

상처 치료에 있어서의 전기자극의 효과에 대한 연구

박 진우^{*,}, 이 향준^{*}, 임 재중^{*}, 윤 혜경^{**}, 김 찬환^{**}

인제대학교 보건대학 의용공학과^{*}

인제대학교 의과대학 해부병리과^{**}

A Study for the Effect of Electrical Stimulation on Wound Healing

Jin Woo Park^{*,}, Hyang Jun Lee^{*}, Jae Joong Im^{*}, Hye Kyoung Yoon^{**}, Chan Hwan Kim^{**}

Dept. of Biomedical Eng., College of Public Health, Inje University ^{*}

Dept. of Anatomic Pathology, College of Medicine, Inje University ^{**}

요 약

모든 살아있는 조직은 표면전위(surface electropotentials)를 가지고 있으며, 이는 조직에 손상을 가져오는 상처가 발생되었을 때 그 상처를 치료하는데 큰 역할을 담당하고 있다. 즉, 상처 부위에 인위적으로 표면전위의 특성을 가진 전기적인 자극을 가함으로써 상처의 치료효과를 높일 수 있으며, 그 중에서도 상처의 발생 직후에 음(-)의 전기자극을 가할 때 높은 치료효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 상처의 치료에 전기자극을 사용할 때, 자극의 특성 변화가 치료의 효과를 높일 수 있는가에 대한 기초 연구로서 수행하였다. 즉, 쥐의 복부부위를 일정한 크기로 절개하고, 그 부위에 1mA와 10mA의 자극 펄스를 지속시간을 10msec와 100msec로 변화하면서 1~3일간 제시한 후 상처가 치료된 정도를 비교하였다. 모든 자극이 끝난 후 상처부위에 대한 조직검사를 수행하여 육아조직(granulation tissue)의 상태를 관찰하였다. 그 결과 전기자극을 전혀 가하지 않은 그룹에 비하여 전기자극을 행한 그룹들의 육아조직에 있어서 그 형성 상태가 양호하였고, 괴사현상이 나타나지 않았으며, 염증의 정도가 낮게 나타났음을 발견하였다. 또한, 자극의 횟수를 증가할수록 전기자극으로 인한 치료의 효과가 크게 나타났음을 알 수 있었다. 그러나, 각 그룹 내에서 자극의 특성을 변화시키며 수행한 검사의 결과는 큰 차이를 보이지 않았다.

서 론

전기 치료는 동물전기현상에 대하여 최초의 기록을 남긴 과학자 아리스토텔레스에서 그 기원을 찾을 수 있다. 그 후 처음으로 전기를 질병의 치료에 사용한 사람은 그리이스의 의사인

Aetius로서 전기물고기인 전기매기(torpedo)를 붕풍(gout)치료에 사용하였다. 또한, 중세의 의료인이었던 Paracelsus는 자력(magnetic)이 모든 치료에 힘을 갖고 있는 것으로 믿었다. 그리고, 이와 관련된 많은 연구가 계속되던 18세기 중엽에는

Syepm Gray등에 의하여 인체도 일종의 도체라고 생각하는 인체도체설과 유리와 수지에서 일어나는 전기의 이질성 등이 발표되었으며, Luigi Galvani는 전기를 신경과 근육의 연구 대상으로 사용하기 시작했다[1].

한편, 18세기 후반에 들어서면서 전기치료에서도 약물치료와 마찬가지로 전기의 적당한 투여량 및 치료 시간을 결정하여야 한다는데 관심을 가지기 시작하였다. 이것이 전기치료를 의학의 한 분야로 보기 시작한 중요한 계기가 되었으며, 그 후 임상적으로 전기 치료에 관련된 많은 연구가 수행되었다[2-5]. 뼈의 성장 및 치료를 촉진시키기 위하여 낮은 강도의 dc 전류를 이용하였으며, 상처의 감염에 대한 치료를 위하여 전류가 가지고 있는 항균성(antibacterial properties)을 이용하고자 하였다. 또한, 전류자극을 통하여 혈액의 응고 요인을 분산시킴으로써 혈전의 생성(thrombosis)을 억제시키고자 하였으며, 단순히 병리적인 손상만을 치료대상으로 하지 않고 신경의 치료 및 통증관리나 경련의 제거, 운동치료의 보조 수단으로써 그 영역을 넓혀 응용되기 시작하였다.

이러한 연구들 가운데 상처의 치료에 있어서의 전기자극의 효과에 대한 많은 연구결과들이 발표되었다. Patrick[6]과 Walter[7]는 LIDC(low intensity direct current)를 이용하여 자극한 상처가 아무런 처치를 가하지 않은 상처보다 2배 이상의 빠른 치유속도를 보이고 있음을 보고하였다. 또한, Dennis[8]는 음(-)의 전류가 피부 상처의 치료를 가속시키고, connective tissue의 성장을 촉진시킴을 토끼실험을 통하여 증명하고, 이를 정맥류성궤양(varicose ulcer)이 있는 임상환자에게 적용하였다. 그리고, Im[9-10]등은 실험동물을 사용하여 피부판 수술(flapsurgery)후 수술부위에 양(+)과 음(-)의 전기자극을 가하고, 그

때의 치료효과를 피부판의 면적중에서 관찰되는 괴사(necrosis)량의 비율로서 나타냈다. 이들 연구들의 공통적인 결론은 음(-)의 전기자극을 주는 것이 양(+)의 자극을 주는 것보다 효과가 좋다는 것이며, 이러한 연구결과는 재생능력이 있는 도마뱀과 재생능력이 없는 것으로 알려진 한 동물을 비교 관찰한 결과 재생 능력이 있는 도마뱀의 잘린 부위에서는 계속적인 음전기를 띠는 반면, 재생능력이 없는 것의 잘린 부위에서는 양전기가 발견되었음에 의하여 뒷받침 될 수 있을 것이다.

이러한 전기자극의 효과에 근거하여 본 연구는 상처의 치료를 위한 수단으로서 전기자극을 사용할때, 치료의 효과를 높일수 있는 자극의 특성에 대한 기초 연구로서, 자극 펄스의 강도, 펄스의 지속 시간, 자극주기를 변화시키면서 자극을 제시한 후 상처가 치료되는 정도를 비교하고자 하였다.

실험 방법

본 연구에서는 실험동물에게 상처를 내고, 상처부위에 전기적 특성이 다른 음(-)의 전기자극을 여러 실험조건에 따라서 가하였다. 그리고, 일정시간이 지난 후에 그 상처들이 치유된 결과 조직검사를 통하여 비교하여 전기자극의 치료효과가 자극의 조건에 따라서 변화하는가를 밝히고자 하였다.

Experimental Design

본 연구는 전기 자극이 상처의 치료를 촉진시키는 효과를 주는 가정을 증명하기 위한 동물실험으로서 쥐를 사용하여 수행하였으며, 그림 1에 실험을 위한 전체적인 block diagram이 나타나있다.

실험 동물은 150g에서 200g의 쥐 16마리를 크게 다섯 그룹의 실험군으로 나누었다. 그룹 I은 no treatment control 그룹으로

서 두마리의 쥐를 아무런 처치도 하지 않은 상태로 보존하였고, 그룹 II는 sham control 그룹으로서 두마리의 쥐에 상처를 내고, 상처 부위에 전극을 부착만 하여 자극을 주지 않은 상태로 관리하였다. 그룹 III은 상처 부위에 1일간 전기 자극을 주고, 그룹 IV와 그룹 V는 각각 2일과 3일 동안 전기 자극을 가하였다. 그룹 III, IV, V에는 각각 네마리의 쥐를 사용하였으며, 각 그룹에 대하여 조건을 변화해 가면서 자극을 제시한 후 상처부위를 채취하여 조직검사의 결과를 비교하였다.

Surgical Procedure

실험에 들어가기에 앞서서 우선 모든 쥐들에 대하여 상처를 내게 될 상복부와 reference전극을 부착하게 될 반대편의 등쪽에 있는 털을 제거하였다. 상처를 내기 전에 정맥 및 근육주사용 케타라(10mg/ml) 1ml를 근육에 주사하여 마취시켰다. 이런 상태에서 쥐의 상복부에 진피까지 Blade No.20의 stainless steel surgical blade를 사용하여 1.5cm의 길이와 3mm의 깊이로 절개하였다. 이때 실험결과 해석에 있어서의 바이어스를 줄이기 위하여 절개부위 및 크기에 일관성을 갖도록 최대한 노력하였다.

Electrical Stimulation

전기 자극기로서는 전류의 강도, 펄스 지속 시간, 그리고 자극 주기를 조절할 수 있는 NBS(Narco BioSystem Stimulator)를 사용하였다. 전기 자극시 사용된 전극은 Ag/AgCl로서 상처 부위를 충분히 덮을 수 있는 conducting pad를 부착하여 사용하였으며 음전극은 상처부위에 부착시키고 다른 한 전극은 등 부위에 부착함으로써 상처 부위에 음(-)의 자극을 제시하였다. 각 그룹에 있어서 자극의 강도는 1mA와 10mA의 두가지로 하고, 다시 각 강도에서 펄스의 지속시간을 10msec와 100msec의 두 단계로 변화하며 자극을 주었다. 이때 모든 조건에서의 자극 주기는 100Hz로 고정하였다.

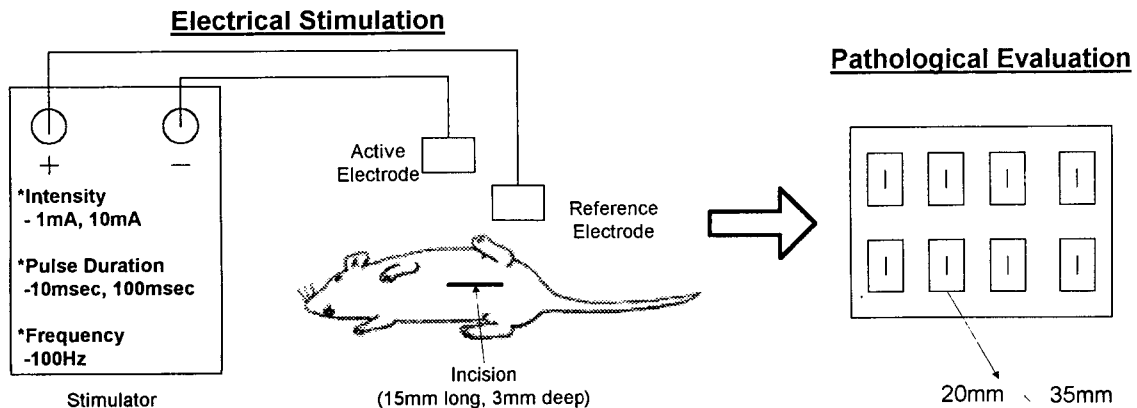


그림 1. 실험을 위한 전체적인 시스템의 Block Diagram.

상처치료에 있어서의 전기자극의 효과에 대한 연구

전기자극은 매일 2회씩 주어졌는데 첫 자극은 봉합후 즉시 30분간 제시되었고, 두 번째 자극의 제시는 첫 자극 4시간 후에 30분간 실시하였다. 그리고, 둘째 날의 첫 자극은 첫날의 첫 자극을 준 24시간 후 30분간과 4시간 후 30분간 실시하였다. 셋째날의 자극도 둘째날과 동일한 시간 간격으로 실시하였다.

Histological Evaluation

실험 그룹들에 대한 전기 자극이 모두 끝난 뒤 2월 동안은 아무런 자극없이 관리하였다. 즉, 실험동물들은 상처를 낸 후 부터 5일간 보존되었으며, 5일째 되는날 조직검사를 위하여 상처 부위를 채취하였다. 채취부위는 상처를 낸 부분의 상하좌우 각 1cm의 여유를 가지는 크기로 상피, 진피 및 피하조직을 포함하도록 하였다. 채취된 조직은 10% 중성 포르말린에 고정하고 파라핀 포매한 뒤 5 μ m의 두께로 박절(剝切)하여 통상의 방법으로 Hematoxylin-Eosin 염색을 실시하였다. 그리고, 광학 현미경을 통하여 절개된 상처의 중간부위(center of wound)에서 나타나는 상처 및 그 주변에 형성되어있는 육아조직(granulation tissue)을 중점적으로 관찰하였다. 즉, 육아조직의 크기, 형성상태, 그리고 그 부위에서 발견되는 염증(inflammation)의 정도에 대한 차이를 그룹별로 비교하여 관찰하였다.

결 과 및 토 의

각 실험조건에 따라서 전기자극을 제시하고 5일째 되는날 상처부위를 채취하여 실시한 조직검사의 결과에 대한 사진이 그림 2에 각 그룹별로 나타나 있다.

그림 2(a)는 상처를 받지 않은 정상적인 조직으로서 표피의 형태와 진피 및 피하조직에서의 세포 성분이 잘 나타나 있으며, 염증 세포나 괴사 현상이 전혀 발견되지 않았다. 그림 2(b)는 피부 절개 후 아무런 자극도 주지 않은 상태에서 많은 양의 육아조직이 형성되어 있음을 볼 수 있었다. 그러나, 화살표 부위에 나타나 있듯이 육아 조직의 형성에 있어서 섬유성피사에 의한 세포의 파괴 및 염증의 정도가 매우 심함이 관찰되었다.

또한, 표피 부분에서 상피조직의 재생이 거의 일어나지 않았음을 알 수 있었다. 그림 2의 (c), (d), (e)는 자극 조건을 변화하면서 실험한 그룹들에 대한 조직검사 결과를 나타내고 있다. 첫째날만 자극을 가한 (c)의 경우에는 진피가 탈락된 부위와 그 자리에 육아조직이 (b)의 경우보다는 잘 형성되어 있음을 볼 수 있었다. 그리고, (d)에서는 육아 조직이 깨끗하게 잘 형성되어 있으며, 조직의 괴사 현상이나 염증 세포는 거의 찾아 볼 수 없었다. 그림 2(e)는 3일간 자극을 가한 경우로서, (d)의 경우에 비하여 큰 차이점은 찾아 볼 수 없으나 육아 조직의 형성상태가 다소 양호하게 나타났음을 알 수 있었다. 즉, 자극의 횟수를 증가할수록 상처의 치유 효과가 높게 나타남을 육아 조직의 형성 상태를 통하여 관찰 할 수 있었다.

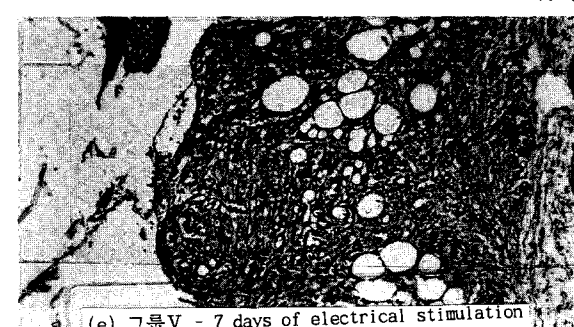
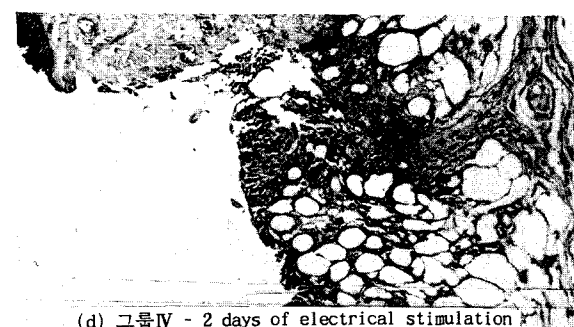
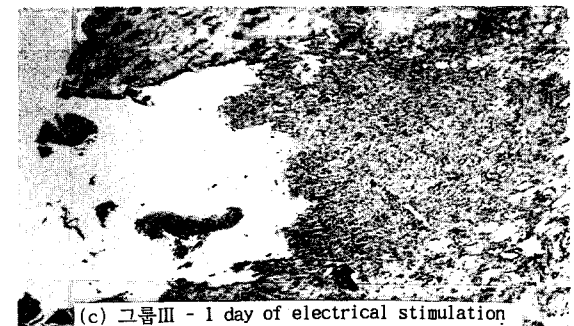
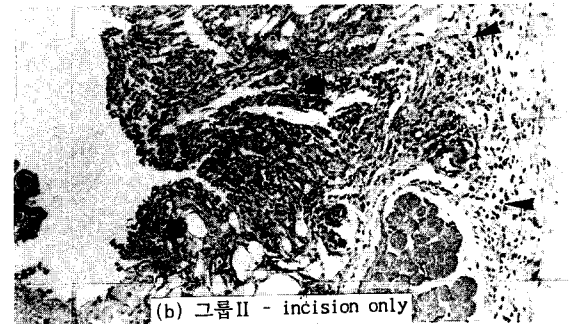
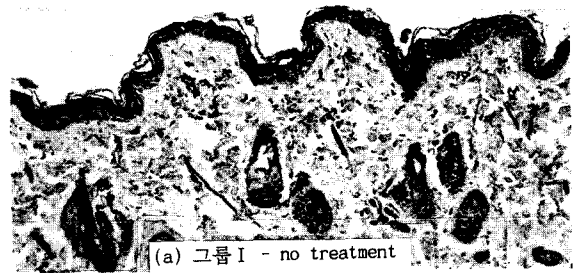


그림 2. 각 실험조건에 대한 조직검사 결과.

- (a)그룹 I (no treatment) (b)그룹 II (incision only)
(c)그룹 III (d)그룹 IV (e)그룹 V

그림 2에 나타난 관찰 내용을 토대로 하여 각 실험조건에 있어서의 검사결과를 점수로 나타냈으며, 이때 각 실험동물에 주어진 점수에 대한 요약이 표 1에 나타나 있다.

표 1. 각 실험조건에 대한 조직검사 소견의 요약

	실험 조건		결 과		
	전류 강도	펄스 폭	육아 조직의 형성		
			염 증	형성량	괴 사
그 룹 I	No Treatment		0	0	0
			0	0	0
그 룹 II	Incision Only		+2	+1	+1
			+2	+2	+1
그 룹 III	1mA	10msec	±	+1	0
		100msec	+1	+1	0
	10mA	10msec	+2	+2	0
		100msec	+2	+2	0
그 룹 IV	1mA	10msec	+1	+3	0
		100msec	±	+1	0
	10mA	10msec	+1	+1	0
		100msec	+1	+1	0
그 룹 V	1mA	10msec	±	0	0
		100msec	+1	±	0
	10mA	10msec	+1	+2	0
		100msec	0	±	0

표에서 볼 수 있듯이, 그룹 I의 상처를 가하지 않은 상태(육아 조직이 형성되지 않음)인 경우를 기준(0)으로 했을 때 다른 네 그룹에 주어진 점수가 차이를 보임을 알 수 있었다. 염증의 정도는 자극을 전혀 주지 않은 그룹 II에 비하여 나머지 세 그룹(그룹 III, IV, V)에서 그 정도가 점차 감소하고 있었다. 그리고, 육아조직의 형성량에 있어서는 각 그룹간에 일관성 있는 변화를 보이지 않고 있으나 섬유성 괴사 현상은 그룹II에서만 나타나고 있었다. 즉, 상처의 발생부위에서는 치료에 관계없이 육아조직이 형성되고 있으나, 전기자극을 가함으로써 염증의 정도를 줄이고 조직의 괴사현상을 제거할 수 있었음을 나타내고 있다. 그러나, 각 그룹내에서의 전류 특성의 변화에 따른 실험결과는 그룹간의 차이에 비하여 큰 변화를 발견할 수 없었다. 이는 실험동물의 수를 늘리고 더욱 세분화된 자극 특성은 설정하여 편차를 줄임으로서 정확한 결론을 내릴 수 있으리라 본다.

결 론

본 실험의 결과를 토대로 전기 자극의 효과를 증명할 수 있었

으며, 또한 자극을 가하는 시간이 상처 치료에 다양한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 인체에 적용시킨다면 수술후 남아있는 봉합에 의한 상처나 다른 형태의 상처를 빠른 시일안에 치료 할 수 있을 것이다. 이와 같은 전기치료를 보다 실용화하기 위해서는 더욱 세분화된 전기 자극의 속성 변화가 치료효과에 미치는 영향에 대한 연구 및 상처부위의 수분과 지방층의 두께등의 차이에 따른 전기치료의 최대 효과범위에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1]린 경옥 "전기 치료학 I," 한문사, pp.77-101, Feb. 1993.
 [2]Paul D. Dayton, Steven J. Palladino, "Electrical Stimulation of Cutaneous Ulcerations," Journal of the American Podiatric Medical Association, pp.318-321, Vol. 79(7), July 1989.
 [3]Darryl S., Robert Kirsner, Willuam H. Eaglstein, "Electrical Stimulation and Wound Healing," Arch Dermatol, Vol. 126, pp.222-225, Feb. 1990.
 [4]Gino Isidoro Mammi, Rodolfo Rocchi, Ruggero Cadossi, Leo Massari and Carlo Traina, "The Electrical Stimulation of Tibial Osteotomies," Clinical Orthopaedics and Related Research, pp.246-253, March 1993.
 [5]Jonathan Black, "Electrical Stimulation of Hard and Soft Tissues in Animal Models," Clinics in Plastic Surgery, Vol. 12, pp.243-257, April 1985.
 [6]Patrick J. Carley and Stanley F. Wainapel, "Electrotherapy for Acceleration of Wound Healing: Low Intensity Direct Current," Arch Phys Med Rehabil, Vol. 66, pp.443-446, July 1985.
 [7]Walter R. Gault and Paul F. Gatens, "Use of Low Intensity Direct Current in Management of Ischemic Skin Ulcers," Physical Therapy, Vol. 56, pp.265-270, March 1976.
 [8]Dennis Assimacopoulos, "Low Intensity Negative Electric Current in the Treatment of Ulcers of the Leg due to Chronic Venous Insufficiency," American Journal of Surgery Vol. 115, pp.683-687, May 1968.
 [9]M. J. Im and J. E. Hoopes, "Effects of Electrical Stimulation on Ischemia/Reperfusion Injury in Rat Skin," Electromagnetics in Biology and Medicine, San Francisco Press, Inc. pp.211-213, 1991.
 [10]Michael J. Im, W. P. Andrew Lee and John E. Hoopes, "Effect of Electrical on Survival of Skin Flaps in Pigs," Physical Therapy, Vol. 70(1), pp.37-40, Jan. 1990.