

미세전류자극과 고전압 맥동직류 통전이 토끼의 비골 골절치유에 미치는 효과

Effects of Microcurrent and High Voltage Pulsed Galvanic Current Stimulation on Fibular Fracture Healing of the Rabbits

고승현*, 윤범철**, 김지성***, 민경옥****
고려대학교 일반대학원*, 고려대학교 물리치료학과**,
수원여자대학 물리치료과***, 용인대학교 물리치료학과****

Seung-Hyun Ko(navigator1971@hanmail.net)*, Bum-Chul Yoon(yoonbc@korea.ac.kr)**
Ji-Sung Kim(sparkler7@swc.ac.kr)***, Kyung-Ok Min(ptcountry@hanmail.net)****

요약

본 연구는 토끼골절모델에 미세전류자극(직류, 음극), 고전압 맥동직류 음극과 양극을 이용해 골절치유 정도를 살펴보았다. 방사선 검사에 의한 육안 계측은 미세전류자극군이 고전압 맥동직류의 음극과 양극 통전군보다 골절치유척도 점수에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였으나($p < 0.05$), 고전압 맥동직류 음극군과 양극군 사이에는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). Hematoxylin-Eosin 염색과 Masson's trichrome 염색을 통한 병리조직표본 차이는 미세전류자극군에서 무층골의 증식이 다른 두 실험군보다 더 활발하게 관찰되었으며 연골내골화 과정도 다른 두 실험군에 비해 더 빠른 것으로 관찰되었다. Osteocalcin 면역조직화학 염색은 미세전류자극군이 골모세포, 골세포, 파골세포 및 골기질 내에서 면역양성반응이 다른 두 실험군보다 더 명확히 관찰되었다.

■ 중심어 : | 골절치유 | 미세전류자극 | 고전압 맥동직류 |

Abstract

This study investigated the degree of fracture healing using cathode stimulation of microcurrent, cathode and anode stimulation of High Voltage Pulsed Galvanic Current (HVPGC). Measures were performed by X-ray test and Hematoxylin-Eosin stain and Masson's trichrome stain and osteocalcin-positive immunoreactivity. In the measure of X-ray, microcurrent stimulation group revealed more rapid recovery than the groups of HVPGC's cathode and anode stimulation in bone union degrees. Microcurrent group showed significant difference statistically ($p < 0.05$). However, the groups of HVPGC's cathode and anode stimulation didn't show significant difference statistically ($p > 0.05$). In the histologic examination with Hematoxylin-Eosin and Masson's trichrome, microcurrent stimulation group was observed more proliferation of irregular woven bones than the groups of HVPGC's cathode and anode stimulation. Osteocalcin-positive immunoreactivity was observed more osteoblast, osteocyte, osteoclast, bone matrix than the groups of HVPGC's cathode and anode stimulation. Microcurrent stimulation can be considered an effective way during healing of fresh fracture and it can show more effective method than HVPGC's cathode and anode stimulation in the fracture healing.

■ keyword : | Fracture Healing | Microcurrent | High Voltage Pulsed Galvanic Current |

1. 서론

골절치유는 시간이 오래 걸리고 그 과정에서 합병증이 발생하기도 한다. 심사평가원 심사결정 자료에 의하면 우리나라 골절환자는 2004년 149만명에서 2008년 177만명으로 1.2배가 증가하였고 연평균 증가율 4.3%라고 보고하였다. 골절의 합병증으로는 감염, 급성 구획 증후군, 심부정맥 혈전, 부정유합 등이 있다. 또 치유 과정에서 충분한 치료 기간이 지났음에도 유합이 지연되는 지연유합이나 골절 치유 과정이 중단되어 골절 유합이 안된 불유합이 생기기도 한다. 이러한 합병증들은 삶의 질을 위협할 뿐만 아니라 인력의 손실과 많은 경제적인 부담을 낳기도 한다[1].

물리치료에서 사용되는 전기치료는 통증 감소나 근력 증강뿐만 아니라 손상된 조직의 치유를 돕는 수단으로 사용되고 있다. 생체전위는 살아 있는 조직에서 특정한 자극 없이도 자발적으로 존재하는 미세한 전위로 성장, 복원, 재형성에 관여하지만[2] 외상에 의해 방해를 받고[3] 치유나 재생이 완전히 이루어질 때까지 정상으로 회복되지 않는다[4].

골절치유에 대한 전기자극에서 가장 일반적으로 사용되는 방식은 매입형과 반매입형이다[5]. 매입형 방식은 미세한 전류를 발생시키는 음극 전극을 골절부에, 양극 전극을 적절한 부위에 외과적으로 매입하여 자극하는 것이다[2]. 반면, 반매입형 방식은 음극 전극을 골절부에 매입하고 양극 전극을 피부표면에 대고 자극하는 방법이다[2]. Brighton[6]은 골절부에 매입형 강철전극을 사용하여 직류를 통전한 결과 음극 주위에 골 성장을 관찰하였다. Zorlu 등[1]은 쥐의 골절 실험에서 매입형 전극을 사용하여 직류를 통전한 결과 대조군보다 회복속도가 빠른 것을 보고하였다. Friedenber g 등[7]은 불유합 골절환자에게 매입형 전극을 사용하여 직류를 통전하여 유합이 생긴 것을 보고하였다. 매입형 전극과 반매입형 전극을 사용한 전기자극이 신생골절과 골절 합병증인 불유합이나 지연유합에 좋은 영향을 주는 것을 확인하는 연구는 임상적으로 큰 의미가 있다. 그러나 매입형과 반매입형 방식을 사용하므로 생길 수 있는 부작용도 고려되어야 한다. Gersh[8]는 조직치유

에서 매입형, 반매입형 직류전기자극시 일어날 수 있는 감염의 위험성을 지적하였다. Lavine과 Grodzinsky[5]는 감염뿐만 아니라 강철선이 부러지거나 매입한 전극의 위치가 골절 부위 밖으로 이동할 수 있어 안전성과 치료의 정확성을 지적하였다.

미세전류자극 치료는 이온통로와 세포통신 이론을 근거로 하는 치료로서 손상 부위에서 손상전류를 탐지한 후 컴퓨터에 내장된 프로그램에 의해서 정상조직에서와 비슷한 크기의 전류를 손상조직에 통전하여 조직치유의 효과를 극대화하는 치료이다[9][10]. 고전압 맥동직류는 고전압과 저전류를 특징으로 하는 단상형 직정점 맥동파를 이용한 치료로서, 직류의 일반적인 특성을 나타낸다[9]. 최근 미세전류자극 치료와 고전압 맥동직류 통전을 이용한 조직치유의 효과를 밝히는 연구가 활발히 이루어지고 있다[11-15]. 조미숙[11][12]은 토끼 경골 골절 후 표면전극을 사용하여 실험기간동안 하루 24시간 20-25 μ A의 지속적인 미세전류자극을 한 결과, 골형성단백질 BMP-4의 발현 증가를 확인했다. 김지성과 민경옥[13]은 토끼의 뇌를 손상시키고 손상 부위에 미세전류자극 치료를 시행한 결과 회복 지표가 될 수 있는 별아교세포의 증식을 확인했다. 이병옥[14]은 인위적으로 유발된 랫트의 관절염에 미세전류자극 치료를 시행한 결과 연골세포의 파괴를 억제시키는데 유의한 결과를 확인했다. 이은희[15]는 토끼의 창상에 고전압 맥동직류 치료 결과 교원섬유 증가, 신생혈관 형성 촉진, 염증진행단계의 빠른 소멸, 많은 수의 섬유모세포를 관찰하였다.

고전압 맥동직류 통전과 표면전극을 사용한 미세전류자극 치료가 조직치유에 유의한 효과가 있음을 증명하는 연구들이 있지만 두 전류의 효과 비교에 대한 연구는 거의 없었다. 본 연구는 조직치유에 효과적인 고전압 맥동직류 통전과 표면전극을 사용한 미세전류자극이 뼈 형성 촉진에 미치는 효과와 두 치료의 효과를 비교하고자 시행하였다.

II. 연구 방법

1. 실험 대상

본 연구는 생후3-4개월, 체중2-2.5kg의 한국산 집토끼 18마리를 암수 구별 없이 사용하였다. 실험은 온도(23°C±2°C), 습도(55-65%), 공기 청정 상태를 일정하게 유지하였다.

2. 실험 방법

한국산 집토끼 18마리를 6마리씩 세 군으로 분류한 후 Ketamin HCl(10mg/kg)을 이용하여 후이개 정맥에 정맥내 주사를 시행하여 전신마취를 시킨 후 오른쪽 하퇴의 외측부위를 절개하고 오른쪽 비골의 중간부위를 1mm의 실타프로 횡골절술을 시행하였다. 실험군 1은 미세전류자극(Electro-Acoustic, EMI, USA) 통전군으로 골절술만 시행하고 봉합하였다. 그리고 자극 첫날 300µA로 시작하여 매일 15분간 접촉식 표면전극을 사용하여 미세전류자극(직류, 음극)을 시행하였다. 활성전극인 음극은 1.5x1.5cm 접촉식 표면전극을 사용하여 환부에 부착하였고 비활성 전극인 양극은 3.0x3.0cm의 접촉식 표면전극을 사용하여 요추 부위에 부착하였다. 실험군 2와 실험군 3은 고전압 맥동직류(Triaction, Germany) 통전군으로 스테인레스 강철로 만든 전극을 골절된 부위에 감아서 삽입하고 그 끝이 피부 밖으로 노출되게 하여 봉합하였다. 활성전극은 집게 모양의 전극을 사용하여 피부 밖으로 노출된 전극에 부착하였고, 비활성 전극은 3.0x3.0cm의 접촉식 표면전극을 사용하여 요추 부위에 부착하였다. 실험군 2는 매입형 유형으로 노출된 스테인레스 강철전극에 고전압 맥동직류 치료기의 음극(cathode)을 연결하여 매일 15분씩 15mA의 통전을 시행하였다. 실험군 3은 노출된 스테인레스 강철전극에 고전압 맥동직류 치료기의 양극(anode)을 연결하여 매일 15분씩 15mA의 통전을 시행하였다. 실험군 2와 실험군 3의 자극변수로는 맥동 기간 100µs, 맥동간 간격 9900µs, 맥동률 100pps를 사용하였다. 비골 골절술 후 1일이 경과한 2일째부터 토끼에 전기자극을 시행하였다. 실험기간은 21일로 하였다.

3. 방사선 측정

실험동물의 골절된 비골의 가골 형성 정도를 비교하기 위해 방사선 촬영기를 이용하여 전면촬영을 하였다. 이덕용 등이 개발한 9단계 골절치유척도를 이용하여 평가하였으며 평가는 방사선 전문의에게 의뢰하였다 [16][표 1].

표 1. 골절치유척도

점수	골유합 형성정도
0점	아직 가골 형성이 없을 때
1점	가골 형성이 시작될 때
2점	가골 형성의 골막 반응이 일어날 때
3점	가골이 골절부를 지나가기 시작할 때
4점	가골이 골절부를 어느 정도 지나갈 때
5점	골소주가 골절선을 지나갈 때
6점	골절선이 사라지기 시작할 때
7점	골절선이 사라졌을 때
8점	골절부위에 골수강이 재생할 때
9점	거의 골유합이 일어났을 때

4. 병리조직표본 제작 및 계측

적출된 비골은 4°C의 10% paraformaldehyde(in 0.1M phosphate buffer, pH 7.4)로 4일간 고정하였다. 탈회용액에 7일 이상 담근 후 탈회상태가 확인되면 자동침투기에 탈수, 투명, 침투과정을 거쳤다. 그리고 포매기로 4µm 절편을 만들어 Hematoxylin-Eosin 염색, Masson's trichrome 염색, osteocalcin 면역조직화학 염색을 시행한 후 광학현미경으로 조직표본을 검경하였다. 일차항체로 osteocalcin(Biogenex cat. no AM386-5M)를 사용했고 이차항체로는 Envision+, peroxidase, mouse (DAKO K4001)을 사용했다.

5. 통계 처리

21일 실험기간 후 측정된 방사선 검사에 의한 육안 계측치에서 수집된 자료를 콜모고로프-스미르노프 검정으로 분석한 결과 정규분포를 나타내어 일원분산분석(one-way ANOVA)를 이용하여 유의성을 검증했고

통계 패키지는 dBSTAT for Windows를 이용했으며 통계학적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

III. 결과

1. 방사선 검사에 의한 육안 계측치 차이[그림 1]

21일 실험기간 후 18마리 토끼모델의 방사선 검사에 의한 육안 계측치는 실험군 1의 평균 6.5 ± 1.38 , 실험군 2의 평균 5 ± 0.63 , 실험군 3의 평균 5 ± 0.00 이었다. 일원분산분석 결과 각 실험군 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F=3.68, p=0.0131$). 각 실험군 간의 검정을 위해 사후검정인 Scheffe 검정을 시행한 결과 실험군 1은 실험군 2와 실험군 3보다 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 그러나 실험군 2와 실험군 3 사이에는 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 실험군 1은 대부분에서 골절선이 관찰되지 않았으나 실험군 2와 실험군 3에서는 거의 대부분 골절선이 남아 있었다.



그림 1. 단순 X-선 촬영 (왼쪽; 실험군1, 중간; 실험군2, 오른쪽; 실험군3)

2. Hematoxylin-Eosin 염색[그림 2]

21일 실험기간 후 무층골(woven bone)의 형태에 있어서 실험군 1은 실험군 2와 실험군 3에 비해 더욱 분명하고 일정한 형태를 나타내었다. 또 실험군 1이 다른 실험군들에 비해 무층골의 가장자리에 현저한 골모세포(osteoblast)들이 관찰되었고 많은 수의 파골세포(osteoclast)가 관찰되었다.

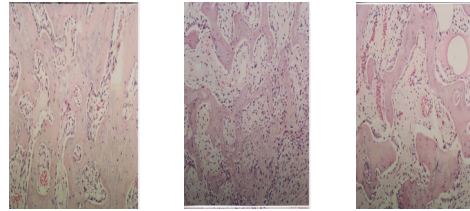


그림 2. Hematoxylin-Eosin 염색(x200) (왼쪽; 실험군1, 중간; 실험군2, 오른쪽; 실험군3)

3. Masson's trichrome 염색[그림 3]

21일 실험기간 후 실험군 1에서는 연가골(soft callus)을 이미 거친 불규칙한 형태의 무층골(woven bone)들의 증식이 실험군 2와 실험군 3보다 더욱 활발하게 관찰되었다. 실험군 1은 석회화된 연골에서 대부분 무층골로 변화된 연골내골화 과정이 관찰되었다. 실험군 2와 실험군 3은 일부 불규칙한 형태의 무층골과 연골조직 및 섬유화가 동반된 것이 관찰되어 실험군 1보다는 연골내골화 과정이 느린 것을 관찰할 수 있다.

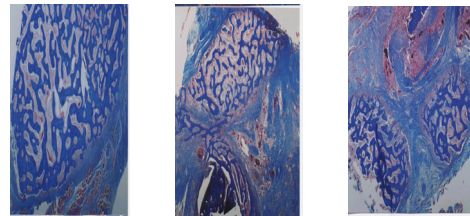


그림 3. Masson's trichrome 염색(x40) (왼쪽; 실험군1, 중간; 실험군2, 오른쪽; 실험군3)

4. Osteocalcin에 대한 면역조직화학염색[그림4]

21일 실험기간 후 실험군 1은 골모세포, 골세포, 파골세포 및 골기질에서 실험군 2와 실험군 3보다 더 뚜렷한 면역 반응성을 관찰할 수 있었다. 실험군 2와 실험군 3은 전반적으로 면역반응성이 실험군 1에 비해 떨어졌다. 골모세포에서 일부 면역반응성이 관찰되었으나 면역반응성이 실험군 1에 비해 크게 떨어지는 것이 관찰되었다.

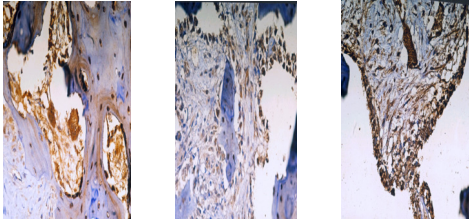


그림 4. 갈색으로 염색된 면역 반응성(x400) (왼쪽 ; 실험군1, 중간 ; 실험군2, 오른쪽 ; 실험군3)

IV. 고찰

본 연구는 골절치유에 대한 전기자극의 효과를 확인하는 것으로 미세전류자극(직류, 음극)이 고전압 맥동 직류 통전보다 더 유의한 결과를 나타내었다.

골절치유를 위한 전기 자극은 전류량, 극성 등 자극 변수를 매우 중요한 요소로 다루고 있다. 일반적으로 골절치유에 효과적인 전류량은 5-20 μ A로 알려져 있다 [7][17][18]. Friedenberg 등[7]은 강철을 전극으로 사용할 경우 골 형성을 유발시키는 최적의 전류량이 5-20 μ A라고 주장했다. Baranowski 등[17]은 5-20 μ A보다 낮은 전류량에서는 자극효과가 없다고 주장했다. Akai 등[18]은 토끼골절모델에 전극을 삽입하여 7-10 μ A의 미세한 연속 직류를 통전시킨 결과 유의한 결과를 얻었다. 조미숙[11][12]은 토끼 경골 골절 후 표면전극을 사용하여 실험기간동안 하루 24시간 지속적으로 20-25 μ A의 미세전류를 통전하여 골형성단백질 BMP-4의 발현 증가를 확인했는데, 실제로 골절부위에 도달한 전류량은 더 낮았을 것으로 사료되지만 실험기간동안 하루 24시간 지속적으로 적용한 긴 자극시간이 전류량의 가중을 주어 효과적인 전류량의 영향을 주었을 것으로 사료된다. 본 연구에서는 15분간 표면전극을 사용한 미세전류 자극에서 300 μ A의 높은 전류를 통전시키고도 유의한 결과를 나타내었다. 본 연구의 미세전류자극군에는 표면전극을 사용하였으므로, 실제로 골절부위에 도달한 전류량은 훨씬 더 낮았을 것으로 사료된다. 동물실험이라는 제한점이 있기는 하지만, 15분의 짧은 자극시간에도 유의한 결과를 나타낸 것을 통해, 긴 시간 통전에 비

해 임상에서 쉽게 적용하는데 유용한 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다. 고전압 맥동 직류의 음극과 양극 통전에서도 15mA의 높은 전류량을 사용했는데 고전압 맥동 직류의 특성이 짧은 맥동간격(100 μ s)과 긴 맥동간격(9900 μ s)임을 고려한다면 골절 부위에 영향을 주는 전류량은 극히 작을 것으로 사료된다.

많은 연구자들은 극성에 따른 골절 치유의 차이를 주장하였다. Brighton 등[19]은 음극 통전이 간접적으로 골 형성을 이끄는 세포 변화를 일으키므로 음극 통전이 골절 치유에 효과적임을 주장하였다. 골절 치유가 음극에서 유의한 효과가 있음을 고려할 때 본 연구에서는 고전압 맥동직류의 음극 통전군과 양극 통전군 사이에 방사선 검사나 병리조직표본의 변화에 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 이 사실은 전기 자극을 통한 골절의 치유 효과가 음극에서 나타난다는 사실과 일치하지는 않는다. 이러한 결과는 고전압 맥동 직류의 특성이 자극시간이 짧아 전기화학적 반응이 거의 없으면서 직류의 일반적 특성을 지니고 있기 때문인 것으로 사료된다.

본 연구는 치료를 하지 않은 군을 설정하지 않고 세 종류의 전기자극군을 설정하여 결과를 비교하였다. Aro 등[20]의 연구에서 사용된 조직학적 측정방법이 본 연구와 비슷하여 간접적이지만 비교할 수 있는 자료가 된다. Aro 등은 골절된 토끼의 요골과 척골에 비대칭성 양상 전압(asymmetric biphasic voltage)을 각각 +22 μ A--18 μ A와 +100 μ A--100 μ A로 14일, 21일 동안 통전하였다. 대조군에 전극 매입은 하였으나 전류를 통전하지 않았다. 조직학 관찰에서, 14일째 실험군에서 일부의 무층골과 연골 형성이 관찰되었고 21일째 실험군에서는 광범위한 무층골이 관찰되었다. 특히 21일째 실험군에서 관찰된 광범위한 무층골은 본 연구의 Masson's trichrome 염색에서 미세전류 자극군에서 관찰된 광범위한 무층골의 형태와 거의 흡사하였다. 반면 21일째 대조군에서는 전극 주위에 미약한 정도의 무층골 형성이 관찰되었고 전극에서 멀어질수록 연골내골화의 과정이 느린 것을 볼 수 있었는데 이것은 본 연구의 미세전류 자극군 뿐만 아니라 고전압 맥동직류 통전군보다 느린 연골내골화 과정임을 관찰할 수 있었다.

본 연구는 조직학 결과를 육안적 관찰로 하였다. 육

안적 관찰은 이미지 분석 프로그램을 통해 세포수를 측정하는 정량적 분석보다는 결과를 객관화하는데 제한점이 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 골절된 토끼 비골에 미세전류자극(직류, 음극)과 고전압 맥동 직류 음극과 양극 통전 후 방사선 측정을 통한 가골 형성 정도와 조직학적 변화를 살펴볼 때, 미세전류 자극군이 골절치유를 촉진시키는데 고전압 맥동직류보다 더 효과적이었음을 알 수 있었다. 또 Aro 등 연구에서 관찰한 대조군의 조직학 결과와 본 연구의 실험군들을 비교하였을 때 미세전류자극과 고전압 맥동직류 통전이 대조군보다 골절치유에 유의한 영향을 준 것으로 사료된다. 본 연구가 신생골절에 대한 연구이었음을 생각할 때 앞으로의 연구에서 미세전류 자극이나 고전압 맥동직류 통전을 통한 지연유합이나 불유합에 대한 연구도 필요하다고 본다.

V. 결론

본 연구의 결과와 전기 자극이 골절치유에 유의한 영향을 준 선행 연구들을 종합적으로 고려해 볼 때, 미세전류자극은 골절 치유에 유효한 방법이 될 수 있을 것으로 사료되며 임상에서 구체적인 적용을 위해 이 분야에서 더 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] U. Zorlu, M. Tercan, I. Ozyazgan, I. Taskan, Y. Kardas, F. Balkar, and F. Ozturk, "Comparative study of the effect of ultrasound and electrostimulation on bone healing in rats," *Am J Phys Med Rehabil*, Vol.77, No5, pp.427-432, 1998.
- [2] 이재형, *전기치료학*, 대학서림, 1995.
- [3] L. L. D. Stern and J. Yageya, "Bioelectric potentials after fracture of the tibia in rats," *Acta Orthop Scand*, Vol.51, No.4, pp.601-608, 1980.
- [4] J. M. Serroo, L. Kodde, C. H. Massen, and F. Magis, "Measuring of electrical voltage difference during fracture healing," *Acta Orthop Belg*, Vol.44, No.5, pp.725-731, 1978.
- [5] L. S. Lavine, and A. J. Grodzinsky, "Current concepts review electrical stimulation of repair of bone," *J Bone Joint Surg Am*, Vol.69, No.4, pp.626-630, 1987.
- [6] C. T. Brighton, "The semi-invasive method of treating nonunion with direct current," *Orthop Clin North Am*, Vol.15, No.1, pp.33-45, 1984.
- [7] Z. B. Friedenber, E. T. Andrews, B. I. Smolenski, B. W. Pearl, and C. T. Brighton, "Bone reaction to varying amounts of direct current," *Surg Gynec Obstet*, Vol.131, No.5, pp.894-899, 1970.
- [8] M. R. Gersh, *Electrotherapy in rehabilitation*, FA Davis Pub, 1992.
- [9] 민경옥, *전기치료학*, 현문사, 2001.
- [10] 박래준, "경피신경전기자극과 미세전류자극이 정상인의 교감신경 긴장도에 미치는 영향", 대한물리치료학회지, 제9권, 제1호, pp.51-57, 1997.
- [11] 조미숙, "미세전류가 토끼 경골의 골절 후 BMP-4 발현에 미치는 영향", 한국콘텐츠학회논문지, 제10권, 제3호, pp.196-203, 2010.
- [12] 조미숙, "비침습식 미세전류자극이 토끼 경골의 골절 후 BMP-4 발현에 미치는 영향", 한국콘텐츠학회 2009 춘계종합학술대회, 제7권, 제1호, pp.1124-1129, 2009.
- [13] 김지성, 민경옥, "극저전류자극이 손상된 토끼 뇌의 별아교 세포 증식에 미치는 효과", 대한물리치료과학회지, 제9권, 제3호, pp.107-119, 2002.
- [14] 이병옥, *인위적으로 유도된 흰쥐의 류마티스 관절염에 초음파와 극저전류치료가 미치는 효과*, 용인대학교 석사학위논문, 2001.
- [15] 이은희, *고전압 맥동직류자극과 아연이온도입이 토끼의 창상치유에 미치는 효과*, 용인대학교 석

사학위논문, 2001.

- [16] 이덕용, 이선호, 정문상, 골절학, 일조각, 1988.
- [17] T. J. Baranowski, J. Black, C. T. Brighton, and Z. B. Friedenberg, "Electrical osteogenesis by low direct current," J Orthop Res. Vol.1, No.2, pp.120-128, 1983.
- [18] M. Akai, T. Yabuki, T. Tateishi, and Y. Shirasaki, "Mechanical properties of the electrically stimulated callus--An experiment with constant direct current in rabbit fibulae," Clin Orthop Relat Res, Vol.188, No.7, pp.293-302, 1984.
- [19] C. T. Brighton, J. Black, Z. B. Friedenberg, J. L. Esterhai, L. J. Day, and J. F. Connolly, "A multicenter study of the treatment of non-union with constant direct current," J Bone Joint Surg Am, Vol.63, No.1, pp.2-13, 1981.
- [20] H. Aro, A. J. Aho, K. Vaahtoranta, and T. Ekfors, "Asymmetric biphasic voltage stimulation of the osteotomized rabbit bone," Acta Orthop Scand, Vol.51, No.5, pp.711-718, 1980.

저 자 소 개

고 승 현(Seung-Hyun Ko) 정회원



- 2000년 2월 : 연세대학교 보건과학과(재활학)(보건학 학사)
- 2003년 8월 : 용인대학교 재활보건과학대학원 물리치료학 전공(물리치료학 석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 일반대학원 재활과학 전공(석사과정)

▪ 2004년 3월 ~ 현재 : 연세노블병원 재활치료센터 실장
 <관심분야> : 정형물리치료, 운동조절과 학습

윤 범 철(Bum-Chul Yoon) 정회원



- 1993년 8월 : 고려대학교 대학원 운동생리 전공(교육학 석사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 대학원 운동생리 전공(이학 박사)
- 1994년 ~ 현재 : 고려대학교 보건과학대학 부학장

<관심분야> : 운동조절과 학습, 노인학, 운동생리

김 지 성(Ji-Sung Kim) 정회원



- 1998년 2월 : 용인대학교 물리치료학과(물리치료학 학사)
- 2001년 2월 : 용인대학교 재활보건과학대학원 물리치료학 전공(물리치료학 석사)
- 2008년 2월 : 용인대학교 대학원 물리치료학 전공(이학 박사)

▪ 2009년 ~ 현재 : 수원여자대학 물리치료과 교수
 <관심분야> : 근골격계 물리치료, 노인물리치료

민 경 옥(Kyung-Ok Min) 정회원



- 1983년 2월 : 서울대학교 보건대학원(보건학 석사)
- 1994년 2월 : 인천대학교 대학원 생물학 전공(이학 박사)
- 1994년 ~ 현재 : 용인대학교 재활보건과학대학원장

<관심분야> : 정형물리치료, 전기치료