

## 전기자극이 상처치유에 미치는 효과

대구대학교 재활과학 대학원 물리치료전공  
계명대학교 의과대학 동산병원 물리치료실\*  
곽병원 물리치료실\*\*

김식현 · 김수민\* · 김용수\*\*

### Effects of Electrical Stimulation on Wound Healing : Review of the Literature

Kim, Sik-Hyun, R.P.T.

Kim, Soo-Min, MS, R.P.T.\*

Kim, Yong-Soo, MS, R.P.T.\*\*

*Major of Physical Therapy, Dept. of Rehabilitation Graduate School of Rehabilitation Science,  
Taegu University*  
*Dept. of Physical Therapy, Dong San Medical Center, School of Medicine, Kei Myung University\**  
*Dept. of Physical Therapy, Kwak Hospital\*\**

#### —ABSTRACT—

This study was performed to assess the efficacy of electrical stimulation for healing of wound in injured tissue, and to provide a baseline for electrical stimulation in the treatment.

Although the specific mechanism by electrical stimulation which may promote injured tissue to heal is not known, generally many hypothesis exist such as bactericidal effect, enhanced circulation, stimulation of cellular biosynthesis and replication, and attraction of connective tissues and inflammatory cells

The results of this study are as follows :

1. The healing of skin wound was facilitated by electrical stimulation
2. The capacity of collagen synthesis was significantly accelerated by electrical stimulation
3. The application of electrical stimulation to injured tissue may be helpful in augmenting the rate of wound contracture

## 차 례

### I. 서 론

### II. 상처치유와 수복

#### 1. 상처치유

##### 1) 염증기

##### 2) 상피화

##### 3) 상피의 재형성

#### 2. 결합조직 수복

### III. 상처치유에 대한 전기자극의 이론적 근거

### IV. 상처치유에 대한 전기자극의 효과

### V. 결 론

#### 참고문헌

## I. 서 론

최근들어 인체의 전기적 성질을 가진 조직에 전기자극을 가하여 인체의 각 질환을 치료하려는 시도가 매우 활발히 진행되고 있다. 더욱 최근에는 의용공학의 발전에 따라 탈신경근의 무용성 위축(박래준 등, 1993) 및 신경근 장애 질환의 기능적 활동의 유발을 위해 기능적 전기자극(functional electrical stimulation)이 적용되고 있는 실정이며(Carnstam 등, 1977), 아울러 뇌혈관 손상(cerebro-vascular accident) 환자나 척추손상(spinal cord injury) 환자의 재활과정에 있어 환자의 재활과정을 지연시키고 환자의 경제적 부담까지 가중시키며 41% 정도의 이환율을 나타내는(Richardson 등, 1981) 심각한 합병증 중의 하나인(Griffin 등, 1991), 허혈성 피부손상에도 역시 전기자극이 적용되고 있다(Carley 등, 1962; Gault 등, 1976; Kloth 등, 1988).

상처치유를 위한 몇몇 선택적인 치료는 상처치유에 유용하지만 종래의 재래적 치료방법으로는 치료의 한계점이 있고 상처의 치유가 충족되는 것은 아니며 이에 따라 부가적인 치유 촉진을 위해 전기자극 치료는 매우 활성적으로 시도되고 있다.

전기자극을 이용한 피부과적 병변의 적용은

1688년에 Digby가 천연두(small-pox)환자의 반흔(scar)방지를 위해 천연두 병소에 전기적 전하를 띤 금박(gold leaf)를 적용한 것이 최초였고, 이후 상처치유를 촉진하기 위해 다양한 전류를 적용하여 왔으며 최근에는 인체에 전기적 적용량이 비교적 적은 고압(high voltage)을 이용한 맥동전류(pulsetile current)를 적용하고 있다(Feedal 등, 1991).

그러나 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 상처치유에 대한 전기자극의 명확한 기전과 생리적 효과는 아직까지 불분명하다.

이에 본연구는 전기자극의 문헌적 고찰을 통하여 전기자극이 상처치유에 미치는 상이한 효과를 알아보고 상처치유에 대한 전기자극의 효과를 고찰하고자 한다.

## II. 상처치유와 수복

### 1. 상처치유

#### 1) 염증기

외상 등에 의해 피부조직이 손상받았을 때 조직안에서는 출혈과 섬유소 응괴(fibrin clot) 현상이 나타나고, 바로 그 이후에 백혈구는 상처부위에 침입하고 이 때 각질세포 좌멸조직(debris of horny cell)과 다른 피사성 상피세포는 섬유성 응괴와 염증성 삼출액으로 혼합된다(Ordmann 등, 1966).

상처부위 내의 다형핵 백혈구는 삼출액과 세포 좌멸조직(cell debris)으로 가득 채워지고 모세관의 내피세포는 부풀어 오른다. 혈소판 집합체는 활성화되며 파괴된 혈관 안에서 지혈(hemostasis)효과를 위해 혈액응고를 유발한다. 그리고 또한 많은 생물학적 물질들이 상처부위로의 세포이동(migration of cell)을 촉진하기 위해 해리되고(Ginsberg, 1981), 손상 초기에 다형핵 백혈구는 상처치유에 있어 식균세포의 기능을 담당하며(Tarin 등, 1970), 상처치유에 있어 세포분해(cell lysis)와 식균작용같은 주요한 기능을 수행한다(Ross 등, 1968).

또한 대식세포는 섬유소, 혈청 삼출물, 그리고 세포 좌멸조직을 탐식하고 결합조직의 수복이 완전하게 될 때까지 상처부위의 삼출물과 섬유소를 제거하는 중요한 역할을 담당한다(Diegelmann 등, 1981).

식균세포는 섬유아세포의 증식(proliferation)과 점증(recruitment)의 역할을 담당하므로(Wahl, 1981), 이들 식균세포가 결여되면 상처치유는 지연된다(Leibovich, 1975). 염증성 반응의 말기에 상처부위 안에서 섬유아세포가 나타나기 시작하고 섬유아세포에 의해 단백질 합성은 자극된다(Wahl, 1981).

이 과정동안 세포사이 공간은 매우 넓어지고, 세포질 안에서는 작은 지질덩어리(lipid droplet)와 사립체(mitochondria)의 수가 증가되며, 조면, 활면 내형질세망(rough & smooth endoplasmic reticulum)과 골지체(golgi complex)가 나타난다(Odland, 1968). 기저판(basal lamina)은 상처의 가장자리에서 진피와의 접촉을 계속하지만 기저판위의 상피세포는 괴사되고, 기저세포와 기저판 사이의 반교소체(hemidesmosome) 용해에 의해 세포내 공간이 생긴다. 이러한 세포사이 공간은 상피세포가 이동하는 동안 더 자유로운 운동을 할 수 있도록 허용한다(Martinez, 1972).

## 2) 상피화(Epithelialization)

염증기 이후에 상피세포는 기저판의 절편 가장자리(cut edge)를 지나서 이동하기 시작하고 응피와 삼출물안으로 돌출한다. 선도세포(leading cell)는 위쪽이 나타나고, 미소돌기가 돌출한다. 이들 세포는 정상 기저세포에 비하여 적은 수의 사상체를 함유하고 있지만, 골지체와 조면, 활면 내형질세망의 수는 증가한다.

이동세포(migrating cell)는 섬유소의 연사(strand)(Martinez, 1972)를 따라 염증성 삼출물을 통과하여 이동하고 섬유소 복합체(Clack 등, 1982), 파이브로넥틴(fibronectin)(Repesh 등, 1982), 그리고 Type IV 교원질을 따라 이동한다(Stenn 등, 1979).

재상피화(reepithelialization)의 초기에 파이브로넥틴은 주로 순환하는 혈장 파이브로넥틴으로부터 유래하고, 그 이후에는 근본 발생 부위로부터 유래한다. 식균성 백혈구는 이동면을 따라서 상피세포의 침습(invasion)을 보조하는 역할을 하고(Martinez, 1972), 이때 많은 이동세포는 세포의 좌멸조직과 섬유소를 흡수하고 포식용 해소체(phagolysosome) 물질을 함유한다(Croft 등, 1970).

세포는 긴 미소돌기와 위쪽에 의해 아메바 운동으로 이동하고, 대다수의 이동세포는 라이소좀(lysosome), 식균작용이 된 물질, 조면, 활면 내형질세망, 작은지질 덩어리, 골지체를 함유하고, 이동은 선도세포가 반대편에서 서로 접촉할 때까지 계속된다(Martinez, 1972).

## 3) 상피의 재형성(Remodeling of the epithelium)

이동활동이 중지한 후 상처의 결합부위는 상피조직에 의해 덮혀지고, 상처부위의 가피(scab)는 상처표면에서 분리되는 과정을 거친다. 상처가 난 이후 24시간 동안에 상피조직의 분화 즉, 각질화(keratinization)정도는 점차 증가하고, 상처 중심에 있는 세포는 적게 분화되며, 최초 상처의 가장자리에 가까운 부위는 대부분 분화된다(Clark, 1985). 각질화 절차의 한 구성요소로서 부각화(parakeratotic) 각질층은 5내지 8개의 세포층으로 구성되고, 말초 치밀층(peripheral dense layer)의 형성으로 두껍게 된다(Martinez, 1987).

세포질은 촘촘한 외형을 나타내고 지질 함유물을 함유하며, 각화세포의 핵은 핵농축(pyknosis)과 변성(degeneration)의 여러 단계를 거치며 탈수현상이 일어나 편평해지게 되며, 이들 각화세포중에서 사상체의 양과 무정형의 구성물질 및 탈수의 정도는 점차적으로 증가되고 그로인해 세포 구성물의 구성밀도가 높아진다(Martinez, 1972). 상피조직의 재형성이 계속될 때 사상체와 교소체의 수는 점차로 증가하고 반면에 작은 지질 덩어리, 조면, 활면 내

형질세망, 그리고 골지체의 수는 감소한다. 세포는 48시간동안 증식과 분화가 계속되고 섬유아세포와 교원섬유는 섬유소와 혼합되어 나타나고, 각질 초자질 과립(keratohyalin granule)은 상처가 난 후 24에서 48시간 사이에 형성된다(Martinez, 1987).

## 2. 결합조직 수복(Connective tissue repair)

상처가 난 이후 48시간 안에 섬유아세포는 더욱 풍부해지며 교원섬유는 섬유아세포의 근처에서 섬유소와 혼합되어 나타난다. 섬유아세포는 증식이 계속되고 상처부위 안으로 이동하며 이때 섬유아세포는 섬유성 결합 단백질인 파이프록틴을 침착시키고(Grinnell 등, 1981), 교원질 섬유성장은 계속되며, 성장한 섬유아세포는 교원섬유의 다발 사이에서 나타난다(Ross 등, 1968).

섬유아세포의 합성활동은 대개는 림프세포에 의해 조절되고 특히 인터페론(interferon)에 의해 조절되며(Hernandez, 1988), 두드러진 혈관의 증식은 손상후 48시간에서 72시간 동안에 시작되고 몇일동안 계속되며, 상처표면에 미세한 붉은 과립상으로 튀어나온 부분인 육아조직(granulation tissue)은 상처치유에 중요한 역할을 담당한다. 이들 육아조직은 모세혈관이 풍부한 결합조직으로써 섬유아세포와 근섬유아세포로부터 생겨나고 탐식세포와 교원질을 함유한다(Shosham, 1981).

섬유아세포와 모세혈관의 증식은 육아조직에 의한 상처치유에 있어 매우 중요한 역할을 담당하고, 섬유아세포는 단지 증식만 하는 것이 아니라 활발하게 세포의 복합물질을 분비한다. 초기에는 히알루론산(hyaluronic acid)을 분비하고 이후에는 황산 프로테오글리칸(sulfated proteoglycan)을 분비한다.

프로테오글리칸은 매우 친수성이 높기 때문에 이 물질의 침착으로 상처의 수종성 외형을 나타내는 원인이 된다. 상처안에서 프로테오글리칸의 농축은 손상 후 4일에서 6일에 최대를

이루고 그 이후 점차적으로 쇠퇴해 지면서 12일에서 13일 동안에 정상치로 떨어지고, 프로테오글리칸의 합성, 분비와 동시에 파이프록틴이 생산되며, 파이프록틴은 조직안에서 섬유아세포 당단백을 침착시킨다. 섬유아세포에 의한 교원질 합성은 손상 이후 24시간 이내에 시작되지만 조직안에서의 교원질 침착은 손상 후 4일까지 식별할 수 없다(Hernandez 등, 1982).

손상 초기에는 Type III 교원질이 두드러진 세포 형태이지만 7일에서 8일동안에 Type I 교원질이 우위를 차지하고, 이들은 결국에는 성숙한 반흔 조직(scar tissue)을 만드는 주요한 교원질이 된다. 백혈구, 탐식세포, 상피성 세포와 섬유아세포는 모두 콜라게나제(collagenase)생산을 할 수 있고 이들 모두는 상처치유 동안에 교원질 분해에 참여한다. 상처부위의 장력은 교원질의 함유량이 최고에 도달한 이후 여러달동안 장력의 증가가 계속되고, 이는 교원질의 십자연접(cross-linking)의 증가와 관련성이 있고(Schilling, 1976), 새로이 분비된 프로테오글리칸과 Type III 교원질은 뚜렷하게 파이프록틴과 결합하고 상처부위의 장력을 제공한다. 최종적으로 대부분의 프로테오글리칸과 파이프록틴, 그리고 Type III 교원질은 제거되고 영구반흔 조직의 형태를 이루는 Type I 교원질로 바뀌어지며(Hernandez, 1988), 육아조직은 비활동성의 방추상 섬유아세포와 치밀한 교원섬유, 탄력조직 조각, 그리고 세포의 복합체와 극히 적은 수의 혈관으로 이루어진 반흔조직으로 된다(Knapp 등, 1977).

## III. 상처치유에 대한 전기자극의 이론적 근거

상처치유를 촉진하기 위한 다양한 형태의 전기적 전류는 매우 광범위하게 적용되어 왔고 동물과 인간을 대상으로 많은 연구가 이루어져 전기자극이 상처치유에 있어 상당한 치유효과를 가진다는 것이 점차적으로 증명되어 왔다.

그러나 아직까지는 상처치유에 대한 확실한 기전이 밝혀지지 않았으며 그에따라 여러 학설

이 난무하고 있는 상태이나 대체적으로 조직내부의 전기적 전압의 변화, 세포의 생합성(bio-synthesis)과 복제(replication)의 자극, 살균효과(bactericidal effect), 혈액순환의 증가, 결합조직과 염증성 세포의 견인력(attraction) 등의 학설이 인정받고 있다(Griffin 등, 1991).

Becker와 Murray(1967)는 조직의 치유를 조절하는 원인으로써 체내에 직류의 성질을 가진 전기적 체계가 존재한다고 제안하였으며 이들은 신체가 손상받았을 때 신체내부의 전기적 체계의 파괴에 의해 신체의 고유한 전기적 흐름이 방해되고 손상된 조직으로부터 전기적 흐름의 이동이 발생하여 상처치유의 절차를 시작한다고 주장하였으며 이를 손상전류(current of injury)라 불렀다.

그보다 이전에 Burr 등(1939)은 조직에 상처가 났을 때 조직내의 손상전압이 수시로 변하는 것을 측정하였고 최초 증상 발현시 조직내부의 손상전압은 양성을 띄고 손상 후 48시간 안에 최고조를 이루며 이러한 정점은 차차 감소하여 손상후 8일에서 9일 이후에 음극으로 변하는 것을 관찰하였다. 이후 Burr 등(1940)은 복부수술 환자의 절개상(incision wound)이 치유되는 동안 수술부위의 표면전기 활동전압을 측정하였는데 이때 전기적 안정상태의 변화를 발견하고 상처치유와 생전기적 현상이 서로 관련이 있을 것이라 기술하였다.

이러한 결과로 최초의 손상전압이 양성을 띄는 것은 상처치유를 시작하기 위한 조직 내부의 전기적 변화라 간주하였고 이들의 연구결과는 만성적인 개방창 환자의 피부에서는 이 양성전하의 손상전류를 발견치 못한 사실에 의해 더욱 지지되었다.

상처치유를 지연시키는 요인인 세균감염에 대한 연구에서 Rowly(1972)는 저진폭(low-amplitude)의 음극전류를 사용하여 대장균(*B. Escherichia coli* B)에 전기자극을 가하여 이들 대장균의 성장율을 조사하였을 때 대장균의 성장율이 38.8%가 감소된 것을 확인할 수 있었다. 이후 Rowly와 Mckenna(1974)는 일반적인

인체의 오염균으로 그람 음성균인 녹농균(*pseudomonas aeruginosa*)을 토끼의 피부에도포한 이후 저강도(low-intensity)의 음극직류로 정균성(bacteriostatic)효과를 증명하였다.

Wolcott 등(1969)은 200에서 800  $\mu$ A 범위의 전류강도를 사용하여 저강도 직류(low intensity direct current, LIDC)의 적용을 위한 실험 방법을 고안하여 다양한 크기의 상처표면에 이 실험방법을 적용하여 저강도 직류가 성공적으로 상처치유를 촉진함을 확인하였다.

이들의 실험방법을 이용한 최근의 연구에서 Carley 등(1985)은 무통성 궤양(indolent ulcer)을 치료하여 치료군의 상처 치유율은 대조군보다 1.5에서 2.5배정도 더 빠르게 치유되었고 조직 제거술(debridement)이 별로 필요치 않았다고 보고하였다.

더욱 최근의 연구에서 Kloth 등(1988)은 50  $\mu$ s의 인터펄스 간격으로 105 Hz의 주파수를 사용하여 100에서 175 V의 전류강도인 고압 맥동 단상전류(high voltage pulsed monophasic current)를 적용하여 Stage IV의 욕창환자들의 상처치유율에 관한 연구를 시행하여 치료군 환자의 궤양은 1주에 44%의 평균율로 치유되었고 7.3주의 평균 주기동안 100% 치유되었으나, 대조군 환자의 경우에는 상처부위가 1주에 11.6% 증가하였고 7.4주의 평균주기동안 상처의 크기가 28.9% 정도 증가하였다고 보고하였다. 이외에도 혈세포의 이동(Carley 등, 1955), 조직내 표피세포의 운동성(Harrington 등, 1974)에 관한 연구를 통하여 전기자극이 매우 효과적임이 판명되었고, 상기한 동물실험 및 인체실험을 통한 연구결과들을 종합해 볼 때 전기자극은 피부 상처의 치유를 촉진할 수 있음이 증명되었다.

#### IV. 상처치유에 대한 전기자극의 효과

최근까지 인간과 동물의 전기자극 실험은 Burr 등(1940)이 제안한 상처조직과 조직의 생전기적 현상과의 관계에 기초하여 전기자극

의 유효성에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으며 이들 연구를 통해 직류를 적용한 피부의 병변은 직류를 적용치 않은 피부병변보다 2배정도 빠른 치유율을 보여주었고(Gault 등, 1976), 음극과 양극하에서 다른 조직학적 반응을 나타내는 것으로 판명되었으며(Kloth 등, 1988), 상처부위의 장력 또한 대체적으로 증가하는 것으로 보고되었다(Wu 등, 1967).

상처부위의 장력에 관한 연구에서 Carley 등(1962)은 음극을 적용한 그룹에서 상처의 장력이 더 크다고 보고하였고, Wu 등(1967)은 전기의 극성은 장력에 그다지 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 이와는 대조적으로 Harrington 등(1974)은 표피의 운동성을 검사했을 때 음극에서 보다는 양극하에서 상피세포의 이동과 수가 증가했다고 보고했으며, Stromberg(1988)의 극성에 따른 상처의 치유율과 수축율에 관한 연구에서 음극만을 적용한 실험군 돼지보다 음극과 양극을 3일 주기로 교대로 적용한 실험군 돼지가 상처의 치유율과 수축율이 더 높았다고 보고하였다. 이 연구결과는 손상전압 변동에 따른 치료방법의 교대적용과 일치하는 것으로 음극만을 적용한 전기자극은 상처의 수축율을 저체시키고, 음극과 양극으로의 교대적용은 상처의 수축율 및 치유율에 매우 효과적이라 주장하였다.

이러한 연구결과에 의해 극성에 따른 상처치유율에 관한 의견이 분분하고 극성에 따른 명확한 상처치유 기전 또한 확실하지 않은 상태이다. 다만 대체적으로 음극은 살균효과 및 미생물 성장 억제 효과를 나타내고, 양극은 상처치유의 증식단계에서 세포의 성장을 촉진한다는 가설이 거의 정설화되고 있는 실정이다.

국소부위 저산소증과 계속적인 피부부식, 그에 따른 조직의 허혈과 국소부위 염증으로 야기되는 허혈성 피부궤양을 고압전류 자극으로 치료한 연구에서 Aker 등(1984)은 고압평류 자극이 상처치유에 효과적이었다고 보고하였으며, 200에서 1000  $\mu$ A 범위의 저항도 직류자극기를 사용한 다른 연구(Gault, 1976)에서 치료

군 궤양의 치유율은 주당 30%였고, 대조군 환자의 궤양은 17.7%의 치유율로써 상처부위의 무균은 궤양부위에 음극을 직접적으로 적용한 3일에서 7일 이내에 완수되었다고 연구자들은 보고하였다. 또한 이들 연구자들은 치료부위에 전류강도를 높였을 때 출혈현상이 나타나는 것을 확인하고 전류강도에 따라 혈액순환의 정도가 차이가 있을 것이라 보고하였다.

Stage IV 욕창환자의 궤양부위를 100 pps의 자극빈도와 200 V 전류강도의 고압맥동 전류를 적용한 연구와(Griffin 등, 1991), 105 pps의 자극빈도와 100에서 175 V의 고압맥동 전류로 치료한 연구에서(Kloth 등, 1988) 이들 두연구의 실험결과는 매우 유사하였다. 즉 실험군에서는 상처부위의 치유가 거의 정상적으로 회복된 반면 대조군의 상처부위는 오히려 크기가 증가하였다고 보고되었으며, 이후 Kloth 등(1991)은 Stage II, III, IV의 만성 피부궤양을 앓고있는 47명의 환자를 128 pps, 29.2 mA의 단극 장방형 전류로 하루에 두번 30분간 적용한 결과 치료 4주후 치료군에서의 상처 종결 비율은 56%가 감소한 반면 대조군에서는 33%정도 감소하였고, 주당 평균 치유율 또한 치료군이 더욱 높았다고 보고하였다.

부위에 따른 허혈성 피부 궤양에 관한 연구에서 Apple 등(1984)은 대전자 부위의 궤양보다 좌골부위의 궤양이 더 빠르게 치유된다고 보고하였지만 통계학적인 근거자료는 없다.

피판(skin flap)에 허혈성으로 야기된 조직손상에 대한 전기자극 치료 연구에서 Hoopes 등(1990)은 음극전류는 교감신경성 혈관 수축을 방해하며, 국소 허혈이후에 국소부위의 재관류(reperfusion)동안 나타나는 피판의 심한 허혈을 방지하고 양극전류의 자극으로 양성자(proton)의 흐름이 나타나 초산화물 음이온(superoxide anions)을 중화(neutralization)시킬 수 있고, 유리기 중개(free-radical mediated)로 나타나는 조직의 손상을 방지할 것이라는 가설을 세우고 실험을 하였다. 이들은 12마리의 요오크셔 돼지의 옆구리 피판에 128 Hz의 주파

수와 35 mA의 맥동전류로 9일동안 하루에 두 번 30분의 치료시간으로 실험군(n=7)과 대조군(n=5)돼지를 치료하였다. 실험은 첫 3일동안은 음극, 두번째 3일동안에는 양극을 적용하였고 그이후 7일에서 9일동안에는 음극을 적용하여 실험을 하였다.

이들의 연구결과 피판의 평균 피사부위는 대조군에서는 28.0 %였고 실험군에서는 13.2 %였으며 또한 치료 첫날에 음극자극을 두번 적용한 실험군에서 음극자극을 한번만 적용한 그룹보다 피판의 생존율이 높음을 확인하였다.

이들은 실험결과를 통하여 치료초기의 음극전류 적용으로 교감신경성 혈관수축을 방해하여 심한 허혈을 방지하고, 피판의 전이대(transition zone)안에서 일어나는 유리기의 작용을 억제하며 양극으로의 교대적용으로 초산화물 음이온의 중화 또는 부동변화(dismutation)에 의해 유리기 소기(free-radical scavenging)효과를 생기게 할 수 있다고 최종 결론지었다.

전기자극으로 세균의 살균효과를 증명하기 위한 연구에서 Kincaid 등(1989)은 120 pps와 55  $\mu$ sec 인터펄스 간격의 고압맥동 전류를 이용하여 인체의 개방창에서 분리된 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*), 대장균(*Escherichia coli*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*)의 3가지 종속세균에 4시간의 노출주기로 전기자극을 적용한 연구결과를 발표하였다. 이들은 보고서에서 음극에서 검사 미생물의 살균효과가 있었다고 하였으며, 음극배양기 안에서 4시간 동안 500 V의 전류자극으로 순간적으로 pH가 8.5에서 9정도로 증가하였지만 양극배양기 안에서는 실험이후나 실험을 하는 동안 아무런 pH의 변화가 없었다고 보고하였다. 그러나 Newton 등(1983)은 고압맥동 전류를 인체에 적용했을 때 피부에 아무런 pH의 변화를 발견하지 못했으며 이 결과로 미루어 전기자극으로 유발되는 상처치유는 전기화학적 효과에서 기인하지 않는다고 이들은 주장하였다.

1968년에 Bassett등이 정전기 자극이후 인체 섬유아세포의 DNA와 교원질 합성 능력을 연

구하고, Harrington 등(1974)이 전기자극후 표피세포의 운동성을 연구한 이후 전기자극을 적용한 상처부위의 조직학적 분석연구가 많이 시행되었다.

이들의 연구결과, 전기자극은 인체 손상부위의 조직학적인 변화에 많은 영향을 끼침이 발견되었고, Alvarez 등(1983)의 연구를 통해서도 같은 결과가 확인되었는데 이들은 50에서 30  $\mu$ A의 직류를 사용하여 11마리의 요오크셔 돼지의 피부에 인위적으로 생성된 상처를 자극하였다. 손상후 7일동안 전기자극을 가한 이후 표피를 분리하여 조직학적인 검사를 시행한 결과 손상후 전기자극을 적용한 1일에서 4일동안에는 현저한 차이점이 없었으나 손상이후 5일, 6일, 7일동안의 표피 조직에서는 교원질 합성력(collagen synthetic capacity)의 유의한 증가를 확인하였고 상피화(epithelialization) 또한 유의하게 촉진되는 것을 확인하였다.

Romansky 등(1984)은 25에서 30 g무게의 65마리의 성숙한 웅성 실험용 쥐를 사용하여 5개그룹은 각각 10마리씩, 한그룹은 15마리의 그룹으로 분류하고, 3개그룹은 Alloxan Monohydrate를 정맥내 주사하여 인위적으로 당뇨병에 이환시키고, 나머지 3개군은 정상적으로 분류하여 각그룹에는 일률적인 상처를 만들어 전기자극을 적용하여 상처부위의 장력변화율에 관한 연구를 시행하였다.

각그룹은 전기자극을 적용치 않는 그룹을 제외하고 Gilson ICT-5 전기치료기를 사용하여 2주간의 치료주기로 주당 5일간 전기자극을 시행하였으며, 당뇨병3그룹과 정상 3그룹에서 상처의 장력이 가장 높은것을 확인할 수 있었고, 조직학적인 검사결과 당뇨병 1그룹에서는 매우적은 모낭(hair follicle)과 피지선(sebaceous gland)을 확인하였지만, 전기자극을 적용한 당뇨병 2, 3그룹에서는 생육가능한 모근세포(hair cell)와 모낭이 대부분 정상으로 회복되었고 표피는 두껍게 되었으며, 진피는 상당한 피지선과 지방조직(adipose cell)을 함유하고 있음이 확인되었고, 이후 Bourguignon 등

(1987)의 고압맥동전류를 이용한 연구에서도 교원질과 DNA의 합성율이 증가하는 것을 확인하였으며, 최대의 합성비율은 음극에 근접한 세포에서 50에서 750 V의 강도와 100 pps의 자극에서 확인 할 수 있었다고 이들은 보고하였다.

100 pps의 평류자극을 이용한 Falanga 등 (1987)의 연구에서도 인간 진피안의 섬유아세포를 전기자극한 이후에 배양했을 때 성장인자 $\beta$ (growth factor- $\beta$ )감수체가 대조군 섬유아세포에서 보다 6배정도 더 많다는 것이 확인되었으며, Cruz 등(1989)은 화상으로 인해 생긴 돼지 피부의 상처에 4주동안의 치료주기로 65 pps와 175 V의 자극강도인 고압맥동 전류 자극을 매일 10분동안 기용하여 상처부위 치유율과 동시에 상처조직의 조직학적인 변화에 관한 연구를 시행하였다. 실험은 4주동안의 치료주기로 실험결과 실험군(n=10)돼지가 대조군(n=10)돼지보다 상처의 수축율이 매우 빠르고 섬유아세포의 반응율이 매우 높다는 것이 확인되었고, 이들은 섬유아세포 안에서 단백질과 DNA의 증가를 볼 수 있었고 실험군에서 상처부위의 수축율이 매우 높은 것은 전기자극으로 교원질 침착(deposition)과 밀집기전(lock-step mechanism)의 유지를 위한 십자연접(cross-linking)이 높아졌다는 것을 의미한다고 주장하였다.

## V. 결 론

여러문헌을 통한 지금까지의 연구결과 전기 자극은 상처치유에 매우 효과적임이 밝혀져 왔다. 그러나 아직까지는 극성에 따른 치유효과와 전류강도에 따른 치유효과, 그리고 자극 적용부위에 따른 치유효과등이 여러 연구자들의 연구결과에서 매우 상이하게 나타났고, 그에 따른 여러 이론이 많이 존재하고 있지만 일반적으로 정설화된 치유효과는 음극은 살균효과, 양극은 상처치유 효과가 있다는 것이 대체적으로 증명된 사실이다. 특히 손상전류설에 기초

하여 치료 초기에 음극을 적용하고 그이후 양극으로의 교대치료를 적용한 연구에서 대체적으로 긍정적인 연구결과가 나왔으며, 상처부위의 조직학적 분석 또한 조직세포의 성장이 두드러짐을 알 수 있었다.

앞으로의 연구과제는 각 전류의 강도에 따른 상처치유율과 극성에 따른 상처부위의 치유율, 그리고 다양한 전기자극 방법에 따른 서로 다른 전기자극의 효과에 대한 연구가 진행되어야 할 것이고 임상에서 보다 적절하게 환자에게 적용할 수 있는 방법적인 모색과 함께, 계속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 박래준, 박상옥 : 전기자극을 한 흰쥐의 골격근 미세구조에 대한 연구. 재활과학 연구, 제10권 제 1호, 1992.
2. Akers T, Gabrielson A : The effect of high voltage galvanic stimulation on the rate of healing of decubitus ulcers. Biomed Sci Instrum 1984;20 : 99-100.
3. Apple Df, Murray HH. Pressure sore ; Factor influencing care. 1984;22 : 51-52.
4. Bassett CAL, Hermann I. : The effect of electrostatic fields on macromolecular synthesis by fibroblast, in vitro. J Cell Biol 1968;39 : 9a.
5. Becker RO, Murray DG. : Method for producing cellular dedifferentiation by means of very small electric current. Ann NY Acad Sci 1967;29 : 606-615.
7. Bourguignon GJ, Bourguignon LY. : Electric stimulation of protein and DNA synthesis in human fibroblast. FASEB J. 1987;1 : 398.
8. Brent V, Stromberg. : Effects of electrical currents on wound contraction. Ann Plas Surg 1988;21 : 121-123.
9. Burr HS, Harvey SC. : Bio-electric corre-



- lates of wound healing. *Yale J Biol Med* 1939;11 : 103.
10. Burr HA, Traffel M, Harvey SC. : An electrometric study of the healing wound in man. *Yale J Biol Med* 1940;12 : 483.
  11. Carley IC, Lepley D. : Effect of continuous direct electric current on healing wound. *Surg Forum* 1955;13 : 33.
  12. Carley LC, Lepley D. : Effect of continuous direct electric current on wound healing. *Surg Forum* 1962;13 : 33-35.
  13. Carley P, Wainapel S. : Electrotherapy for acceleration of wound healing; Low intensity direct current. *Arch Phys Med Rehab* 1985;66 : 443.
  14. Carnstam B, Larsson L-E, prevec TS. : Improvement of gait following functional electrical stimulation. *Scand J Rehabil Med* 1976;9 : 7.
  15. Clack RAF, Lanigan JM, Dellepella P. : Fibronectin and fibrin provide a provisional matrix for epidermal cell migration during wound reepithelialization. *J Invest Dermatol.* 1982;70 : 264-269.  
Clark RAF. Cutaneous tissue repair. I. Basic biologic considerations. *J Am Acad Dermatol.* 1985;13 : 701-725.
  16. Cloft CB, Tarin D. : Ultrastructural studies of wound healing in mouse skin. I. Epithelial behavior. *J Anat.* 1970;106 : 63.
  17. Cynthia B Kincaid, Kathleen H Lavoie. : Inhibition of bacterial growth in vitro following stimulation with high voltage, monophasic, pulsed current. *Phys Ther* 1989;69 : 651-655.
  18. Diegelman RF, Cohen KI, Kaplan AM. : The role of macrophages in wound repair. *Plas Resonstr Surg.* 1981;68 : 107-113.
  19. Falanga V, Bourguignon GJ, Bourguignon LY. : Electrical stimulation increases the expression of fibroblast receptors for transforming growth-factor beta. *J Invest Dermatol* 1987;88 : 488.
  20. Gault W, Gatens P. : Use of low intensity direct current in management of ischemic skin ulcer. *Phys Ther* 1976;56 : 265-269.
  21. Ginsberg M. : Role of platelets in inflammation and rheumatic disease. *Adv Inflam Res.* 1981;2 : 53-71.
  22. Grinnell F, Billingham RE, Burgess L. : Distribution of fibronectin during wound healing in vivo. *J Invest Dermatol.* 1981; 76 : 181-189.
  23. Harrington DB, Meyer R, Klein RM. : Effect of small amount of electric current at the cellular level. *Ann NY Acad Sci* 1974;238 : 300.
  24. James Smith, Nicholas Romansky, John Vomero, Robert H davis. : The effect of electrical stimulation on wound healing in diabetic mice. *J Am Podiatry* 1984;74 : 71-75.
  25. Jeffrey A Feedar, Luther C Kloth, Gary D Gentzkow. : Chronic dermal ulcer healing enhanced with monophasic pulsed electrical stimulation. *Phys Ther* 1991;71 : 639-649.
  26. Judy W Griffin, Robert E Tooms, Ruth A Medius, Judy K Clift, Roger Vander Zwaag, Faten El-Zeky. : Efficacy of High Voltage Pulsed Current for Healing of Pressure Ulcer in Patient with Spinal Cord Cord Injury. *Phys Ther* 1991;71 : 433-442.
  27. Knapp TR, Daniel JR, Kaplan EN. : Pathologic scar formation. *Am J Pathol.* 1977;86 : 44-70.
  28. Kloth LC, Feedar JA. : Acceleration of wound healing with high voltage, mo-

- nophasic, pulsed current. *Phys Ther* 1988;88 : 503-508.
29. Lynn Snyder-Mackler. : Clinical electrophysiology. William & Wilkins. Maryland -USA 1989 pp231-244.
  30. Martinez IR. : Fine structural studies of migrating epithelial cells following incision wounds. In : Maibach HI, Rovee DT, eds. *Epidermal Wound Healing*. Chigago : Year Book Medical Publishers. 1972 : 323-342.
  31. Martinez-Hernandez A, Amenta PS. : The basement membrane in pathology. *Lab Invest* 1983;48 : 565-677.
  32. Martinez-Hernandez A. Repair, Regeneration, and Fibrosis. In : Emanuel Rubin, John L Faber. *Pathology*, Philadelphia J. B Lippincott. 1988 : 66-88.
  33. Michael J Im, WP Andrew Lee, John E Hoopes. : Effect of electrical stimulation on survival of skin flap in pig. *Phys Ther* 1990;70 : 37-40.
  34. Norma I Cruz, Fernando E Bayron, Albert J Suarez. : Accelerated healing of full-thickness burns by the use of high voltage galvanic stimulation in the pig. *Ann Plast Surg* 1989;23 : 49-55.
  35. Odland G, Ross R. : Human wound repair, Epidermal regeneration. *J Cell Biol.* 1968;39 : 135.
  36. Ordmann LJ, Gillmann T. : Studies in the healing of cutaneous wound. I. *Arch Surg.* 1966;93 : 857.
  37. Oscar M Alvarez, Patricia M Mertz, Richard V Smerback, William H Eaglstein. : The healing superficial skin wound is stimulated by external electrical current. *J Inves Dermatol* 1983;81 : 144-148.
  38. Repesh LA, Fitzgerald TJ, Furcht LT. : Fibronectin involvement in granulation tissue and wound healing in rabbits. *J Histochem Cytochem.* 1982;30 : 351-358.
  39. Ricardo. Martinez Jr. Wound healing : Ultrastructural Aspects. *Clinics in Dermatol.* 1987;5 : 37-56.
  40. Richardson RR, Mayer PR. : Prevalence and incidence of pressure sore in acute spinal cord injuries. *Paraplegia* 1981;19 : 235-247.
  41. Roberta A Newton, Terence C Karselis. : Skin pH following hogh voltage pulsed galvanic stimulation. *Phys Ther* 1983; 1593-1596.
  42. Ross R, Odland G. Humanwoundrepair . : Inflammatory cells, epithelial-mesenchymal interrelations and fibrogenesis. *J Cell Biol.* 1968;39 : 152.
  43. Rowley BA. Electrical current effect on E-coli growth rates. *Proc Soc Exp Biol Med* 1972;139 : 929.
  44. Rowley BA, Mckenna JM, Chase GR, et al. : The influence of electrical current on an infecting microorganism in wound. *Ann NY Acad Sci* 1974;238 : 543.
  45. Schilling JA. Wound Healing. *Surg Clin North Am.* 1976;56 : 859-874.
  46. Shosham S. Wound healing. *Int Rev Connect Tissue Res.* 1981;9 : 1-24.
  47. Stenn KS, Madri JA, Roll FJ. : Migrating epidermis produces AB2 collagen and requires continued collagen synthesis for movement. *Nature.* 1979;277 : 229-232.
  48. Tarin D, Claft CB. : Ultrastructural studies of wound healing in mouse skin. II. Dermoepidermal interrelationship. *J Anat* 1970;106 : 79.
  49. Wahl SM. : The role of mononuclear cells in the wound repair process, In : Dineen P, Hild-Smith G, eds. *The surgical woound*, Philadelphia : Lea & Febiger. 1981;63-74.

50. Wolcott LE, et al. Accelerated healing of skin ulcers by electrotherapy. Preliminary Clinical results. South Med 1969;62 : 795.
51. Wu KT, Go N, Dennis C. : Effects of

electrical currents and interfacial potentials on wound healing. J Surg Res 1967; 7 : 122-128.