



■ 오혜진, 김정우¹, 김문수², 박장성³

■ 서남대학교 대학원, ¹서남대학교 의과대학 해부학교실, ²서남대학교 의료공학과, ³서남대학교 물리치료학과

The Effect of Microcurrent Stimulation on Histological Structure of Wound in Rat

Hye-Jin Oh, PT, PhM; Jung-Woo Kim, PhD¹; Moon-Su Kim, PhD²; Jang-Sung Park, PT, PhD³

Department of Physical Therapy, Graduate School, Seonam University; ¹Department of Anatomy, College of Medicine, Seonam University; ²Department of Biomedical Engineering, Seonam University; ³Department of Physical Therapy, Seonam University

Purpose: The purpose of this study was to investigate the effect of the intensity of microcurrent stimulation (with currents of 50 μ A, 100 μ A and 300 μ A using a pulse frequency of 5 pps) on wound healing in rats.

Methods: Sixty male Korean rats were randomly divided into four groups of 15 rats that were subjected to four different treatment protocols (control group, no treatment; experimental groups, treated with currents of 50 μ A, 100 μ A or 300 μ A). An experimental 20 mm linear wound was made in each animal and all animals in the experimental groups received microcurrent stimulation once a day for 20 minutes until the day of sacrifice on day 1, day 3 and day 6. An optical microscope was used to determine any histological changes.

Results: The experimental results were as follows. 1. In an examination with the naked eye, all groups showed similar changes until the first day. However, from the third day, a little intercellular fluid soaked through wound region in the control group rats. In the experimental group animals, little intercellular fluid soaked through wound region, and swelling and redness did not appear, from the third day. 2. In an examination with histological evaluation, more significant changes were observed in all of the experimental group rats than the control group animals. Especially, a stimulation intensity of 50 μ A caused a more significant effect than the use of the other intensities by day 6 of wound healing. In addition, rapid recovery was observed.

Conclusion: It was determined that microcurrent stimulation had a positive effect on wound healing. A stimulation intensity of 50 μ A was more effective than the other intensities (100 μ A and 300 μ A) utilized for wound healing. Furthermore, low-intensity microcurrent stimulation was more effective for the purpose of wound healing.

Key Words: Microcurrent stimulation, Wound healing, Intensity

논문접수일: 2008년 1월 5일

수정접수일: 2008년 2월 11일

게재승인일: 2008년 2월 24일

교신저자: 박장성, sensory7@hanmail.net

1. 서론

최근에 미세전류자극기는 전형적인 전기자극 치료형태에 비해 이점이 있는 것으로 알려져 있고(Picker, 1989), 미세전류자극을 사용한 여러 연구들이 수행되고 있다. 전기자극 중 10^{-6} A(1 μ A)의 범위에서 조직에 감각수준하자극(sub-sensory level

stimulation)을 제공하는 형태를 미세전류자극(microcurrent stimulation)이라고 한다(McMakin, 2004). 이러한 미세전류자극은 경피신경전기자극(transcutaneous electrical nerve stimulation)과 같은 형태보다 전류의 강도가 훨씬 낮기 때문에 다른 형태의 전기자극과는 구분되고, 미세전류자극의 전류, 주파수 및 극성을 다양하게 사용하면 각 세포 그룹에서 보다 많은 효

과를 얻어낼 수 있다(Champman-Jones와 Hill, 2002).

El-Husseini 등(2007)은 슬관절 성형술(total knee arthroplasty; TKA) 환자에게 미세전류자극을 적용한 연구에서 대상자들이 좀 더 지속적인 진통작용을 보이고, 수술 상처도 더 빨리 치유됨을 보고하였다. 또한 Chan 등(2007)은 아킬레스건을 부분 절개한 쥐에게 미세전류자극을 적용하여 건(tendon)의 치유과정이 촉진되었다고 보고하였다.

한편, 많은 연구자들은 신체 외부에 전기자극을 적용하면 세포 사이와 조직에서 전위가 나타나고, 이렇게 나타나는 전위가 이들 조직의 생물학적, 생리학적 변화를 촉진한다는 연구결과를 보고하였다(Akai 등, 1988; Dunn 등, 1988; Lee 등, 1993). Becker와 Selden(1985)은 인체 내의 적절한 미세전류는 손상된 인체 세포에 세포막 전위차를 만들어 Ca^{2+} 이온을 세포막 내로 이동시키고 그 결과 유입된 Ca^{2+} 이온에 의한 화학적인 과정을 통하여 ATP와 단백질 생성이 증가됨으로써 세포의 복원과 치유가 촉진된다고 하였다. Lambert 등(2002)도 세포 내의 Ca^{2+} 이온의 항상성을 조절하는 것과 관련된 미세전류자극의 기전을 보고하였다. 또한, Cheng 등(1982)과 Owoeye 등(1987)은 미세전류자극을 적용하면 세포막 전위차를 형성할 수 있는 세포수준의 전기에너지가 외부로부터 세포에 공급되어 통증완화 및 창상치유의 효과가 나타난다고 보고하였다.

창상(wound)은 피부 파열이 포함된 신체적 상처이며(Kitchen, 2002), 많은 내적·외적 요인들이 창상치유 과정(wound healing process)에 영향을 미친다(Brounhton 등, 2006). 이러한 창상은 전반적으로 염증기(inflammation), 증식기(proliferation) 재형성기(remodelling)의 과정을 거쳐 치유된다(Kitchen, 2002). 현재 창상의 치유에는 생체공학적인 피부요법(bioengineered skin), 전기자극요법(electrostimulation), 레이저치료(lasers), 초음파치료(ultrasound) 등이 사용되고 있다(Brounhton 등, 2006). 최근에는 이러한 요법 중 다양한 형태의 전기자극이 광범위하게 적용되고 있고, 동물과 인간을 대상으로 많은 연구가 이루어져 전기자극이 창상치유에 있어 상당한 치유효과를 가진다는 것이 증명되고 있다(Griffin 등, 1991; Lundberg 등, 1992; Mendel 등, 1992; Taskan 등, 1997; Weiss 등, 1990). 이러한 전기자극에 의한 창상치유 기전은 조직내부의 전기적 전압의 변화, 세포의 생합성(biosynthesis)과 복제(replication)의 자극, 살균효과(bactericidal effect), 혈액순환의 증가, 결합조직과 염증성 세포의 견인력(attraction) 등으로 알려져 있다(Griffin 등, 1991).

대부분의 창상은 주된 치료를 받지 않고도 회복되지만, 일부 욕창 등과 같은 유형의 창상은 비교적 그 치유속도가 느리고 다른 치료에도 어려움이 있게 한다(Kitchen, 2002). 또한, 만성적으로 개방된 창상은 매우 심한 상태에 속하고 이 질환의 관리는 의료진들 간에도 중대한 문제가 되고 있다. Kitchen(2002)은 이

렇게 창상치유가 지연되면 환자, 가족, 의사에게 많은 의학적, 사회적, 경제적인 문제가 발생하게 된다고 밝히며 창상의 조기 치유의 중요성을 강조했다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 미세전류자극은 여러 분야의 질병을 치료하는데 사용되고 있고, 특히 선행연구들에서 인간과 실험동물을 대상으로 여러 형태의 창상에 미세전류자극을 적용하여 창상치유에 미치는 영향을 알아보았지만, 미세전류의 자극강도에 따른 창상치유 정도를 살펴본 연구는 드물다.

따라서 본 연구에서는 흰쥐의 등 쪽에 선상 절개창상을 유발하여 서로 다른 세 가지 강도의 미세전류를 적용한 후 치유과정을 육안적, 조직학적, 면역조직화학적 방법을 통해 관찰함으로써 창상치유에 효과적인 치료 강도를 규명하고자 한다.

II. 실험방법

1. 실험동물

본 연구는 생후 7주 된 체중 223.07±8.70 g의 Sprague-Dawley계 수컷 흰쥐(NTacSam: SD) 60마리를 사용하였다. 실험동물을 구입하여 4일 간의 적응기간을 거친 후 실험을 시작하였고, 한 군을 15마리로 하여 대조군 1군과 실험군 3군으로 나누었다(Table 1). 대조군은 창상유발 후 자극을 주지 않고 소독처치 후 그대로 보존 사육하는 군이고, 모든 실험군의 맥동빈도는 5 pps로 동일하게 하였으며, 각각 50 μ A, 100 μ A, 300 μ A의 자극강도로 각 군을 구분하였다.

조직 검사 및 관찰을 위한 샘플은 실험 개시일로부터 1일과 3일 및 6일이 경과한 후 각 군에서 5마리씩 무작위 추출을 통하여 분류하였다. 실험실의 온도는 25±2°C, 습도는 60±10%로 유지하였으며, 명암주기는 자연광으로 하였다. 실험기간 동안 bioclean cage에서 고행사료(신촌실험동물사료, 신촌사료주식회사, 서울)와 물은 자유롭게 공급하였다.

Table 1. Laboratory animal classification and general characteristic

Group	Weight(g)	Population(number)
Control	221.33±7.84	15
50 μ A	222.80±8.61	15
100 μ A	223.20±8.84	15
300 μ A	224.93±9.91	15
Total		60

2. 실험방법

1) 창상유발

실험동물을 먼저 전기면도기를 사용하여 삭모하였으며, N₂ 가스로 흡입 마취시킨 후 70% 에탄올로 등 부위를 소독하고, 수

술용 칼을 사용하여 척주와 평행하게 요부 측면에 20 mm 피부의 진피층까지 종축방향으로 선상 절개하여 창상을 유발하였다.

그 후 창상의 가운데 부분을 3호 봉합사와 3호 외과용 봉합침을 사용하여 단순 봉합하였다. 본 실험의 모든 창상모델은 위의 방법으로 동일하게 처치하였으며, 창상유발 후 24시간 동안 안정을 취하게 한 후 창상치유에 미세전류자극을 적용하였다.

창상의 길이는 동일한 실험자가 버니어 캘리퍼스(560-110, Mitutoyo Co., 일본)를 사용하여 측정하였다. 대조군은 19.92 ± 1.09 mm, 50 μ A군은 20.57 ± 0.74 mm, 100 μ A군은 20.66 ± 1.94 mm, 300 μ A군은 20.19 ± 1.16 mm로 비교적 균일하게 절개하였다.

2) 미세전류자극 적용

본 연구에서는 창상치유에 미세전류자극기(EMI®-580K, Cosmic Co., 한국)를 사용하였다. 교번극성(alternation polarity; ALT)으로 양극과 음극을 각각 5sec씩 교대하였고, 10×10 mm 전극을 창상부위를 중심으로 하여 종배치(longitudinal application)하여 미세전류자극을 적용하였다. 미세전류자극의 강도는 군마다 각각 50 μ A, 100 μ A, 300 μ A로 적용하였으며, 맥동빈도는 5 pps로 균일하게 하였다. 실험군의 모든 개체에는 1일 1회 20분씩 총 6일 동안 매일 미세전류자극을 적용하였고, 대조군 개체에는 실험기간 동안 자극을 주지 않고 소독처치 후 그대로 보존 사육하였다.

3) 조직채취 및 염색

실험 개시일로부터 1일과 3일 및 6일이 경과한 후 대조군과 실험군에서 실험동물을 무작위로 5마리씩 선별하여 창상부위 조직을 채취하고 조직학적 검사를 실시하였다. 조직은 20 mm의 선상 창상부위를 중심으로 하여 지름 25 mm의 크기로 피부 밑 결합 조직까지 채취하였다. 채취된 조직은 축화 및 변형을 방지하기 위해 4% NBP(neutral buffered paraformaldehyde) 용액에 고정하였다. 48시간 후 고정된 조직을 흐르는 물에 12시간 수세한 다음 일반적인 조직의 탈수, 투명 및 침투과정을 자동조직 처리장치(Tissue-Tek II, Sakura Co., 일본)를 사용하여 14시간 동안 처리하였으며, 파라핀 블록의 제작과 냉각은 조직포매장치(Tissue-Tek, Sakura Co., 일본)를 사용하였다. 제작된 파라핀 블록을 회전식 미세박절기(RM 2155, Leica Co., 독일)를 사용하여 창상 봉합부위를 중심으로 상하 5 mm 되는 부위를 수직방향으로 4~5 μ m 두께로 연속 횡단 절편하였다. 부유 온수조(PS-M, Sakura Co., 일본)와 신전기(PS-C2, Sakura Co., 일본) 과정을 거쳐 슬라이드에 부착시켰다. 자일렌으로 3회, 10분씩 탈 파라핀 과정을 진행하였고, 고농도에서 저농도로 알코올에 5분씩 흡수한 후 흐르는 물에 5분간 수세하

였다.

창상을 유발하고 미세전류자극을 적용한 후 6일이 경과한 조직에서 창상치유 과정 중 새롭게 나타나는 세포를 관찰하기 위해 조직절편을 5% toluidine blue(pH 0.5)로 30초간 염색하고 0.7N HCl로 10분간 처리한 후 탈수, 봉입하여 조직슬라이드를 제작하였다. 광학현미경(CX40, Olympus Co., 일본)을 사용하여 각 군의 창상조직의 회복정도를 관찰하였으며, 부착된 조직촬영기로 각 군 조직의 사진 작업을 수행하였다.

4) 면역조직화학법

흰쥐의 등 쪽에 창상을 유발하고 미세전류자극을 적용한 후 6일이 경과한 조직에서 혈관 생성을 알아보기 위해 면역조직화학법(immunohistochemical staining)을 실시하였다. 혈관층의 평활근에서 관찰되는 α -smooth muscle actin(α -SMA)을 발현시키는 항체(IMMH-2, Lot; 014K483, Sigma Co., 미국)를 파라핀 연속 절편 조직에 1차 항체로 처리하였고 면역조직화학염색은 기본적으로 avidin-biotin-complex(Vectastain) horseradish peroxidase를 사용한 Hsu 등(1981)의 방법을 응용하였다. 조직절편을 0.02 M phosphate buffere saline(PBS), pH 7.4로 10분씩 3회 세척하였다. 비특이적 반응을 최소화하기 위해 normal goat serum을 50분 동안 처리하였다. 그 후 α -SMA 항체를 절편조직위에 처리하고, 4℃의 습윤 상자에서 12시간 동안 반응시켰다. 다음에 조직을 PBS로 3회 10분씩 세척한 후, 내인성 peroxidase 활성을 억제하기 위하여 0.5% periodic acid를 5분간 처리하였다. 0.05% 3-3 diaminobenzidine(Sigma Co., 미국), 0.04% NiCl, 0.003% H₂O₂ PBS 완충액에 10분간 반응시켜 α -SMA 항체에 대하여 양성반응을 보인 소혈관을 발색시켰다. 탈수, 투명화를 거친 후 synthetic mountant로 봉입하였다.

III. 결과

1. 육안적 관찰에 의한 소견

실험동물의 피부 진피층까지 선상 절개창상을 유발하자 혈관이 파괴되어 즉시 출혈이 나타났고, 혈액에 의해 손상된 피부공간이 채워지고 창상이 유합되기 시작했다. 창상의 양쪽 끝부분과 봉합을 한 가운데 부분부터 유합이 이루어졌고 가피(scab)가 형성되었다.

대조군은 선상 절개한 이후 3일까지는 조직액이 스며 나갔고, 창상부위가 붉고 부종이 관찰되는 것으로 보아 염증성 소견이 있었다. 실험 4일부터는 이러한 소견이 차츰 줄어들고 가피가 형성되는 것을 관찰하였다. 창상유발 후 1일까지는 11%, 3일까지는 20%, 6일까지는 31% 가량 창상이 치유되었다.

자극강도를 50 μ A로 적용한 군은 1일 적용하였을 때에 대

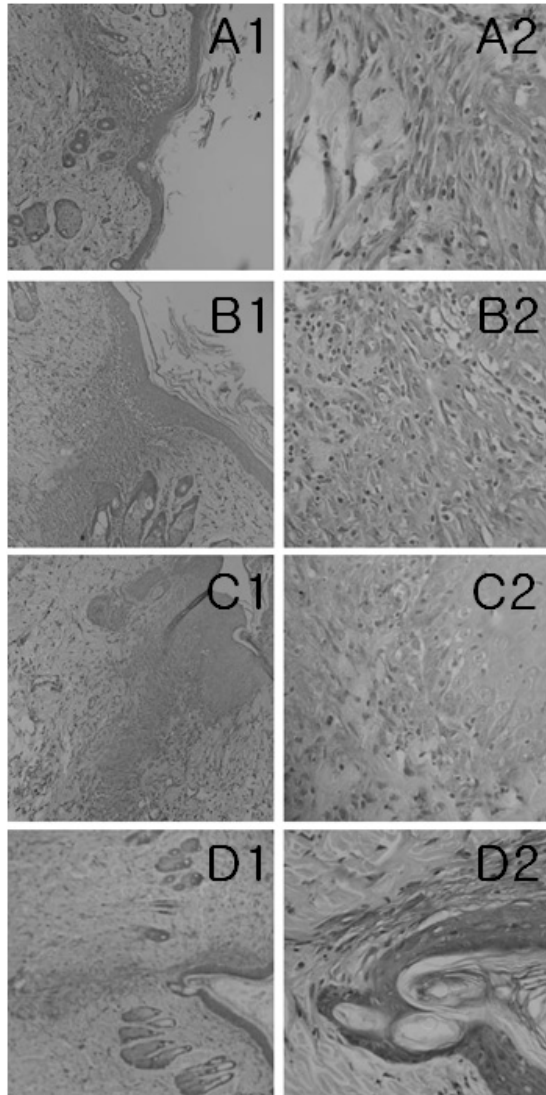


Figure 1. Histological changes of each group received microcurrent stimulation for 6 days (Toluidine Blue staining)

A1; Control group(×100) A2; Control group(×400)
 B1; 50 μ A group (×100) B2; 50 μ A group (×400)
 C1; 100 μ A group (×100) C2; 100 μ A group (×400)
 D1; 300 μ A group (×100) D2; 300 μ A group (×400)

조근과 큰 차이를 발견하지 못했다. 3일 적용하였을 때까지는 조직액이 약간 스며 나왔으나 발적, 부종 등의 염증성 소견은 관찰되지 않았다. 이 군은 실험을 진행하면서 대조군과 다른 실험군에 비해서 창상 양면의 유합 정도가 빠른 것을 관찰할 수 있었다. 가피의 형성이나 탈락 과정 또한 다른 군에 비해 빨랐다. 이 군에서는 창상유발 후 1일까지는 14%, 3일까지는 31%, 6일까지는 47% 가량 창상이 치유되는 것을 관찰하였다. 자극강도를 100 μ A로 적용한 군은 1일째에 대조군과 큰 차이가 없었다. 3일까지 약간의 조직액이 스며 나왔고, 염증성 소견은 관찰되지 않았다. 6일째 미세전류자극을 적용하였을 때에는 50 μ A로 적용한 군과 비슷하게 가피가 형성되고 탈락되는 것을

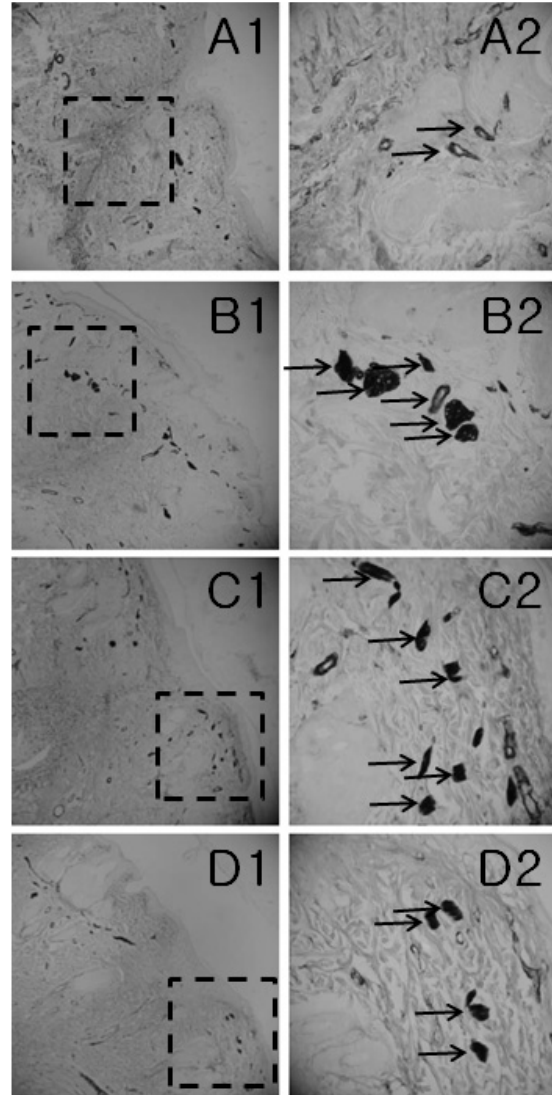


Figure 2. Immunohistochemical staining results of each group received microcurrent stimulation for 6 days

A1; Control group(×100) A2; Control group(×400)
 B1; 50 μ A group (×100) B2; 50 μ A group (×400)
 C1; 100 μ A group (×100) C2; 100 μ A group (×400)
 D1; 300 μ A group (×100) D2; 300 μ A group (×400)

관찰하였다. 창상을 유발하고 1일이 경과하였을 때 14%, 3일까지는 29%, 6일까지는 39% 가량 창상이 치유되었다.

자극강도를 300 μ A로 적용한 군은 실험 1일째에는 대조군과 큰 차이가 없었다. 3일까지 조직액이 스며 나오긴 했지만, 역시 염증성 소견은 관찰되지 않았고, 가피 형성과 탈락 정도는 다른 실험군보다는 대조군과 비슷했다. 창상유발 후 1일까지는 12%, 3일까지는 25%, 6일까지는 33% 가량 창상이 치유되었다.

2. 조직학적 소견

Figure 1은 창상유발 후 미세전류자극을 6일 동안 적용한 조직에 toluidine blue 염색을 하고 관찰한 조직학적 사진이다. 창

상이 유합되고 있는 주위 조직에서 실험군의 섬유모세포의 활성화와 비만세포의 출현이 대조군에 비하여 뚜렷하게 증가됨을 확인 할 수 있었다. 대조군과 실험군 모두에서 창상이 치유됨을 확인 하였고, 진피조직에서는 대조군과 300 μ A군에 비하여 50 μ A군과 100 μ A군에서 섬유모세포의 활성화가 증가한 것을 관찰하였다. 또한 창상유합이 완전히 이루어진 표피조직에서도 대조군과 300 μ A군에 비하여 50 μ A군과 100 μ A군에서 섬유모세포의 활성화가 뚜렷하게 증가하였고, 이와 더불어 표피조직의 두께도 대조군에 비하여 1.5-2배 정도 증가함을 확인하였다

3. 면역조직화학법 결과

창상유발 후 미세전류자극을 6일 동안 적용한 조직에서 혈관형성 정도를 알아보고자 면역조직화학법을 실시하고 관찰한 사진을 Figure 2에 나타냈다. 창상조직 주변의 소혈관 즉, 소동맥과 소정맥 생성 정도를 평활근의 α -SMA에서 발현되는 항체를 이용하여 확인하였다. 면역조직화학법에서도 미세전류자극의 적용강도에 따라 뚜렷한 차이가 나타났다. 50 μ A군과 100 μ A군에서는 소혈관 생성정도가 대조군에 비하여 뚜렷이 증가함을 관찰할 수 있었지만 300 μ A군에서는 오히려 대조군과 비슷한 양상을 보였다.

IV. 고찰

창상이 있는 피부는 전류를 생성하고, 이로 인해 나타나는 내인성 전기장은 창상의 수복 과정에서 중요한 조절인자로서 영향을 미친다(Ojingwa와 Isseroff, 2003). 전기자극은 또한 혈관 밀도를 증가시키고, 관류를 증가시킴으로서 창상치유 속도를 빠르게 하고, 창상에 산소 공급량을 증가시키며, 육아조직(granulation)과 섬유모세포(fibroblast)의 활성을 증가시키는 것으로 보고되었다(Kloth, 2002). 따라서 본 연구에서는 여러 형태의 전기자극 중 미세전류를 사용하여 실험적으로 유발한 절개창상의 치유에 가장 효과적인 자극강도를 규명해 보고자 하였다.

창상치유 과정은 특정한 세 단계-염증기(inflammatory phase), 증식기(proliferative phase) 재형성기(remodelling phase)로 나눈다(Brounhton 등, 2006; Schilling, 1976; Serhan과 Chiang, 2004). 창상치유 과정의 세부단계는 겹쳐지지만 각 단계를 명확하게 나눌 수 있고, 중별, 개체별 치유 양상은 비슷할 것이라 예상하였다. 본 연구에서는 창상치유 과정을 전통적인 세 단계로 간주하고 연구를 진행하였으며 다양한 외적 변수에 대해 인간과 비슷한 생리적인 반응을 나타내지만(Gill 등, 1989), 생활사(life cycle)는 인간보다 훨씬 짧은 흰쥐를 대상으로 창상치유의 전반적인 과정을 살펴보았다.

Stromberg(1988)는 극성에 따른 상처의 치유율과 수축율에

관한 연구에서 음극만을 적용한 실험군의 돼지보다 음극과 양극을 3일주기로 교대로 적용한 또 다른 실험군의 돼지에서 상처의 치유율과 수축율이 더 높았다고 보고하며 음극만을 적용한 전기자극은 상처의 수축율을 지체시키고 음극과 양극을 교대로 적용한 전기자극은 상처의 수축율 및 치유율에 매우 효과적이라고 주장하였다. 본 연구에서는 이러한 선행연구를 바탕으로 창상치유에 교번극성으로 미세전류자극을 적용하였다. Demir 등(2004)은 토끼에게 피부 진피층까지 창상을 유발하고 300 μ A의 지속적인 미세전류자극을 하루에 30분 적용한 군과 904 mm 파장으로 6 mV의 레이저를 하루에 10분 적용한 군을 비교한 연구에서 두 가지 치료가 염증이, 증식기 및 재형성기에 모두 효과적이라고 하였으나 염증이에서는 레이저보다 미세전류자극이 좀 더 효과적이라고 보고하였다. 이러한 연구결과는 실험적으로 유발한 창상에 미세전류자극을 적용하여 창상치유가 촉진된 본 연구의 결과와 유사하다. Bayat 등(2006)은 토끼에게 피부 진피층까지 절개창상을 유발하고 200 μ A의 미세전류자극을 매일 2시간씩 총 15일 동안 적용한 연구에서 창상치유 과정이 가속화된다는 연구결과를 발표하였는데, 본 연구에서는 선행연구보다 짧은 기간인 6일 동안 비슷한 자극강도를 적용하여 창상이 치유되는 것을 육안적, 조직학적으로 확인하였다. 한편, Brown 등(1995)은 기니 돼지에 실험적으로 2.5 cm의 창상을 유발하고 25~80 V의 고전압 전기자극을 하루 45분씩 2주, 4주간 적용하여 창상의 상피화(epithelialization)가 촉진되었다는 연구결과를 보고하였으나, 본 연구에서는 미세전류자극을 적용하여 선행연구와 유사한 치유효과를 보였다.

창상치유 과정에 사용되는 다양한 치료방법 중 미세전류자극은 창상치유 시간을 감소시키는데 효과적인 치료법이라고 알려져 있다(Frick과 McCauley, 2005). 높은 강도의 전기자극에 비해 미세전류자극은 세포 생리학적 과정을 향상시키는데 더 효과적이라는 보고가 있으며(Picker, 1989), 이러한 보고를 바탕으로 여러 연구가 진행되고 있다.

미세전류자극을 창상치유에 적용한 선행연구를 바탕으로 본 연구에서는 흰쥐의 등 쪽에 선형 절개창상을 유발하였고, 동일한 5 pps의 맥동빈도 하에서 미세전류 강도를 각각 50 μ A, 100 μ A, 300 μ A로 다르게 적용하여 강도의 변화와 적용기간에 따른 창상의 치유정도를 알아보았다. 실험군과 대조군에서 모두 창상이 치유되었고, 실험군 중에서는 가장 낮은 강도를 적용한 50 μ A군이 같은 기간 동안 가장 많이 창상치유를 촉진시켰다.

McMakin 등(2005)에 의하면 본 연구의 육안적 관찰 결과에서 미세전류자극을 적용한 실험군에서 대조군에 비해 발적, 부종 등의 염증성 소견이 관찰되지 않은 것은 미세전류자극을 적용하였을 때 통증완화와 함께 나타난 염증성 시토카인(inflammatory cytokine)의 감소, β -엔돌핀의 증가로 인한 항-염증 효과로 설명할 수 있다. 인간의 창상치유 과정에서 염증기

가 7일 정도 되는 것을 고려하였을 때 미세전류자극을 창상치유 목적으로 적용하는 것은 시간적인 면이나 비용적인 면에서 효과적이라고 생각된다.

본 연구에서는 창상이 치유되는 과정에서 새롭게 나타나는 세포를 관찰하기 위해 toluidine blue 염색을 실시하였는데, toluidine blue 염색 시 비만세포(mast cell)가 세포질 내에서 과립으로 이염색성을 나타낸다는 Artuc 등(1999)의 보고에 따라 본 연구의 toluidine blue 염색 조직의 표피층과 진피층에서 관찰된 새로 생성된 세포들은 비만세포로 판단하였다. 하지만, 그러한 세포들이 비만세포라는 것을 확실시키기 위해서는 관련 면역조직학적 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 또한 통제된 환경에서 연구를 수행한 Lee 등(1993)은 미세전류자극이 연부조직 치유를 향상시키고 섬유모세포 증식(fibroblast proliferation)과 건세포 증식(tenocyte proliferation)을 향상시킨다고 보고하였는데, 좀 더 세부적인 조직면역학적 연구를 수행하여 창상치유 과정에서 증식된 섬유모세포가 수행하는 역할을 규명해 보아야 할 것이다.

이상의 결과로 보아 낮은 강도의 미세전류자극이 창상의 치유과정에 더 효과적일 것이라고 판단된다. 본 연구의 결과가 창상치유에 효과적인 미세전류자극의 적용강도를 규명하는 데에는 기여하였다고 여겨지나, 창상치유의 세부과정에 대해서는 알아보지 못했다. 향후 분자생물학적, 세부적인 면역조직화학적 방법 등을 실시하여 창상치유 과정에 대해 좀 더 상세히 분석해 보아야 할 것이다. 또한, 창상치유에 효과적인 미세전류자극 주파수에 관한 연구도 수행되어야 할 필요성이 있다고 본다.

V. 결론

본 연구에서는 흰쥐의 등 쪽에 척주와 평행하게 요부 측면에 20 mm 피부 진피층까지 종축방향으로 선상 절개하여 창상을 유발하고 5 pps의 동일한 맥동빈도에서 미세전류의 자극강도 50 μ A, 100 μ A, 300 μ A가 창상치유에 미치는 영향을 미세전류 자극 적용기간 1일, 3일, 6일에 따라 알아보았다.

육안의 관찰에서 미세전류자극 적용 후 1일째까지는 모든 군이 비슷한 소견을 보였고, 3일째부터는 대조군과는 다르게 모든 실험군에서 조직액이 약간씩만 스며 나왔으며, 발적, 부종 등의 염증성 소견은 보이지 않았다. 조직학적, 면역조직화학적 소견에서도 대조군보다는 모든 실험군에서 창상치유와 관련된 변화가 뚜렷하게 관찰되었고, 특히 50 μ A 자극강도에서 6일째에 확연한 차이가 나타났으며, 조직의 빠른 수복이 관찰되었다. 이러한 육안적 변화, 조직학적 변화, 면역조직화학적 결과 관찰을 통하여 미세전류자극이 창상치유 과정을 촉진시키고, 창상치유 과정에서 100 μ A, 300 μ A의 자극강도보다는 50 μ A의 자극강도가 더 효과적이라는 것을 확인하였다. 따라서 창상치합

과정을 촉진하기 위해 미세전류자극을 적용 할 때에는 낮은 강도의 자극을 적용하는 것이 더 효과적이라고 본다.

참고문헌

- Akai M, Oda H, Shirasaki Y et al. Electrical stimulation of ligament healing. An experimental study of the patellar ligament of rabbits. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;235: 296-301.
- Artuc M, Hermes B, Stckelings UM et al. Mast cells and their mediators in cutaneous wound healing--active participants or innocent bystanders? *Exp Dermatol.* 1999;8(1):1-16
- Bayat M, Asgari-Moghadam Z, Maroufi M et al. Experimental wound healing using microamperage electrical stimulation in rabbits. *J Rehabil Res Dev.* 2006;43(2):219-26.
- Becker RO, Selden G. *The body electric: Electromagnetism and the foundation of life.* Morrww Co, 1985:52.
- Brounhton G 2nd, Janis JE, Attinger CE. Wound healing: An overview. *Plast Reconstr Surg.* 2006;117(7):1-32.
- Brown M, Gogia PP, Sinacore DR et al. High-voltage galvanic stimulation on wound healing in guinea pigs: longer-term effects. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995; 76(12):1134-7.
- Chan HK, Fung DT, Ng GY. Effects of low-voltage microamperage stimulation on tendon healling in rats. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(7):399-403.
- Chapman-Jones D, Hill D. Novel microcurrent treatment is more effective than conventional therapy for chronic achilles tendinopathy. *Physiotherapy.* 2002;88(8): 471-80.
- Cheng N, Van Hoof H, Bockx E et al. The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis, and membrane transport of rat skin. *Clin Orthop Relat Res.* 1982;171:264-72.
- Demir H, Balay H, Kirnap M. A comparative study of the effects of electrical stimulation and laser treatment on experimental wound healing in rats. *J Rehabil Res Dev.* 2004;41(2):147-54.
- Dunn MG, Doillon CJ, Berg RA et al. Wound healing using a collagen matrix: effect of DC electrical stimulation. *J Biomed Mater Res.* 1988;22(2):191-206.
- EI-Husseini T, EI-Kawy S, Shalaby H et al. Microcurrent skin patches for postoperative pain control in total knee

- arthroplasty: a pilot study. *Int Orthop.* 2007;31(2):229-33.
- Frick A, McCauley D. Microcurrent electrical therapy. *J Equine Veterinary Science*, 2005;25(10):418-22.
- Griffin JW, Tooms RE, Mendius RA et al. Efficacy of high voltage pulsed current for healing of pressure ulcers in patients with spinal cord injury. *Phys Ther*, 1991;71(6):433-42.
- Gill TJ 3rd, Smith GJ, Wissler RW et al. The rat as an experimental animal. *Science*, 1989;245(4915):269-76.
- Hsu SM, Raine L, Fanger H. Use of avidin-biotin-peroxidase complex (ABC) in immunoperoxidase techniques: a comparison between ABC and unlabeled antibody (PAP) procedures. *J Histochem Cytochem.* 1981;29(4):577-80.
- Kitchen S. *Electrotherapy: Evidence-based practice*. 11th ed. Churchill livingstone Co, 2002:45-6.
- Kloth LC. How to use electrical stimulation for wound healing. *Nursing*. 2002;32(12):17.
- Lambert MI, Marcus P, Burgess T et al. Electro-membrane microcurrent therapy reduces signs and symptoms of muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(4):602-7.
- Lee RC, Canaday DJ, Doong H. A review of the biophysical basis for the clinical application of electric fields in soft-tissue repair. *J Burn Care Rehabil.* 1993;14(3):319-35.
- Lundeberg TC, Eriksson SV, Malm M. Electrical nerve stimulation improves healing of diabetic ulcers. *Ann Plast Surg.* 1992;29(4):328-31.
- McMakin CR. Microcurrent therapy: a novel treatment method for chronic low back myofascial pain. *J Bodywork and Movement Therapies.* 2004;8(2):143-53.
- McMakin CR, Gregory WM, Phillips TM. Cytokine changes with microcurrent treatment of fibromyalgia associated with cervical spine trauma. *J Bodywork and Movement Therapies.* 2005;9(3):169-76.
- Mendel FC, Wylegala JA, Fish DR. Influence of high voltage pulsed current on edema formation following impact injury in rats. *Phys Ther.* 1992;72(9):668-73.
- Ojingwa JC, Isseroff RR. Electrical stimulation of wound healing. *J Invest Dermatol.* 2003;121(1):1-12.
- Owoeye I, Spielholz NI, Fetto J et al. Low-intensity pulsed galvanic current and the healing of tenotomized rat achilles tendons: preliminary report using load-to-breaking measurements. *Arch Phys Med Rehabil.* 1987;68(7):415-8.
- Picker RI. Low-volt pulsed microamp stimulation: part I. *Clin Man.* 1989;9:28-33.
- Schilling J. Wound healing, *Surg Clin North Am.* 1976;56(4):859-74.
- Serhan CN, Chiang N. Novel endogenous small molecules as the checkpoint controllers in inflammation and resolution: entrée for resoleomics. *Rheum Dis Clin North Am.* 2004;30(1):69-95.
- Stromberg BV. Effects of electrical currents on wound contraction. *Ann Plast Surg.* 1988;21(2):121-3.
- Taşkan I, Ozyazgan I, Tercan M et al. A comparative study of the effect of ultrasound and electrostimulation on wound healing in rats. *Plast Reconstr Surg.* 1997;100(4):966-72.
- Weiss DS, Kirsner R, Eaglstein WH. Electrical stimulation and wound healing. *Arch Dermatol.* 1990;126(2):222-5.