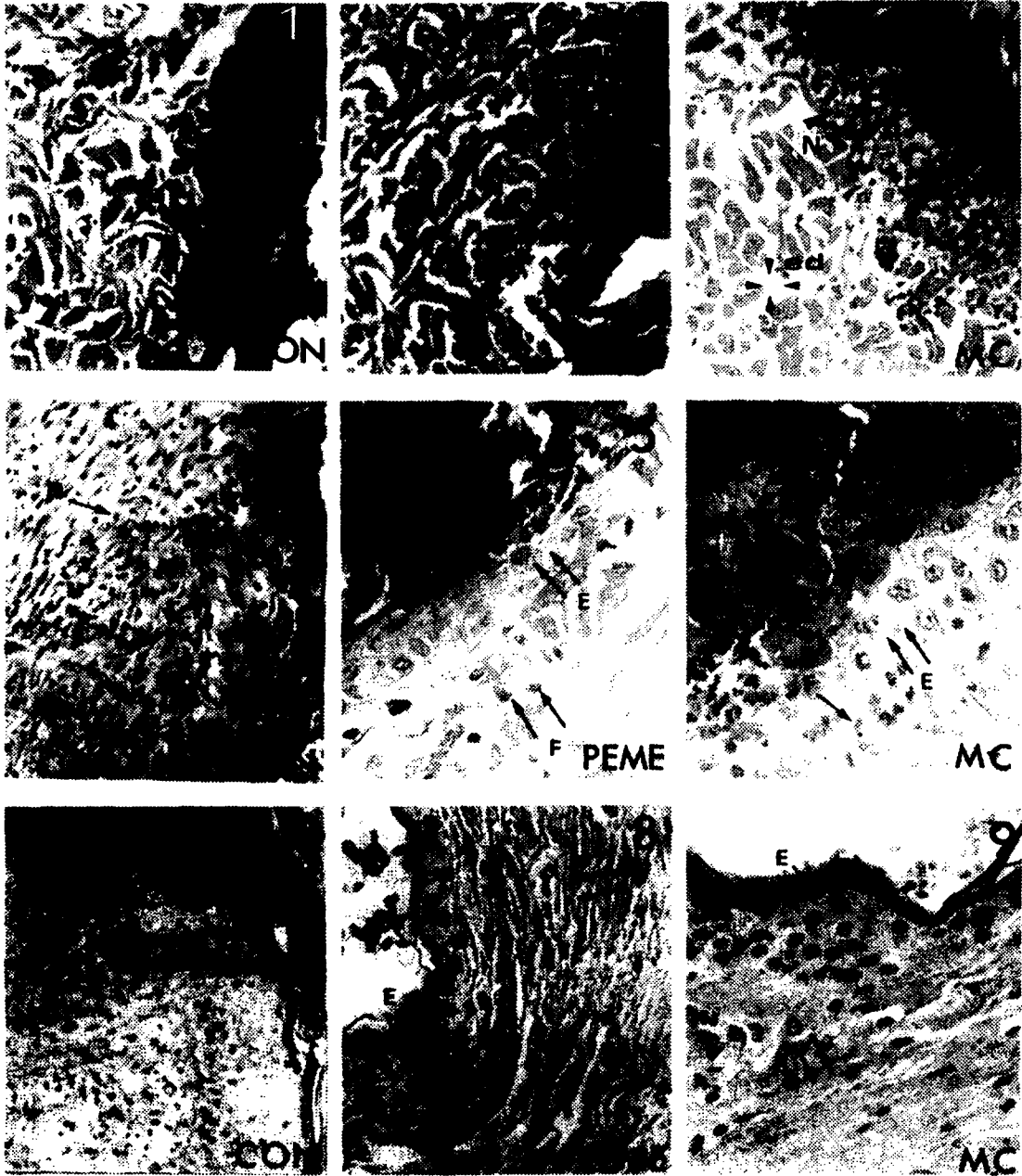
12일 대조군을 관찰해 보면, 표피층이 용괴의 밑부분으로 확장되고 있으며 다소의 염증세포, 섬유아세포등이 관찰되고 있으며 부종은 감소하고 있다. 진피의 결합조직은 불규칙한 배열을 하고 있다(Fig. 7). 12일 맥동 전자장에너지 치료군의 경우, 치유가 진행되어 표피층의 상피세포가 완전히는 못하지만 조직화물 이루어가고 있으며 계속해서 성숙하고 있다. 또한 손상받은 조직은 성숙한 교원질섬유로 대체되어 치밀한 배열을 나타내며 섬유아세포와 섬유세포의 횡정렬이 있다(Fig. 8). 12일

미세전류 치료군의 경우, 상처는 잘 치유되고 있으며 표피층의 면적이 넓어지면서 완전히 재형성되지는 못했지만 조직화되어 가고 있으며 계속해서 성숙하고 있다. 또한 손상받은 조직은 성숙한 교원질섬유로 대체되어 치밀한 배열을 나타내며 섬유아세포의 횡정렬이 보인다(Fig. 9).

## IV. 고 찰

선행연구를 통한 조직의 치유기전을 살펴보면, 손상 후 1일부터 10일 사이에 발생하는 염증기(Jones와 Millman, 1990), 3일에서 20일사이에 상피화와 상처 수축, 교원질생성이 일어나는 증식기(Barbara 등, 1996), 9일 이후 결합조직의 기질이 재형성되는 재형성기 또는 성숙기(Prentice, 1994)를 가지며 세포사이에 광범위한 소통을 필요로 하는 일련의 활동이 겹치면서 일어난다(Clark, 1996).

조직 손상 후 즉시 손상부위는 혈액부산물로 채워지며 빠르게 용괴물 형성하고(Hunt 등, 1985), 혈관은 수축하게되며 활성화된 혈소판으로부터 나온 작용물은 손상부위 혈관의 확장반응과 투과성증가를 유발하며(Bishop 등, 1997) 이러한 혈관의 반응으로 혈관수축, 혈소판 응괴 형성, 혈액응고, 섬유성 조직성장이 일어난다(Rywlin, 1985). Basic fibroblast growth factor(bFGF)는 상처치유 과정의 초기단계에 참여하여(Pierce 등, 1992) 이동, 증식, 단백질 분해효소의 생성, 내피세포에 있는 모세혈관의 성장을 촉진한다(Gospodarowicz 등, 1992). Fibroblast growth factor-2(FGF-2)는 18 kDa의 분자량을 가진 물질로서 혈관 내피세포와 평활근세포와 같은 혈관세포의 성장과 기능을 조절하는 능력이 있으며(Bikfalvi 등, 1997). Transforming growth factor beta(TGF-β)는 상처 후 초기 염증반응에서 대식세포, 단핵구, 호중성구와 같은



염증세포의 이동을 자극하며(Pierce 등, 1992) 교원질 합성을 촉진하기 위해 섬유아세포를 자극하여 상처치유의 마지막단계에 재생의 역할을 담당한다(Wiseman 등, 1988). Epidermal growth factor(EGF)는 상피의 재생을 가속화시키며 피부상처의 장력을 증가시키며(Brown 등, 1986). 각질세포들(keratinocytes)은 상처 가장자리에 세포의 이동, 증식, 각질세포의 분화를 포함

하는 일련의 변화를 진행한다(Marks와 Nishikawa, 1973). 섬유조직형성에 관찰된 대부분의 세포는 근섬유아세포이며(Baur와 Parks, 1983) 근섬유아세포와 섬유아세포의 차이점을 보면 섬유아세포는 능동적 축소 없이 재생에만 관여하고 근섬유아세포는 반흔조직의 축소를 유발한다고 보고되었다(Rudolph, 1980). 상처에서 기질 구성성분을 시간에 따라 보면, 초기에는 과도한

type III, IV 교원질의 침착이 보이지만 후기에는 영구 반흔조직의 형태를 이루는 type I의 교원질이 우세하게 되며 교원질 원섬유는 분자간, 분자내 교차연결의 형성에 의해 단단하게 감싸지고 안정화되게 된다(Yamauchi와 Mechanic, 1988). 정상적인 상처치유에 있어 마지막 과정은 반흔의 분해이며, 교원질합성은 일반적으로 6-12개월 정도에 정상조직 수준으로 되돌아가며 상처 교원질의 퇴보와 다른 기질단백질들은 과립백혈구, 대식세포, 표피세포, 섬유아세포로부터 나온 다양한 교원질 분해 효소와 단백질 분해 효소에 의해 조절된다(Mignatti, 1996). 반흔성숙은 시간적 단계에 따라 커다란 개별적 변수가 있으며 몇몇 경우에 피부반흔은 계속해서 성장하거나 확장될 수 있으며 이것은 임상적으로 켈로이드(keloid)라고 언급된다(McGrouther, 1994).

Brown 등(1986)과 Eaglestein 등(1981)에 의하면 맥동 전자장 에너지가 상처의 회복과정에 유용한 영향을 미친다고 보고하였다. 비열 맥동 고주파 전자장 에너지는 손상된 조직의 전기충전의 회복을 가속화시키고, 전기적, 전기 화학적 반응을 촉진시켜 부종의 제거, 혈종의 흡수, 혈류를 증가시키는 특정한 생물학적 효과를 발생시키며(Ross, 1984), 이상고열(hyperpyrexia)과 조직 손상없이 혈류가 증가하고 손상 부위에 산소가 증가한다고 하였다(Erdman, 1960). 실험적 혈중에 관한 맥동 전자장의 연구에서 Fenn(1969)은 토끼의 귀에서 실험적 혈중흡수가 분명히 가속화된다고 보고하였으며 Till 등(1993)은 수술 후 맥동전자장에너지의 적용으로 혈중흡수가 가속화되고 혈중의 확장이 방지된다고 하였다.

발목의 연부조직 손상에 다이아필스와 단파투열치료를 비교하여 실험한 Wilson(1974)은 다이아필스가 단파 투열치료보다 연부조직의 치유속도가 더 빠르다는 것을 발견하였으며 Cameron(1964)은 정형외과적 문제를 가진 환자의 상처치유에 있어 다이아필스의 사용은 일반적인 상태를 개선시키고 봉합시간을 단축시킬 뿐만 아니라 재원기간도 1.5일 감소한다고 하였으며 Stefanovska 등(1993)은 감각과 미세순환이 감소된 척수손상환자에서 맥동전자장에너지가 저주파 맥동전류보다 2배 더 빨리 치료된다고 하였다. Duma-Drzewinska 등(1978)은 다른 보편적인 치료보다 다이아필스 치료가 육창에 긍정적인 효과를 미친다고 발표하였다. 상처이식부위에 대한 치유에 있어 Goldin 등(1981)은 맥동전자장 치료 그룹이 프라시보그룹보다 통계학적으로 임상적으로 훨씬 빠르게 치유되었다고 발표하였다.

동물실험을 통한 맥동전자장치료에 관한 연구에서 Cameron(1961)은 상처치유의 실험적 가속화라는 연구 보고에서 실제적 치유과정이 대조군보다 50% 또는 50%이상 가속화된다는 것을 발견하였고, Booker와 Chung(1967)은 병리학적 연구에서 치료그룹이 대조군보다 염증이 감소되고, 상피 재생율이 높으며 상처의 봉합율이 높다고 보고하였다.

맥동 전자장에너지치료의 상처재생 효과를 지지하고 있는 위의 결과는 본 연구의 12일째의 창상수축률인 대조군 54.80%, 맥동 전자장에너지 치료군 74.55%와 비교될 때 다소 유사하지만 선행연구에서의 치유율이 높음을 알 수 있다.

지금까지 물리치료 분야에서 많이 사용하는 전류는 감각역치이상의 전류인 미리암페어(milliampere)수준의 전류이다. 하지만 미세전류는  $\mu$ A단위의 전류로서 조직치유와 회복과정을 활성화시키고 세포내의 ATP 재합성, 단백질 합성, 그리고 DNA 복제의 비율이 전기자극에 의해서 증가된다는 것이 임상연구(Alon 등, 1986; Barron 등, 1985; Carley와 Wainapel, 1985; Gault와 Gatens, 1976)와 동물실험(Alvarez 등, 1983; Bourguignon 등, 1987; Cheng 등, 1982; Suzuki 등, 1986; Yang 등, 1984; Young, 1966)을 통해 알 수 있다.

전기적 자극으로 인한 치유과정의 세포내 기전에 관한 연구를 보면, 우선 조직세포를 통해 흐르는 전류의 세포내 영향으로 혈장막에 전류를 통전시키면 막의 전압이 변화하게 되고 양막의 전압변화는 막안에 존재하는 전압에 민감한 이온통로의 투과성에 대한 변화를 일으키며 염화 이온통로의 개방에 기인한 염화이온의 세포내 확산은 수동통로를 통하여 이루어지는  $\text{Na}^+$ 과  $\text{Ca}^{2+}$ 의 유입을 동반하게 되며(Hviid-Larson과 Rasmussen, 1982, 1983; Palmer 등, 1984) 전류의 통전으로 많은 세포내의 생화학과정에 에너지원으로 필요한 ATP 생성을 자극하는 것으로 보고되었다(Cheng 등, 1982). 이 과정은 세포내 유리  $\text{Ca}^{2+}$ 농도의 증가를 가져올 가능성이 높고 이것의 증가는 세포내 생화학적이전에 중요한 요인으로 작용한다는 것을 의미한다. Denton과 McCormack(1980)은 ATP의 합성이 일어나는 미토콘드리아내의 세가지 중요한 산화효소들은  $\text{Ca}^{2+}$ 농도의 증가에 의해 활성화된다고 하였으며  $\text{Ca}^{2+}$ 의 증가는 세포막에 전기적 탈분극을 통해 전압민감성  $\text{Ca}^{2+}$ 통로가 세포외부  $\text{Ca}^{2+}$ 이 세포내로 들어오도록 하고 약간의  $\text{Na}^+$ 이온전류는  $\text{Ca}^{2+}$ 을 세포

소기관으로부터 분비되도록 하는 원인이 된다고 보고하였다(Carafoli와 Crompton, 1976).

본 연구는 전기자극이 세포내에 미치는 영향에 대한 생화학적 분석을 실시하지 않았으므로 이 부분에 대해서는 좀 더 객관적인 연구가 요구된다.

동물을 이용한 실험으로 Alvarez 등(1983)은 50~300 $\mu$ A의 직류전류를 돼지의 상처피부에 24시간 적용하여 상피화와 교원질합성이 높이 상승됨을 관찰하였고, Harrington 등(1974)은 토끼의 피부창상에 200~800  $\mu$ A로 24시간 자극을 하여 피부세포의 운동을 관찰한 결과 상피세포의 이동이 현저하다고 하였다.

이는 미세전류를 이용하여 치료한 그룹의 조직을 H-E 염색하여 광학현미경으로 상피세포를 관찰한 결과와 유사한 것으로 미세전류가 상피화과정을 촉진시킨다는 것을 확인하는 이론이다.

여러 동물조직이나 인간의 배양조직을 이용한 실험, 즉 쥐의 피부조직(Cheng 등, 1982), 개구리 알(Becker와 Harrington, 1973), 배양된 인간의 섬유아세포(Bourguignon 등, 1987)에 전류를 통전시키면 아미노산, ATP 재합성, 단백질 합성을 촉진하는 것으로 알려져 있다. 절개한 쥐 피부에 정상적으로 흐르는 피부전류의 흐름을 단락시켰을 때 단백질 합성률이 40%정도로 감소되지만 외부 자극원을 이용하여 상처조직에 전류를 통전하면 단백질 재합성이 약 20% 증가하는 것을 관찰하였다(DeLoecker와 Rubinacci, 1985). 조직세포들은 많은 수의 특정한 형태의 단백질 분자를 재합성하여 그들의 정상기능과정을 유지하고 손상 받거나 손실된 세포 조직을 복원한다고(Bechtel 등, 1977) 하였으나 본 연구는 조직에 대한 생화학적인 분석을 실시하지 않았으므로 이 부분에 대해서는 평가를 내릴 수 없다.

임상적 연구로 Gault와 Gatens(1976)는 200~800  $\mu$ A 전류를 매일 6시간씩 8일에서 8주간 106례의 다양한 허혈성 궤양환자를 치료하여 48례에서 완치되었고 11례에서는 창상크기가 95%로 감소되었다고 하였다. Barron 등(1985)은 1년동안 관습적 치료로 효과가 없는 6례의 만성 욕창환자에게 600 $\mu$ A의 전류를 이용하여 9회 이하의 치료에서 완치시켰다. 이러한 결과는 본 실험에서 상처수축률 측정과 H-E 염색을 통한 관찰에서 미세전류자극이 상처치유과정을 단축시킨다는 것을 지지하는 이론들이며 창상수축률이 대조군 54.80%, 미세전류 치료군 74.65%로 상처치유가 다소 빠르게 나타나는 것을 볼 수 있다.

본 실험을 통한 이러한 결과는 맥동전자장에너지와 미세전류가 상피화 과정을 촉진하고 섬유아세포 증식 및 교원질 합성을 촉진한다고 보여주었다. 한편 맥동전자장 에너지와 미세전류의 효과를 비교하였을 때 육안적으로, 형태학적으로 맥동 전자장에너지치료군과 미세전류치료군이 비슷하게 진피층의 교원섬유 재형성과 상피화 과정이 촉진됨을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 실험에서 맥동전자장에너지와 미세전류가 가토의 상처치유에 미치는 영향을 알아보기 위하여 15마리의 웅성가토를 대상으로 대조군, 맥동전자장에너지치료군과 미세전류치료군으로 분류한 후 12일동안 가토의 상처부위에 각각의 치료를 적용하면서 상처 수축률을 측정하고 광학현미경을 통한 조직학적 분석을 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 맥동 전자장에너지 치료군과 미세전류 치료군은 대조군과 비교할 때 창상수축률이 6일, 12일에서 유의하게 증가하였다.

둘째, 대조군의 경우 창상주위에서 염증세포가 6일에도 많이 관찰되었으며 섬유아세포의 수가 치료군에 비해 적었으며 결합조직의 배열이 느슨하여 상처치유가 지연되고 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, 맥동 전자장에너지 치료군의 경우 염증세포의 활동이 초기에 일어나고 상피의 재생이 대조군에 비해 빨리 일어나고 결합조직의 배열이 양호하게 성숙하여 상처치유에 효과적임을 관찰할 수 있었다.

넷째, 미세전류 치료군에서는 가피의 형성, 염증세포의 출현이 빠르게 일어나고 섬유아세포의 활동도 대조군에 비해 빠른 시간내에 일어났다. 또한 상피의 재생이 대조군보다 빨리 일어나며 결합조직의 배열이 치밀하여 상처회복이 빠르게 진행됨을 알 수 있었다.

본 연구는 앞에서 언급한 결과를 통하여 맥동 전자장 에너지와 미세전류가 대조군에 비해 육안적으로나 조직학적으로 상피화 과정이 빠르고 교원섬유의 형성과 배열이 양호함을 알 수 있었다.

앞으로의 연구과제는 각 전류의 강도에 따른 상처치유율과 주파수에 따른 상처치유율에 대한 연구가 진행되어야 할 것이며 임상에서 보다 적절하게 적용할 수 있는 방법에 대한 모색과 연구가 이루어져야 할 것이다.



## 〈 참고 문헌 〉

- 이재형 : 전기치료학, 대학서림, 1995.
- Alon G, Azaria M, Stein H : Physical Therapy, 66, 775, 1986.
- Alvarez OM, Mertz PM, Smerbeck R V, Eaglstein WH : The healing of superficial skin wound is stimulated by external electrical current. J. Invest. Dermatol, 81:144-148, 1983.
- Barbara J, Behrens, Susan L : Michlovitz: Physical Agents: From injury to Repair. 4-27, 1996.
- Barker AT, Jaffe LF, Vanable JW, Jr. Arm. J. Physiology. 242, R358-R366, 1982.
- Barron JJ, Jacobson WE, Tidd G : Minn. Med, 68(2), 103-106, 1985.
- Baur PS, Parks DH : The myofibroblast anchoring strand: The fibronectin connection in wound healing and the possible loci of collagen fibril assembly. J. Trauma. 23:853-862, 1983.
- Bechtel PJ, Beavo JA, Kregs EG : J. Biol. Chem. 252, 2691-2697, 1977.
- Becker RO, Harrington DB : Exp. Cell Res. 76,95, 1973.
- Bikfalvi A, Klein S, Pintucci G, Rifkin DB : Biological roles of fibroblast growth factor-2, Endocr. Rev. 18:26-45, 1997.
- Bishop JE, Mutsaers SE, McGrouther G, Laurent GJ : Mechanisms of tissue repair: from wound healing to fibrosis. Int. J. Biochem. Cell Biol., Vol. 29, No. 1. pp. 5-1, 1997.
- Booker WM, Chung EB : Report on pathology performed on guinea pigs experimentally burned and treated with pulsed electromagnetic energy. Personal Communication(June), 1967.
- Borgens RB, Vanable JW, Jaffe LF : Proc. Natl. Acad. Sci., USA 74,4528-4532, 1977.
- Bourguignon GJ, Bourguignon LYW : Electric stimulation of protein and DNA synthesis in human fibroblast. FASEB J. 1(5):398-402, 1987.
- Brown GL, Curtsinger LJ, Brightwell JR, Ackerman DM, Tobin GR, Polk HC, George-Nascimento C, Valenzuela P, Schultz GS : Enhancement of epidermal regeneration by biosynthetic epidermal growth factor. J. Exp. Med. 163,1319-1324, 1986.
- Brown GL, Nanney LB, Griffen MD, et al. : Enhancement of wound healing by topical treatment with epidermal growth factor. N. Eng. J. Med., July 13:76-79, 1986.
- Cameron B : Experimental acceleration of wound healing. Amer. J. Orthop., 336-343, 1961.
- Cameron BM : A three-phase evaluation of pulsed high frequency, radio short waves(diapulse), 646 patients. Am. J. Orthopedics:(Mar), 1964.
- Carafoli E, Crompton M : In symposia of the society for experimental biology: Calcium in Biological Systems (C. J. Duncan, ed.) Vol. 30, 89-115. Cambridge Univ. Press, London and New York, 1976.
- Carey LC, Leply D : Effect of continuous direct electric current on healing wounds. Surgical Forum. 13:33-35, 1962.
- Carley P, Wainapel S : Electrotherapy for acceleration of wound healing: Low intensity direct current. Arch. Phys. Med. Rehab. 66(7):443-446, 1985.
- Cheng M, Van Hoof H, Bockx E, Hoogmartens MJ, Mulier JC, Delijcker FJ, Sansen WM, Deloecker W : Clin. Orthopaedics and Rel. Res. 171, 264-272, 1982.
- Clark RAF : Overview and general considerations of wound repair: In the Molecular and Cellular Biology of Wound Repair. Plenum Press, New York. pp. 3-50, 1996.
- Deloecker, Rubinacci : Personal communication to DeLoof(ref. to DeLoof's review in Int. Rev. Cyt.), 1985.
- Denton RM, McComack JG : F. E. B. S. Letters, 119, 1-8, 1980.
- Dubois-Reymond E : Ann. Phys. Chem. (Leipzig) 58:1-301, 1843.
- Duma-Drzewinska A, Buczynski ZA, Weiss M :

- Pulsed high frequency currents (Diapulse) applied in treatment of bedsores. *Polski Tygodnik Lekarski*, XXXIII(22): 885-887, 1987.
- Eaglestein WH, Mertz PM : Effect of topical medicaments on the rate of repair of superficial wounds. In: *The Surgical Wound*. Dineen P, Hildick, Smith G., eds. Philadelphia: Lea & Febiger, 150-70, 1981.
- Erdman WJ : Peripheral blood flow measurements during application of pulsed high frequency currents. *Am. J. Ortho.*, 2:196-197, 1960.
- Fenn J : Effect of pulsed electromagnetic energy(Diapulse) on experimental hematomas. *Canadian. Med. Assoc. J.*, 100:251-254, 1969.
- Gault WR, Gatens PF : Use of low intensity direct in management of ischemic skin ulcer. *Physical Therapy*, 56:265-269, 1976.
- Goldin MB, Broadbent NRG, Nancarrow JD, Marshall T : The Effects of diapulse on the healing of wounds: a double-blind randomised controlled trial in man. *British J of Plastic Surg*, 34:267-270, 1981.
- Gospodarowicz D, Ferrara N, Schweigerer L, Neufeld G : *Endocrine Revs*, 8,95-114, 1992.
- Griffin JW, Tooms RE, Mendius RA, Clift JK, Zwaag RV, El-Zeky F: Efficacy of high voltage pulsed current for healing of pressure ulcer in patient with spinal cord injury. *Phys the.* 71:433-441, 1981.
- Harrington DB, Meyner R, Meyner R, Klein RM : Effect of small amount of electrical current at the cellular level. *Ann NY Acad Sci*, 238:300, 1974.
- Hunt TK, Banda MJ, Silber IA : Cell interactions in post-traumatic fibrosis. *Clin Symp*, 114:128-149, 1985.
- Hviid-Larsen E, Rasmussen BE : *Biochem. Biophys. Acta*. 728, 45-459, 1983.
- Hymes RO : *Scientific American*, Vol. 254, No. 6, 42-51, 1986.
- Jones PL, Millman A : Wound healing and the aged patient. *Nurs Clin of North Am* 25:263, 1990.
- Kington DR, Ciresi KF, Fiegel VD, Austin LL, Butler EL : Classification and treatment of chronic nonhealing wounds: Successful treatment with autologous platelet-derived wound healing factors(PDWHF). *Ann Surg*, 204:322-30, 1986.
- Marks S, Nishikawa T : Active epidermal movement in human skin in vitro. *Br J Dermatol*, 88:245-248, 1973.
- Martinez IR : Wound healing ultrastructural aspects. *Clinics Dermatol.*, 5:37-55, 1987.
- Mayer PR, Richardson RR : Prevalence and incidence of pressure sores in acute spinal cord injuries. *Paraplesia*. 19:235-247, 1981.
- McGrath M H : Peptide growth factors and wound healing. *Clinics in Plastic Surgery*, 17:421-432, 1990.
- McGroutner DA : Hypertrophic or keloid scars. *Eye* 8, 200-203, 1994.
- Mignatti et al : Proteinases and tissue remodeling. In *The Molecular and Cellular Biology of Wound Repair*. Second Edition. (Ed. Clark R. A. F.), pp 427-474. Plehum Press. New York, 1996.
- Ordman LJ, Gillman T : Studies in the healing of cutaneous wounds I. The healing of incisions through the skin of pigs. *Arch. Surg*, 93:857-882, 1966.
- Palmer LG, Tang JM, Nelson OJ : *Biophys. J.*, 45, 140a(Abstr.), 1984.
- Pierce GF, Tarpley JE, Yanagihara D, Mustoe TA, Fox GM, *Endocrine Revs.*, 8,95-114, 1992.
- Prentice WE : Therapeutic modalities in sports medicine. pp.13-27, 1994.
- Rhodes LC : The adjunctive utilization of diapulse therapy (Pulsed High Peak Power Electromagnetic Energy) in surgery. *The Quarterly Natnl Dental Asso*, 39(4):166-175, 1981.
- Ross J : Evolution, prevention & relief of acute & chronic pain with the application of diapulse therapy(Pulsed High Peak Power Electromagnetic Energy). *Schmerz* 1, 1984.
- Ross J : Biological effects of pulsed high peak

- power electromagnetic energy using diapulse. *Emerging Electromagnetic Medicine* eds. New York: Springer-Verlag:269-282, 1990.
- Rudolph R : Contraction and the control of contraction. *World J surg* 4:279-287, 1980.
- Rymlin AM : Hemopoietic system. In Kissane JM, editor: *Anderson's pathology*, ed 8, St Louis, 1985.
- Sommers MF : *Spinal Cord Injury Functional Rehabilitation*. Appleton & Lange. p29-42, 1991.
- Stefanovska A, Vodovnik L, Benko H, Turk R. : Treatment of chronic wounds by means of electric and electromagnetic fields. *Med Biol Eng Comput*, 1993, May.; 31(3):213-20, 1993.
- Suzuki M, Tamiya E, Matsuoka H, Sugi M, Karube I : *Biochem. Biophys. Acta*. 889:149-155, 1986.
- Till M, Gubisch W, Frickert G, Reichert H, Schmidt KH : Postoperative management with pulsed high frequency electromagnetic energy. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 1993 Jan;25(1):26-32, 1993.
- Wilson DH : Treatment of soft-tissue injuries by pulsed(high frequency) electrical energy. *British Med. J.*, 2:269-270, 1972.
- Wilson DH : Comparison of short-wave diathermy and pulsed electromagnetic energy in treatment of soft tissue injuries. *Physiotherapy*, 60(10):309-310, 1974.
- Wiseman DM, Polverini PJ, Kamp DW, Leibovich S J : *Biochem. Biophys. Res.*, 157, 793-800, 1988.
- Yang WP, Onuma EK, Hui SK : *Exp. Cell Res.* 155,92-104, 1984.
- Yamauchi M, Mechanic GL : Cross-linking of collagen. In *Collagen*. Vol V. *Biochemistry*. (Ed. Nimmi M.E.). PP. 157-172. CRC Press, Boca Raton, 1988.
- Young GH : Electrical impulse therapy aids wound healing. *Modern Veterinary Practice*. 47(14):60-62, 1966.