

비침습식 미세전류자극이 실험적으로 유발된 흰쥐의 골관절염 회복에 미치는 영향

방현수 · 강종호 · 천송희 · 김민희 · 박수진¹ · 김진상² · 박래준²

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료전공
¹대구대학교 재활과학대학원 재활과학과 물리치료전공
²대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

The Effect of Microcurrent Electrical Stimulation on the Articular Cartilage Recovery in Osteoarthritis

Hyun-soo Bang, P.T., Jong-ho Kang, P.T., M.S., Song-hee Cheon, P.T., M.S.,
Min-hee Kim, P.T., M.S., Soo-jin Park, P.T.¹, Jin-sang Kim, D.V.M., Ph.D.²,
Rae-Joon Park, P.T., Ph.D.²

Major in Physical Therapy, Dept. of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University

¹Major in Physical Therapy, Graduate School of Rehabilitation Science, Daegu University

²Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University

<Abstract>

Purpose : The purpose of the study was to investigate the effect of cold application on knee joint in rats induced by osteoarthritis.

Methods : Osteoarthritis was induced in female Sprague-Dowley rats by injecting into articular cavity of knee joint with 4% Kaolin, 2% carrageenan. Rats were divided randomly into the control and MES applied group. The Experimental group was applied MES in rat knee joint for 30 minutes.

Results : Recovery of articular cartilage surface and thickness of articular cartilage increased after MES application. And chondrocytes were distributed widely throughout the cartilage matrix.

The physical effects of Microcurrent Electrical Stimulation.

Decrease in blood flow.

Delay of neurotransmitter velocity

Decrease in metabolism activity and inhibit the progress of the infection.

Decrease in pain and muscle rigidity, inhibition of circulation

Conclusion : This study shows that MES application affects articular cartilage recovery in osteoarthritis.

Key Words : Articular cartilage, Microcurrent electrical stimulation, Osteoarthritis

I. 서 론

슬관절은 운동성과 안정성을 제공하기 위해 설계된 관절이다. 상지의 관절과 달리 슬관절은 체중 지지를 해야 하며 운동성도 동시에 제공하여야 하기 때문에 인체의 많은 관절들 중 손상이나 질병 등을 쉽게 받을 수 있는 관절이다(김선엽, 2005).

관절연골은 가동관절에서 뼈 끝의 관절면을 이루어 관절을 보호한다. 그 구성은 세포외기질(extracellular matrix)내에 연골세포(chondrocyte)가 묻혀 있는 형태로 되어 있다. 특히 관절연골의 기질은 일생동안 관절에 주어지는 엄청난 양의 부하를 견딜 수 있도록 하는 구성요소로서 이러한 기질을 합성하고 유지시키는데 중요한 역할을 하는 것이 연골세포이다(강종호, 2004).

관절연골은 관절에 가해지는 충격을 흡수하고 마모와 마찰을 최소로 하여 관절 운동이 원활하게 일어나도록 해준다. 하지만 역학적 부하가 정상보다 많이 증가되면 통증을 유발하게 되고 지나치게 감소하게 되면 관절의 약화를 가져오게 된다(Vanwanselle 등, 2002). 골관절염의 증상은 관절주위 통증, 강직 그리고 운동 장애로, 이는 서서히 나타나고 손상된 관절을 과다 사용한 결과로 유발되며 휴식에 의해 통증이 호전되는 경향이 있다. 가장 흔하게 침범되는 관절은 체중부하가 많은 슬관절과 고관절이며 관절 경직(joint stiffness)은 초기부터 나타나고 후기에 강직(ankylosing)이 나타날 수 있다. 이런 골관절염은 관절연골의 구조적 형태를 유지하고(Archer 등, 2003) 세포외 기질의 평형 상태를 유지하고 있는 연골세포의 세포사를 초래한다고 하였다(Mistry 등, 2004).

골관절염의 치료에는 약물치료, 물리치료 그리고 수술 등의 방법이 선택되어지거나 병행된다. 통증 조절에 대한 가장 보편적인 방법으로는 비스테로이드성 소염제(nonsteroidal anti-inflammatory drug;

NSAID) 및 항류마티스 약제를 사용한 약물 치료가 있다. 또한 임상적으로 널리 사용되고 있는 경피신경 전기자극(Trans cutaneous electrical nerve stimulation; TENS)은 비침습적이고, 사용이 간편하며, 진통효과가 지속적이어서 약물 등의 사용으로 인한 부작용을 감소시킬 수 있는 장점이 있다(질환별 물리치료, 2001). 그리고 초음파의 치료는 점액낭염, 피막염, 상과염, 건염 등의 치료 후에 관절 가동시 나타날 수 있는 통증에 효과를 나타낸다(Webster 등, 1981).

골의 치유를 위한 미세전류 자극 치료에 관한 연구는 Yasuda(1953)에 의해 골의 전기역학적인 특성과 생전기적 전위(bioelectrical potential)가 발견된 이후 많은 동물 실험을 통해 삽입식 전극을 이용한 미세전류자극이 골형성을 촉진시킴을 보고하였다(Baranowski 등, 1983; Esterhai 등, 1985; Nixon, 1985; Takei & Akai, 1993).

마이크로암페어 단위의 미세전류는 저강도 직류 자극이라고도 하는데, 이 전류의 강도는 대식구와 섬유모세포 등과 같은 살아있는 조직에서 발견되는 강도와 동일하다. 그리고 세포막에서 관찰되는 극성 역시 함께 나타나고 세포의 생리와 성장을 자극하는 능력으로 인해 “생물학적 자극” 또는 “생체공학 적 요법”이라고 불리기도 한다.

최근 전기 자극 치료는 전체 전류량은 줄이고 전압은 높여서 치료효과를 극대화 시키는 전기 자극이 점점 대중적인 치료 방법(method)으로 인식되고 있다. 이러한 형태의 자극을 미세전류 전기 자극(microcurrent electrical stimulation; MES)이라 하고 미세전류는 1Hz 또는 그 이하의 매우 낮은 주파수와 1~1000 μ A 범위의 매우 낮은 강도로 자극하는 것으로 정의된다(박래준, 1997; Bayat 등, 2006).

미세전류의 효과를 연구한 많은 연구자들은 동통 완화와 조직 재생 및 상처 및 골절치유 촉진, 세균 성장 억제, 관절가동범위 증가 및 교감신경 완화에 의한 혈류량 개선 등을 보고하고 있다(Demir 등,

2004; Merriman 등, 2004; Spadaro 등, 1974; Webster 등, 1981). 그리고 최근에는 무릎 관절성형술 후 통증 관리(Ei-Husseini 등, 2006), 암 환자에서 방사선 치료 중 발생한 섬유증의 관리(Lennox 등, 2002), 요통치료(McMakin CR, 2004), 만성 아킬레스건 통증을 치료(Chapman & Hill, 2002) 등과 함께 실험적 통증을 유발 모델에서 조기발현 유전자에 대한 MES의 효과(김계업 등, 2004)와 같은 여러 분야에서의 적용을 통한 MES의 효과에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이에 본 논문에서는 골관절염을 유발한 흰쥐에서 미세전류의 적용이 관절 연골바탕질과 연골막의 회복 및 연골모세포의 분포에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 동물

본 연구에 이용된 실험동물은 생후 8~10주, 체중 250~300g의 건강한 Sprague-Dowley계 흰쥐를 사용하였다. 실험실의 온도는 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$, 습도는 $50\pm 2\%$ 로 유지하였고, 실험기간 중 물과 먹이는 제한 없이 공급하였고, 1일 광주기와 암주기는 각각 12시간으로 조절하였다.

본 연구에 사용된 흰쥐는 13마리로 1마리는 정상적 관절연골의 비교를 위해 사용하였고, 3일, 7일, 14일에 각각 2마리씩 미세전류 적용군과 대조군으로 나누어 총 12마리의 흰쥐에 골관절염을 유발시켰다.

2. 실험 방법

1) 관절염 유발

실험적 관절염을 유발시키기 위해 염산케타민(Ketamin HCL, 유한양행)과 럼퐁(Rumpun, 바이엘코리아)을 1:1비율로 섞어 제조한 전신마취제(2ml/kg)를 흰쥐의 복강 주사하여 마취하였다. 흰쥐의 오른쪽 슬관절의 털을 제거한 후 증류수를 혼합하여 만든 4% 카오린(Kaolin, SIGMA CHEMICAL CO.)

용액 0.15ml를 오른쪽 슬관절강 내에 주입하고 15분간 슬관절의 굴곡과 신전 운동을 실시하였다. 그리고 난 후 증류수를 혼합하여 만든 2% 카라지난(carrageenan, SIGMA CHEMICAL CO.) 용액 0.3ml를 오른쪽 슬관절강 내에 주입한 후 다시 5분간 슬관절의 굴곡과 신전 운동을 실시하였다. 관절염 유발의 확인은 실험 2일 후 슬관절에 열이 있고, 부종이 생겼으며, 압통반응을 보이면 관절염이 유발된 것으로 판단하였다.

2) 미세전류(microcurrent)의 적용

전원은 9V의 어댑터를 사용하였고, 저항기를 달아 저항의 변화에 영향을 받지 않고 20-25 μA 범위의 일정한 출력강도를 갖는 미세전류기를 이용하여 실시하였다. 전류의 확인은 Multi-Tester를 이용하여 20-25 μA 의 범위를 확인한 후 적용하였고, 전극은 직경 1cm의 Ag-AgCl 전극을 사용하였다(Spadaro & Becker, 1979)

미세전류의 적용은 매일 같은 시간대에 14일 동안, 1일 1회 30분간 흰쥐의 우측 슬관절 부위에 적용하였다. 정확한 적용을 위하여 염산케타민(Ketamin HCL, 유한양행)과 럼퐁(Rumpun, 바이엘코리아)을 1:1비율로 섞어 제조한 전신마취제(2ml/kg)를 복강 주사하여 마취시킨 후 음극과 양극의 패드(pad)를 흰쥐에 적용하기에 알맞은 크기로 자른 후 적용하였다. 음극 패드(pad)는 우측 슬관절 부위 표면에 부착하였고, 양극 패드는 비복근 중앙에 부착하여 양극을 통한 효과를 배제하였다.

3) 조직절편의 제작

조직 절편을 제작하기 위해 실험적 관절염 유발 후 MES 적용군은 3일, 7일, 14일에 희생하였고, 대조군 역시 관절염 유발 후 3일, 7일, 14일에 각각 희생하였다. 실험동물은 염산케타민(Ketamin HCL, 유한양행)과 럼퐁(Rumpun, 바이엘코리아)을 1:1비율로 섞어 제조한 전신마취제(2ml/kg)를 복강 주사하여 전신마취를 실시하고 0.9% 염화나트륨(NaCl)과 4% paraformaldehyde(pH 7.4)를 주입하여 전고정을 실시하였다. 이후 슬관절에서 근위부 3cm부위까지 절취한 후 근육과 인대, 관절낭을 제거하여 대퇴골의

관절연골과 경골의 관절연골 일부를 채취하였다. 채취된 관절연골은 증류수 90ml에 40% paraformaldehyde 10ml와 5.5g의 EDTA가 함유된 탈회액에 3주간 침수시켜 탈회시켰다. 탈회액은 1일 1회 갈아주었으며 3주간 탈회를 마친 관절연골은 일반적인 과정에 따라 탈수와 청명과정을 거친 뒤 파라핀 포매를 실시하였다.

제작된 파라핀 블록은 미세절단기(SM 2000R, LEICA, Germany)를 사용하여 10 μ m의 두께로 잘라서 슬라이드로 제작하였고, 이 후 건조기(C-SL SLIDE WARMER, chang shin Schientific CO, Korea)에서 24시간 건조시켰다.

4) 헤마톡시린-에오진(Hematoxylin & Eosin) 염색
오시간경과에 따른 관절 연골내의 일반적인 조직 형태를 관찰하기 위해 헤마톡시린-에오진 염색을 실시하였다. 탈파라핀(deparaffin)과 함수(hydration)과정을 실시한 후 3차 증류수에 10분간 수세하였다. 수세 후 헤마톡시린에 4분간 침수시키고, 흐르는 물에 1분간 수세 후, 에진에 4분간 침수시킨 후 탈수와 청명의 과정을 거쳐 봉입하였다.

3. 자료 분석

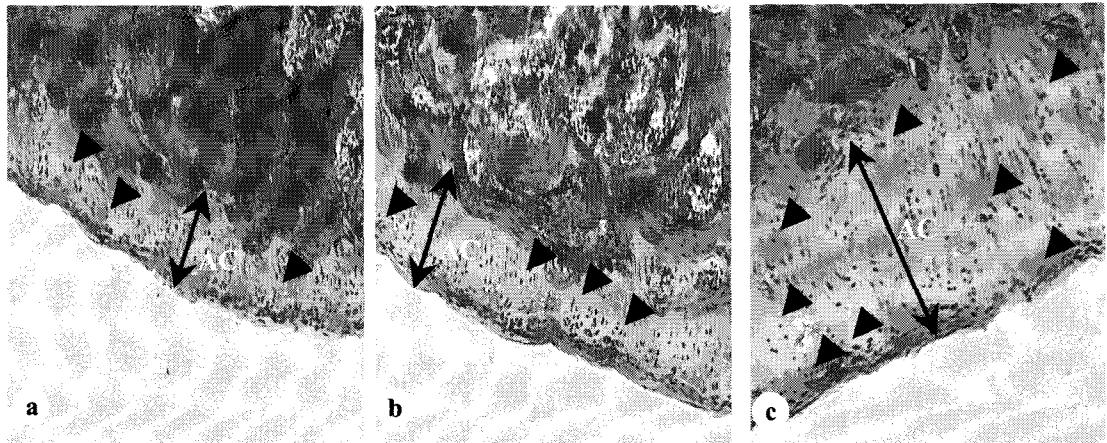
광학 현미경(Olympus Bx50, Japan)을 통해 관찰된 조직의 영상은 광학현미경에 장착된 CCD 카메라(Nikon, Japan)와 개인용 컴퓨터를 연결시켜 자료를 전송하였다. 광학 현미경하에서 염색반응을 보인 영역을 디지털 영상화하여 Image-Pro analyzer를 이용해 pixel 단위 하에서 관절연골의 두께와 형태학적 비교를 실시하였다.

III. 결 과

대조군과 미세전류 적용군의 비교에서 정상군을 통한 형태학적인 비교를 실시하였다. 흰쥐의 우측 뒷다리 슬관절에 실험적 골관절염을 유발시킨 후 대조군과 MES 적용군의 관절연골 회복 정도를 관찰한 결과는 다음과 같다.

1. 대조군

흰쥐의 우측 뒷다리 슬관절에 실험적 골관절염을 유발시킨 후 3일이 경과된 대조군에서는 연골의 분명한 파괴가 관찰되었다. 연골막의 경우 그 표면이 정상군의 선형적 형상에 비해 매우 불규칙한 양상을 지녔고, 전체적인 관찰에서도 매우 얇고 불규칙



AC : articular cartilage
arrow head : chondrocyte

- a : H&E stained Photographs in 3rd day after Osteoarthritis in the control group
- b : H&E stained Photographs in 7th day after Osteoarthritis in the control group
- c : H&E stained Photographs in 14th day after Osteoarthritis in the control group

Fig. 1. The histological changes of articular cartilage on the knee joint in rat with osteoarthritis (Control group)

한 모양을 지님을 관찰할 수 있었다. 그리고 연골세포의 분포는 천층과 중간층, 심층 모두에서 매우 적은 숫자의 연골세포만이 관찰되었다.

7일군의 경우, 정상군에 비해 분명한 연골바탕질의 파괴 및 연골세포 수의 저하를 관찰할 수 있었지만 3일군에 비해 심층과 천층에서 약간의 연골세포 수의 증가를 확인할 수 있었다. 그리고 연골막의 형태에서 그 두께의 증가와 함께 선형적 형상으로 회복된 상태를 관찰할 수 있었다.

14일군의 경우, 정상군에 비해 경미한 연골바탕질의 파괴를 관찰할 수 있었고, 특히 연골막의 두께가 7일군에 비해 현저히 증가함을 나타내었다. 연골세포의 경우 천층과 심층에서 증가된 양상을 관찰할 수 있었지만, 중간층에서는 적은 숫자의 연골세포만이 관찰되었다. (Fig. 1)

2. 미세전류 적용군

흰쥐의 우측 뒷다리 슬관절에 실험적 골관절염을 유발시킨 후 MES를 적용시킨 3일군에서는 연골의 분명한 파괴가 관찰되었다. 연골막의 경우 그 표면이 정상군의 선형적 형상에 비해 매우 불규칙한 형태를 나타내었고, 특히 그 두께의 경우 매우 얇은 대조군 3일군과 비슷한 양상을 보였다. 연골세포의

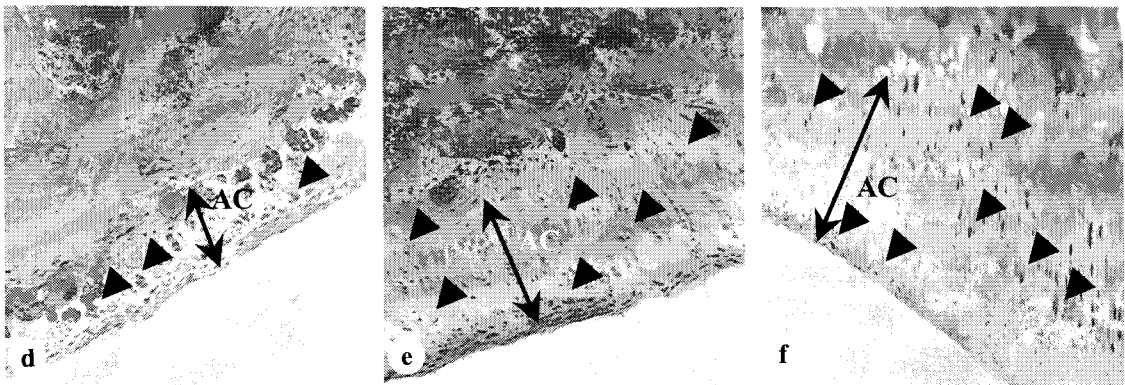
경우 대조군 3일군과 비슷하게 천층과 중간층, 심층 모두에서 매우 적은 숫자의 연골세포만이 관찰되었다.

7일군의 경우 정상군에 비해 경미한 연골바탕질의 파괴가 관찰되었고 연골막의 경우 표면의 형태가 선형적 양상으로 회복됨과 함께 그 두께가 대조군의 14일 정도의 두께를 관찰할 수 있었다. 그리고 연골세포의 경우 천층과 심층에서 증가된 양상을 관찰할 수 있었지만, 중간층에서는 적은 숫자의 연골세포만이 관찰되었다.

14일군의 경우 연골막의 두께가 거의 정상에 가깝게 회복되었고, 표면의 형태 역시 선형의 분명한 회복을 관찰할 수 있었다. 연골바탕질 역시 정상 수준으로 회복되었고, 특히 연골세포의 경우 심층, 중간층, 천층에서 모두 정상에 가깝게 회복됨을 관찰할 수 있었다(Fig. 2).

IV. 고 찰

관절염은 임상에서 흔히 접하는 질환 중 하나로 심한 통증과 장애를 초래하고 나이가 들수록 그 양상이 더욱 심해져 환자의 삶에 악영향을 미치는 질환의 하나이다. 따라서 그 병리상태를 규명하고 효과적인 치료방법을 알아내기 위한 많은 연구가 실



AC : articular cartilage
arrow head : chondrocyte

d : H&E stained Photographs in 3rd day after Osteoarthritis in the MES group

e : H&E stained Photographs in 7th day after Osteoarthritis in the MES group

f : H&E stained Photographs in 14th day after Osteoarthritis in the MES group

Fig. 2. The histological changes of articular cartilage after non-invasive microcurrent stimulation on the knee joint in rat with osteoarthritis (MES group)

시되고 있다.

관절연골은 일상 생활 중에 발생하는 충격을 흡수하고 분산시켜 관절 접촉면에서 발생하는 마모와 마찰을 최소화시키고 정상적인 관절운동이 일어나게 해주는 역할을 한다(Nordin 등, 2001). 관절연골의 기능은 연골세포와 세포외기질의 상호작용을 통해 생합성활동을 조절하게 되나(Newman, 1998). 정상적인 역학적 부하가 감소되면 연골세포의 합성활동에 영향을 미쳐 퇴행성 변화가 일어나게 되고(Wong 등, 2003), 기능 장애의 원인이 된다(Vanwanselle 등, 2002).

관절염은 만성염증인 류마티스 관절염과 퇴행성 관절염인 골관절염 그리고 특이성인 감염성 관절염으로 구분해 볼 수 있다(질환별 물리치료, 2001). 골관절염은 퇴행성 관절질환(Degenerative Joint Disease, DJD), 퇴행성 관절염 또는 골 관절증 등으로 불리고 있으며 관절연골이 닳아 없어지면서 국소적으로 퇴행성 변화가 나타나는 질환이다. 크게 일차성 또는 원발성 골관절염과 이차성 또는 속발성 골관절염의 두 가지로 분류되는데, 일차성 골관절염은 특별한 원인이 없이 발생하는 경우이고, 이차성 골관절염은 확실한 선행 원인이 있는 경우이다. 즉, 관절의 선천성 기형이나 외상, 변형, 골 괴사증, 혈우병, 통풍 등으로 관절연골의 변성과 파괴가 나타나면 이차성 골관절염으로 이행된다(질환별 물리치료, 2001).

동물 모델을 통한, 약물을 이용한 골관절염의 유발이나 관절고정을 통해 역학적 부하를 제거 시킨 후 발생하는 관절연골의 조직학적, 생화학적 변화에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있는데, Haapala 등(1999)에 의한 관절 고정 모델에서 관절연골의 두께가 감소됨을 확인하였고, Trudel 등(2003)은 관절 고정 실시 2주 후부터 관절연골 표면의 불규칙성 증가를 보고하였다. 본 논문에서는 약물을 이용하여 골관절염을 유발시켰는데, 관절 연골 두께의 현저한 감소와 함께 표면의 불규칙성을 관찰하여 본 연구에서 투여된 약물을 통해 관절염이 유발되었음을 확인할 수 있었다.

전방십자인대의 수술적 제거를 통한 퇴행성 관절염 유발모델의 경우 박은세(2007)는 흰쥐의 전방십

자인대의 절개술시 관절 연골의 퇴행성 변화의 관찰을 보고하였고, 이때 연골바탕질의 파괴 및 연골세포의 수 감소와 함께 통증 수치 증가의 관찰을 보고하였다.

이러한 연구 결과들은 관절 부하나 관절 운동의 제거 모델이나 약물 및 수술적 방법을 통한 모델에서의 관절염 유발이 관절연골의 다양한 퇴행성 변화가 유발됨을 알 수 있으며, 이로 인해 관절연골의 고유 기능이 저하됨을 알 수 있다.

미세전류는 Dubois-Reymond(1843)의 실험을 통해 처음으로 관찰되었는데, 그는 조직에 손상이 발생하면 손상부에 미세한 전류가 흐르는 것을 발견하였고, 이를 상처전류라 불렀다. 이 후 Barker 등(1982)은 한 어린이의 절단된 손뚝부분에서 상처주위 cm^2 당 약 $10\sim 30\mu A$ 범위의 전류가 흐른다는 것을 보고하였다.

미세전류는 신체 자체의 생리적 전류범위 정도이기 때문에 근수축이 일어나 않으며, 감각적으로 편안함을 가지게 하고, 전기적인 안정성도 높고, 부작용은 염려가 거의 없으며, 적은 양의 전류만으로도 상처치유촉진과 통증조절에 효과가 있어 급성 및 만성 질환관리에 이용된다고 하였다. 이러한 미세전류에 관한 많은 임상연구(Carley & Wainapel, 1985; Alon 등, 1986)와 동물실험(Cheng 등, 1982; Alvarez 등, 1983; Suzukiet 등 1986; Bourguignon, 1987)에서는 미세전류자극은 조직치유와 회복과정을 활성화 시킨다고 보고하였고, 조직 또는 배양세포를 이용한 연구에서는 세포내의 ATP 재합성, 단백질 합성, 그리고 DNA 복제 비율이 직접적인 전기자극에 의해 증가되는 증거를 제시하였다.

동물 모델의 실험에서 Alvarez 등(1983)은 $50\sim 300\mu A$ 의 직류전류를 돼지의 상처피부에 24시간 적용하여 상피화와 교원질 합성이 높게 상승됨을 보고하였고, Harrington 등(1974)은 토끼의 피부창상에 $200\sim 800\mu A$ 로 24시간 자극을 하여 피부세포의 운동을 관찰한 결과 상피세포의 현저한 이동을 보고하였다. 이러한 연구 결과는 본 연구에서의 미세전류를 통한 골관절염의 치료에서 헤마톡시린-에오진 염색을 통한 관찰시, 미세전류가 상피화 과정을 촉진시킴을 확인할 수 있는 자료가 된다.

손태일 등(2004)의 연구에서 토끼의 전방십자인대 절단술을 이용한 골관절염 유발 모델에서, 키토산-TGF-β 복합체를 투여한 후 골관절염을 유발시킨 측과 유발시키지 않은 측의 비교를 실시하였는데, 관절연골의 재생에 있어 키토산-TGF-β 복합체는 관절 연골의 표면의 형태가 분명한 선형적 회복을 보고하였고, 특히 연골 세포의 경우 정상측에 가까운 수로 회복됨을 보고하였다. 본 연구에서는 약물을 통해 유발된 골관절염 모델에 미세전류의 적용을 실시하였는데, 이때 역시 연골 두께의 증가와 함께 정상에 가까운 연골세포의 수를 관찰할 수 있어, 미세전류가 골관절염에 긍정적인 영향을 미친다고 판단할 수 있었다.

또 다른 연구에서 박은세(2007)는 흰쥐의 전방십자인대 절개술을 통한 관절염 유발 모델에 맥동전류를 통전시켰을 때, 연골 재생의 촉진과 함께 통증 수치의 감소가 나타남을 보고 하였는데, 이러한 맥동전류의 효과가 본 실험에서 역시 나타남을 확인할 수 있었다. 14일간의 미세전류 적용군의 경우 연골 재생의 기준이 되는, 연골 두께의 증가와 함께 연골 세포의 수 증가가 정상에 가깝게 변화됨을 관찰할 수 있어, 미세 전류는 연골 재생에 효과가 있다고 사료된다.

따라서 미세전류를 이용한 치료가 아직까지 골관절염 환자에게 흔히 사용되어지는 치료 방법은 아니지만 파괴된 관절 연골에 있어 연골 세포의 생존에 도움을 주고, 나아가 세포외기질들의 합성에도 긍정적인 영향을 주어 관절연골의 재생에 효과적이라 할 수 있겠다. 하지만 이러한 미세전류의 적용에 있어, 골관절염의 중요한 물리치료적 쟁점이 되는 통증에 관한 부분이나 치료적 유용성에 대한 생체 기전은 아직까지 명확하게 확인되지 않고 있어, 차후 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

미세전류가 실험적으로 유발된 골관절염에 미치는 영향을 알아보기 위해 흰쥐의 우측 뒷다리 슬관절에 골관절염을 유발시킨 후 대조군과 실험군의 관절면의 상태를 관찰한 본 연구의 결론은 다음과

같다.

1. 대조군

실험적으로 유발된 골관절염 모델의 대조군에서는 시간이 지남에 따라 관절연골의 두께의 증가와 관절연골 표면의 회복이 경미하게 나타났고, 연골세포는 천층과 심층의 일부에서만 관찰되었다.

2. 미세전류 적용군

실험적으로 유발된 골관절염 모델의 미세전류 적용군에서는 시간이 지남에 따라 관절연골의 두께와 관절연골 표면이 정상에 가깝게 회복되었고, 연골세포의 경우 천층과 중간층, 심층 모두에서 관찰되었다.

따라서 본 연구의 연구 결과를 통해 미세전류 전기 자극 치료가 약물을 통해 유발된 골관절염에 대해 연골 세포 손상의 회복과 더불어 세포의 기질의 대사 활동을 촉진하는 것으로 추정할 수 있으며, 미세전류의 치료적 기전을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 강종호. 고정이 관절연골에 미치는 영향에 대한 연구, 대한물리치료학회지. 2004; 16(2): 201-10.
- 김계엽, 김용익, 김선은 등. 실험적 통증유발 모델에서 조기발현 유전자에 대한 미세전류자극 효과. 대한물리치료학회지. 2004; 16(3), 449-58.
- 김선엽. 슬관절 골관절염 환자의 슬관절 주위근의 근력비와 Q-각과의 관계. 한국 전문 물리치료학회지. 2005; 12(1): 45-53.
- 박래준. 경피신경전기자극과 미세전류자극이 정상인의 교감신경 긴장도에 미치는 영향. 대한물리치료학회지. 1997; 9(1), 51-7.
- 박래준, 민경옥, 김순희. 질환별 물리치료(I). 서울. 도서출판 대학서림. 2001
- 박은세. 맥동전자장이 흰쥐의 무릎 관절연골의 퇴행성 변화와 통증에 미치는 영향. 2006. 대구대학교 석사 논문.
- 손태일, 정태혁 등. 키토산-TGF-β 복합체와 TGF-β

- 의 토끼 슬관절 내 골관절염에 대한 효과. *J. Chitin Chitosan*. 2004; 9(4): 184-9.
- Alon G, Azaria M, Stein H. *Physical Therapy*. 1986; 66: 775
- Alvarez OM, Mertz PM, Smerbeck RV. et al. The healing of superficail skin wound is stimulated by external electrical current. *J. Invest. Dermatol*. 1983; 81, 144-8
- Barker AT, Jaffe LF, Venable JW et al. *Physiology*. 1982; 242: 358-66
- Baranowski TJ, Black J, Brighton CT. et al. Electrical Osteogenesis by Low Direct Current. *Journal of Orthopaedic Research*. 1983; 1(2): 120-8
- Bayat M, Asgari-Moghadam Z, Maroufi M, Rezaie, F., Bayat, M. et al. Experimental Wound Healing using Microamperage Eelectrical Stimulation in Rabbits. *Journal of Rehabilitation Research & Developmint*. 2006; 43(2): 219-26
- Bourguignon GJ, Bourguignon LYW. Electric stimulation of protein and DNA synthesis in human fibroblast. *FASEB*. 1987; 1(5): 398-402
- Carley P, Wainapel S. Electrotherapy for acceleration of wound healing: Low intensity direct current. *Arch. Phys. Med. Rehab*. 1985; 66(7): 443-6
- Chapman D and Hill DJ. Novel Microcurrent Treatment is More Effective than Conventional Therapy for Chronic Achilles Tendinopathy, *Physiotherapy*, 2002; 88(8): 471-80
- Charles W. The chondrocyte. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 2003; 35(4): 401-4.
- Cheng N, Van Hoof H, Bockx E et al. The Effect of Electric Current on ATP Generation: Protein Sythesis and Membrane Transport in Rat Skin. *Clinical Orthopedics*. 1982; 171: 264-272.
- Demir H, Balay H, Kirnap, M. A Comparative Study of the Effects of ElectricalSstimulation and Laser Treatment on Experimental Wound Healing in Rats. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2004; 41(2): 147-153
- Dubois-Reymond. E. *Ann. Phys. Chem. Leipzig*. 1843; 58: 1-301
- Ei-Husseini T, Ei-Kawy S, Shalaby, H et al. Microcurrent Skin Patches for Postoperative Pain Control in Total Knee Arthroplasty: a Pilot Study. *International Orthopaedics(SICOT)*, 2006; 10: 264-268
- Esterhai JL, Friedanberg ZB, Brighton CT et al. Temporal Course of Bone formation in Response to Constant Direct Current Stimulation. *Journal of Orthopaedic Research*. 1985; 3(2): 137-139
- Haapala J, Arokoski J, Hyttinen MM et al. Remobilization does not fully restore immobilization induced articular cartilage atrophy. *Clin Orthop*. 1999; 218-29.
- Harrington DB, Meyner R, Klein RM. Effect of small amount of electrical current at the cellular level. *Ann NY Acad Sci*. 1974; 238: 300
- Lennox AJ, Shafer JP, Hatcher M, Bell J et al. Pilot Study of Impedance-Controlled Microcurrent Therapy for Managing Radition-Induced Fibrosis in Head-and-Neck Cancer Patients. *Int. J.Radition Onchology Biol*. 2002; 54(1): 23-34
- McMakin CR. Microcurrent Therapy: a Novel Treatment Method for Chronic Low Back Myofascial Pain. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2004; 8: 143-153
- Merriman HL, Hegyi CA, Albright-Overton CR et al. A Comparison of Four Electrical Stimulation Types on Staphylococcus Aureus Growth in Vitro. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2004; 41(2): 139-146
- Mistry DY. Oue, M. G. Chambers, M. V. Kayser et al. Chondrocyte death during murine osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2004; 12(2): 131-41.
- Newman AP. Articular cartilage repair. *Am J Sports Med*. 1998; 26:309-24.
- Nixon J. Electromagnetic Induction of Bone?. *British Medical Journal*. 1985; 290: 490-491

- Nordin M, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system, 3th ed, Lippincott Williams and Wilkins. 2001.
- Spadaro JA, Berger TJ, Barranco SD et al. Antibacterial Effects of Silver Electrodes with Weak Direct Current, Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 1974; 6(5): 637-642
- Suzuki M, Tamiya E, Matsuoka H. et al. Biochem. Biophys. Acta. 1986; 889: 149-155
- Takei T, Akai M. Effect of Direct Current Stimulation on Triradiate Physeal Cartilage : In Vivo Study in Young Rabbits. Arch Orthop Trauma Surg. 1993; 112: 159-162
- Trudel G, Himori K, Goudreau L et al. Measurement of cartilage surface irregularity in rat knee contracture. J Rheumatol. 2003; 30: 2218-25.
- Vanwanseele B, Lucchinetti E, Stussi E. The effects of immobilization on the characteristics of articular cartilage : current concepts and future direction. Osteoarthritis Cartilage. 2002; 10: 408-19
- Webster DA, Spadaro JA, Becker RO et al. Silver Anode Treatment of Chronic Osteomyelitis. Clinical Orthopaedics and Related Research 1981; 161: 105-114
- Webster DF. The role of ultrasound-induced cavitation in the "in vitro" stimulation of collagen synthesis in human fibroblasts. Ultrasonics. 1980; 18(1) 33-7.
- Wong M, Carter DR. Articular cartilage function histomorphology and mechanobiology : a research perspective. Bone. 2003; 33: 1-13
- Yasuda IA. Multicenter Study of the Treatment of Non-Union with Constant Direct Current. J. Bone & Joint Surg. 1953; 63(4): 395-406