

ELEKTRİK YANIKLARINDA TERMAL ETKİ VE ADALE PERFÜZYONU*

Mustafa DEMİR, M. Tunaya KALKAN,
Osman ŞENER, Sabbir AHMED,
Haluk SAYMAN, Oğuz ÇETİNKALE,
İlhami USLU

Background and Design.- In this study, the pattern of thermal change in animal's bone and tissue after exposed to an electric shock have been studied. Wistar Albino male rats with body weight in range 300-350 gr were used in the experiment. To apply electric shock to the body of the rat, positive electrode was attached to the front left leg, and negative electrode to the back right leg. At first, the left front and right back legs of 10 rats injecting 74 MBq Tc-99m MIBI were examined, and then scintillation images were performed under normal condition of tissue. In the normal phase, scintillation images of the same organs were taken injecting same amount of radiopharmaceutical after applying an electric shock with 220 volt AC supply, for a duration of 10 seconds with an amount of 100 mA current. Post-shock stages at 1 hr, 24 hr, 48 hr and 72 hours were monitored. 10 rats were studied for each above stage. To measure the thermal change in bones, fluoroptic thermometer was used. The total counts from the burning region (ROI) were measured by gamma camera and the thermal changes of the extremities were obtained from the thermometers attached to the front left leg and to the back right leg both in soft tissue and on the surface of bone.

Results.- It was found that the thermal increases were $3.1 \pm 0.8^\circ\text{C}$ in the front thermometer and $6.2 \pm 1.2^\circ\text{C}$ in the back thermometer. The shock effects exhibited maximum change in the soft tissue within 1 hr. but these effect disappeared rapidly there after. The ratio of counts between front and back leg at different time interval were calculated and was compared to that of normal stage. ie. before giving electric shock. It was found that the prolonged damage of tissue showed significant changes with the probability $p < 0.001$ and $p < 0.0001$ after 48 and 72 hours by using Students t-test.

Conclusion.- In conclusion, it's precise to mention that electrical shock effect exhibits minimum change in tissue within 24 hr. when the medical treatment may affect within this period. The cells tend to exhibit some permanent changes gradually.

Demir M, Kalkan MT, Şener O, Ahmed S, Sayman H, Çetinkale O, Uslu İ. The thermal effect and muscle perfusion of electrical burns. *Cerrahpaşa J Med* 2001; 32: 237-242.

Elektrik yaralanmalarının vücutta meydana getirdiği etkiler genelinde iki grupta toplanır. Bunlar, akımın şok etkisi ve kemiklerden yayılan termal etkidir. Her iki etkinin de tüm biyolojik sistemlerin işleyişinde bozukluklara neden olduğu bilinmektedir. Dale, elektrik akımı etkisiyle hücre membranının hasara uğradığını ve normal iyon değişimi dengesinin bozulduğunu göstermiştir.¹ Elektriksel kökenli yaralanmaların çoğunda damar lezyonları meydana gelmektedir. Damar lezyonları genellikle elektrik yaralanmasından sonra, ikinci günde belirgin olur. Yaralanmadan hemen sonra damarlar parçalanabilir, arterlerde daralma, kan akımında azalma ve arterlerde vazokonstriksiyon görülebilir. Bu olay saatlerce sürebilir veya kısa süre sonra aniden açılarak şiddetli kanamalara yol açabilir. Arterlerdeki bu spazm

* *Anahtar Kelimeler:* Elektrik yanıkları, Yanık görüntülenmesi, Doku nekrozu; *Key Words:* Electrical burns, Burn imaging, Tissue necrosis; *Alındığı Tarih:* 17 Nisan 2001; Doç. Dr. Mustafa Demir, A.S.M. Sabbir Ahmed, Prof. Dr. Haluk Sayman, Prof. Dr. İlhami Uslu: İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı; Prof. Dr. M. Tunaya Kalkan: İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Biofizik Anabilim Dalı; Uzm. Dr. Osman Şener, Prof. Dr. Oğuz Çetinkale: İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Plastik ve Rekonstrüktif Cerrahi Anabilim Dalı; *Yazışma Adresi (Address):* Dr. M. Demir, İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, 34303, Aksaray, İstanbul.
<http://www.ctf.istanbul.edu.tr/dergi/online/2001v32/s4/014a6.htm>

durumu, kan dolaşımının venöz tarafında bir gerilmeye neden olabilir. Bu durumun elektrik akımının şok etkisi ile açıklanabileceği bildirilmiştir.² Elektriksel travma genellikle damarların media tabakasını etkiler. Bu tabakadaki lezyonlar ancak mikroskopla görülebilecek kadar küçük olmakla birlikte, geniş koagülasyon nekrozları şeklinde de olabilir. Büyük arterlerde meydana gelen trombusların akımın ısı etkisi ile dağılabildiği, fakat küçük arterlerde oluşan trombusların sebat ettiği, bu nedenle büyük arterlerin elektrik akımına daha dirençli oldukları belirtilmiştir.³

Deneysel çalışmalarda, arterlerde meydana gelen değişikliklerin elektrik akımının ısı etkisine bağlı olduğunu gösteren bulgular vardır. Burckley, elektrik akımının ısı etkisiyle damar endotelinde kabarcıkların oluştuğunu, bunların daha sonra çaplarının arttığını ve şeffaf küresel cisimcikler şeklinde ayrılarak plazmaya geçip serbestçe hareket ettiklerini göstermiştir.⁴ Elektrik akımı uygulamasından hemen sonra, akımın geçişiyle kemiklerde yükselen ani sıcaklık etkisinden kemik ve eklemlerde lezyonlar oluşabilir. Kemiklerdeki değişikliklere harici etkiler ile oluşabilen mekanik travmaların, adale kontraksiyonlarının, yumuşak doku ve kan damarlarındaki enfeksiyonların da sebep olabileceği bildirilmiştir.⁵

Akımın dokudan geçişi sırasında oluşan yüksek sıcaklık deri yanıklarından başka küçük kan damarlarında tıkanma ve koagülasyon nekrozlarına sebep olmaktadır. Bundan dolayı adalelerin küçük besleyici arter ve dallarında meydana gelen damar tıkanıkları sonucunda doku nekrozları oluşmaktadır.⁶

Elektrik yaralanmalarından sonra vücutta gözlemlenen zararlı etkilerinin en belirgin olanının, küçük damarlardaki hasarlar olduğu yönündeki görüşler yaygındır.⁴ Termal etkilerin ise, kemikten yayılan ısı ile başladığı ve kemik çevresindeki

dokulara hasar verdiği görüşü ağırlık kazanmaktadır.³ Ancak her iki etki mekanizmasının da birbirine göre üstünlükleri halen tartışma konusudur. Bu çalışmada kemikten yayılan sıcaklık miktarının flouroptik termometre problemleriyle direkt olarak ölçülmesi ve 72 saat içerisinde adale perfüzyonunda meydana gelebilecek değişikliklerin deneysel olarak sintigrafik yöntemlerle kantitatif olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

YÖNTEM VE GEREÇLER

Bu çalışma Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Deneysel Araştırma ve Biyofizik Anabilim Dalı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Sintigrafik tetkikler Nükleer Tıp Anabilim Dalında yapılmıştır.

Deneysel protokolü: Çalışmada kullanılan sıçanlar, 300-350 gr ağırlığındaki erkeklerden seçildi. Gruplar; toplam 5 grup, kontrol, elektrik akımı uygulamasından 1, 24, 48 ve 72 saat sonra çalışılan 10'ar adet (toplam 50) sıçandan oluşturuldu. Kontrol grubunu oluşturan 10 hayvanda elektrik akımı uygulanmadı. Hayvanlar periton içine verilen pentobarbital (35 mg/kg) ile uyutuldu.

Elektrik yaralanması: Elektrik yaralanması için elektrotlar bağlanmadan önce yerleri traş edildi ve ultrason jeli ile nemlendirildi. Daha sonra akım uygulandı. Faz elektrodu sol ön bacağı, nötr elektrodu sağ arka bacağı bağlanarak, 220 volt AC ve 10 sn süre ile ~100 mA akım uygulandı.

Sıcaklık değişimi çalışması: Üç flouroptik termometre probundan (Lustron-3100) ikisi klavuz iğneler ile kalın adale dokusu içinden geçirilerek arka bacaklara yumuşak doku içine, diğeri sol arka bacakta kemik yüzeyine tespit edildi. Hayvanlar uyutulduktan sonra 1 saniye ara ile ardışık 10 ayrı sıcaklık ölçümü yapıldı. Elektrik akımı uygulanan sıçanlarda elektrik akımı uygulaması sırasında kaydedilen 10 ayrı sıcaklık değişiminin ortalaması alındı.

Adale perfüzyonu çalışması: Tüm gruplardaki hayvanlara 74 MBq Tc-99m MIBI IV verildikten sonra, radyofarmasötik adalede perfüze olması için 20 dakika beklendi. Bu sü-

re sonunda hayvanlar uyutularak sakrifiye edildi. Elektrik yanığı oluşturulan tüm hayvanlarda (40 adet) faz ve nötr elektrodlarının bağlandığı sol ön ve sağ arka bacaklar ampute edildikten sonra birarada Siemens orbiter 7500 digitract gama kamera ile görüntüledi. Görüntüler üzerinden ilgi alanları çizilerek piksel başına ortalama sayımlar kaydedildi. Bu verilerden gram başına toplam sayım hesaplandı. Ön/arka bacak tutulum oranına göre kantitatif veriler çıkarıldı. Bu sayımlardan ön/arka bacak radyofarmasötik tutulum oranları hesaplandı.

İstatistiksel değerlendirme: Kontrol grubuna ait tutulum oranları, diğer gruplarla Student's t-testine göre karşılaştırılarak aralarında anlamlı fark olup olmadıkları araştırıldı. $p < 0.5$ değeri anlamlı olarak kabul edildi.

BULGULAR

Sıcaklık değişimi bulguları: İlk anda artan sıcaklık artışının daha sonra ilk 1 saat içinde normale döndüğü görüldü. Elektrik akımı uygulanan ilk iki gruptaki 20 sıçanda elektrik akımı uygulaması sırasında kaydedilen 10 ayrı sıcaklık değişiminin ortalaması alındı. Bu ölçümlerin kontrol grubu ve elektrik yanığı oluşturulan 20 hayvandaki ortalama değerleri Tablo I'de verilmiştir. Yanıktan sonra ön bacakta termometrede 3.1 ± 0.8 °C, arka bacakta termometrede 6.02 ± 1.2 °C sıcaklık artışı saptandı. Kontrol ile yanıklı gruba ait hayvanların sol ön bacakları arasında $p < 0.001$, kontrol ile yanıklı grubun sağ arka bacakları arasında $p < 0.0001$ anlamlı farklar elde edildi. Kontrol grubu ile yanıklı grubun sol arka bacakları ara-

Tablo I. Sıcaklık Değişimi Sonuçları

	Kontrol grubu (n=10)	Yanık oluşturulan grup (n=20)
Sol ön bacak (°C)	22.3 ± 2.1	25.4 ± 3.08
Sağ arka bacak (°C)	22.1 ± 3.2	28.3 ± 4.3
Sol arka bacak (°C)	22.7 ± 1.8	22.5 ± 3.2

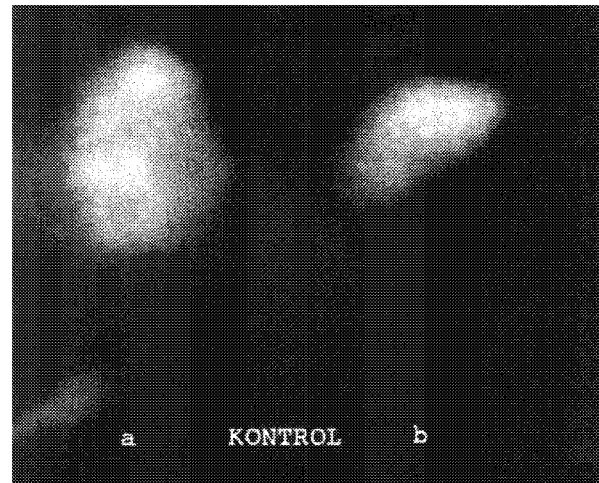
Tablo II. Ön/arka Bacak Tutulum Oranı Ortalamaları ve Bu Oranların Kontrol Grubuyla t testi Kullanılarak Elde Edilen p Değerleri

	Kontrol	1.saat	24.Saat	48.saat	72.saat
	$1,33 \pm 0,1$	$2,47 \pm 0,4$	$1,87 \pm 0,5$	$2,16 \pm 0,5$	$3,45 \pm 0,6$
p:	<0,001	<0,01	<0,001	<0,0001	

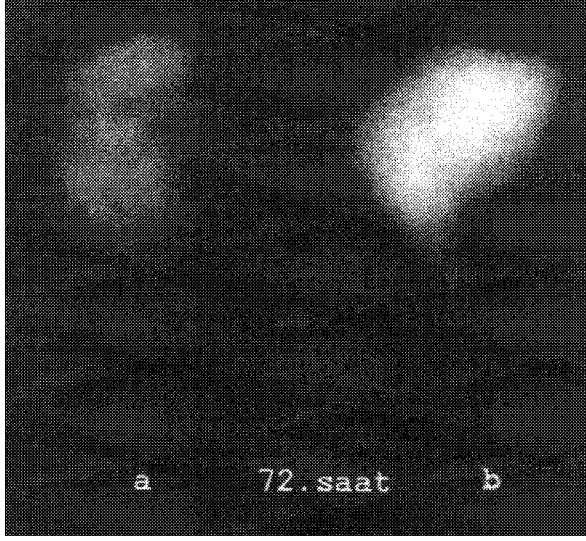
sında ise anlamlı fark bulunamadı ($p > 0.5$).

Elektrik akımı bulguları: Elektrik akımı uygulanan tüm sıçanlarda elektrodların bağlı olduğu bacaklardan ampermetre ile ölçülen akım şiddeti $100 \pm 3,6$ A olarak bulundu.

Adale perfüzyonu bulguları: Tüm gruplardaki hayvanlara 74 MBq Tc-99m MIBI IV verildikten sonra, ön/arka bacak radyofarmasötik tutulum oranları hesaplandı. Şekil 1'de kontrol grubuna ait bir hayvanın gama kamerada alınan arka (a) ve ön (b) bacak görüntüleri verilmiştir. Şekil 2'de ön/arka bacak tutulum oranlarının en fazla olduğu 72. saat çalışmasından bir hayvana ait görüntü verilmiştir. 48. saat çalışmasında ampute edilen 10 arka bacağın 4'ünde (%40), 72 saatte ampute edilen 10 arka bacağın 6'sında (%)



Şekil 1. Kontrol Grubuna Ait Bir Hayvanda Ön/Arka Bacak Tutulum Görüntüleri. Tc-99m -MIBI Verildikten Sonra Ampute Edilen a) Arka , b) Ön Bacağın Gama Kamerada Alınmış Görüntüleri. Tutulum Fazlalığı Resimde Parlak Tonda İzlenmektedir.



Sekil 2. Elektrik Yanığından 72 Saat Sonra Tc-99m MIBI Verildikten Sonra Ampute Edilen a) Arka, b) Ön Bacak Görüntüleri. Radyoaktif Maddenin Ön Bacaktaki Tutulumu Daha Fazla Olarak Parlak Tonda (b) İzlenmektedir.

60) gözle görülebilen doku nekrozları izlendi. Ön/arka bacak tutulum oranları ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında elde edilen Student's t-testine ait p değerleri Tablo II'de verilmiştir. Bu tabloda ön/arka bacak tutulum oranlarının 24 saatten sonra artmaya başladığı izlenmektedir.

TARTIŞMA

Elektrik kazalarının bir çoğu işçilerin elleriyle yüksek gerilim hatlarını tutması sonucunda meydana gelmektedir. Deney modelimizi bu düşünceden hareketle geliştirerek faz elektrodunu ön bacağına, nötr elektrodunu arka bacağına bağladık. Elektrik akımının en kısa ve kolay yoldan ilerlediği bilinmektedir. Bu nedenle elektrodların bağlı olmadığı diğer bacaklarda elektrik akımının iletilemeyeceği ve buna bağlı olarak hasar oluşmayacağı düşüncesiyle sol arka ve sağ ön bacakları görüntülemedik. Kontrol grubunda sıcaklık ölçümlerini yaptığımız hayvanların elektrod bağlanmayan sol arka bacaklarındaki sıcaklık ölçümlerinin normalin dışına çıkmayı bu düşüncemizi destekleyen sonuçlarımızdandır.

Fluoroptik termometre problemleri ile yapılan sıcaklık ölçümlere göre, elektrik akımının vücuda girdiği ön bacakta 3 ± 0.8 °C'lik, akımın çıktığı arka bacakta $6 \pm 1,2$ °C'lik sıcaklık artışı meydana gelmiştir. Bu sıcaklık artışının arterlerde oluşturduğu etkiye bağlı olarak adale perfüzyonu, normallere göre 1. saatte ($p < 0,001$) ileri derece anlamlı artmıştır. Solem ve ark. göre elektrik akımının ani etkilerine bağlı olarak arterlerdeki vazokonstriksiyon ve damar endotelinde ani olarak meydana gelen baloncuklar adale perfüzyonunu azaltmaktadır.² Damarlarda meydana gelen ve ilk 1 saat içinde etkisini gösteren şok etkileri büyük ölçüde kemik yüzeyinden yayılan ani sıcaklık artışına bağlıdır. Dale, elektrik akımından sonra ani olarak ortaya çıkan damar anomalilerinin kemik yüzeyinden yayılan ısı etkisiyle oluştuğunu bildirmiştir.¹ Raphael ve ark. ise, elektrik akımının şok etkisi ile hücre membranında çok anlamlı iyon değişiklikleri olduğunu ve membran hasarının bu değişikliklerle açıklanabileceğini bildirmiştir.⁷

Yanıktan 24 saat sonra gama kamera verilerinden elde edilen sonuçlara göre, ön/arka bacak tutulum oranı kontrol grubuna en yakın sonuçları vermiştir. 1. saatte yükselen ön/arka bacak tutulum sonuçları ile kıyaslandığında, adale perfüzyonu 24. saatte sanki düzelme eğilimine girmiştir. Bu durum damar endotelinden koparak kan plazmasına dağılan baloncukların damar yolunu o süreçte açmasına, arterler üzerindeki vazokonstriksiyonun nispeten azalmasına bağlı olarak adalenin daha fazla kanlanması ile açıklanabilir. Bucky ve ark. ilk 24 saat içinde küçük damarlarda nötrofil ve trombosit birikiminin fazla olduğunu bildirmişlerdir.⁸ Bu literatür verilerine göre, ilk 1 saat içinde adale içi kan akımının azalmış olacağını bulgularımızla ilişkilendirerek söyleyebiliriz.

Elektrik yanıklarından sonra Tc-99m-MIBI'nin adale perfüzyonunun azaldığı

Sayman⁹ ve ark. ile Hunt¹⁰ ve ark. tarafından gösterilmiş, daha sonra tarak modeli ile oluşturulan yanıklarda da aynı radyoaktif ajanın adale perfüzyonunu başarıyla gösterdiği belirtilmiştir.¹¹ Çetinkale ve ark. tarak modeli yanık çalışmasında yanıktan 48 saat sonra doku nekrozlarının oluştuğuna dikkat çekmişlerdir.¹² Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz verilere göre, yanıktan 48 ve 72 saat sonra dale perfüzyonu normal grup ile karşılaştırıldığında ileri derecede azalmış olarak bulunmuştur ($p < 0,001$ ve $p < 0,0001$). Adale perfüzyonunun yanıktan 3 gün sonra ileri derecede azalmış olması özellikle arka bacakta lokal nekrotik alanların oluşmasına sebep olmuştur.

Sonuç olarak, elektrik yaralanmalarından 1 ile 24 saat sonra adale perfüzyonunda minimum kayıp olduğu, ilerleyen zamanlarda ise, adale perfüzyonundaki kaybın arttığı, yaralanmadan 48 saat sonra doku nekrozlarının oluşmaya başladığı belirlendi. Tıbbi müdahalenin zamanlanmasına doku nekrozları oluşmadan başlanmasının önemi bu çalışma ile bir kere daha ortaya konulmuş oldu. Elektrik yaralanmalarından sonraki ilk 1 saat içinde ortaya çıkan ani perfüzyon kaybı üzerinde kemiklerden yayılan sıcaklığın önemli katkısı olabilir. Günümüzde halen tartışmalı olan kemikten yayılan sıcaklık miktarı ile ilgili çalışmalara bu araştırmanın katkı sağlayacağını ümit ediyoruz.

ÖZET

Bu çalışmada sıçanlara elektrik şoku uygulandıktan sonra kemiklerde sıcaklık ve adalede perfüzyon değişiklikleri incelendi. Deneyde ağırlıkları 300-350 gram olan Wistar Albino erkek sıçanlar kullanıldı. İlk olarak kontrol grubuna alınan 10 adet sıçana 74 MBq Tc-99m MIBI IV uygulandı, sol ön ve sağ arka bacakları ampute ederek normal dokunun sintigrafik görüntüleri alındı. Sıçanlara elektrik şoku uygulamak için faz

elektrodunu sol ön bacağa, nötr elektrodunu sağ arka bacağa bağlandı. Görüntülerin sintigrafik yorumunu, yanık bölgelerden toplanan radyoaktivite sayımlarından yapıldı. Deney grubundaki hayvanlara 10 sn süre ile 220 V AC ve 100 mA elektrik akımı uygulandıktan sonra kontrol grubundaki gibi sintigrafik görüntüler alındı. Sintigrafik görüntüleri elektrik şoku uygulamasından 1 saat, 24 saat, 48 saat ve 72 saat sonra alındı. Her bir evrede 10 hayvan olmak üzere toplam 50 sıçan üzerinde çalışıldı. Kemik üzerindeki sıcaklık değişikliklerini ölçmek için flouoptik termometre problemleri kullanıldı. Sıcaklık değişikliklerini ise, elektrik şoku uygulaması sırasında sol ön ve sağ arka bacaklara fikse edilen termometre problemlerinden kaydedildi.

Yanık sonrası ilk saatte ön bacadaki termometrede 3.1 ± 0.8 °C, arka bacadaki termometrede 6.02 ± 1.2 °C sıcaklık artışı saptandı. Sintigrafik değerlendirmelerde elektrik şoku uygulamasından 24 saat sonra adale perfüzyonunda minimum azalma olduğu, ilerleyen zamanlarda adale perfüzyonundaki azalmanın arttığı tespit edildi. Yukarıda belirtilen farklı zamanlardaki sintigrafik analiz sonuçları ile ön/arka bacak radyofarmasötik tutulum oranları hesaplanarak, bu bulgular kontrol grubu verileriyle students t-testi kullanılarak kıyaslandı. Elektrik şoku uygulamasından 48 ve 72 saat sonraki değerlendirmelerde kontrol grubuna göre, $p < 0.001$ ve $p < 0.0001$ düzeyinde anlamlı fark saptandı.

Sonuç olarak, elektrik şokuna maruz kalanlarda akımın çıktığı bacakta daha çok olmak üzere adale perfüzyonunda azalma olduğu, perfüzyondaki azalmanın şoktan 48 saat sonra şiddetlenerek doku nekrozlarına yol açtığı belirlendi.

KAYNAKLAR

1. Dale HR. Electrical accidents, a discussion with

- illustrative cases, *Br J Plast Surg* 1995; 7: 47-48.
2. Solem L, Fischer PR, Strate GR. The natural history of electrical injury. *J Trauma* 1977; 17: 24-32.
 3. Hunt JL. Vascular lesions in acute electric injuries. *J Trauma* 1974; 14: 461-473.
 4. Buckley KL. Tissue injury by high frequency electric current: Observations with the Sandison – Clark Ear – Chamber 1. Injury to small blood vessel, *Aug J Exp Biol* 1980; 38: 195-210.
 5. Somogyi E, Tedeschi GC. Injury by electrical force *Forensic medicine*. Ed.: tedeschi CG, Eckerd LG. Saunders Comp. Philadelphia, 1997; 657-658.
 6. Rabson MC, Murphy RC, Haggars JP. A new explanation for the progressive tissue loss in electrical injuries. *Plast Reconstr Surg* 1983; 3: 431-437.
 7. Lee RC, Canaday DJ, Hammer SM. Transient and stable ionic permeabilization of isolated skeletal muscle cells after electrical shock. *J Burn Care Rehabil* 1993; 14: 528-540.
 8. Bucky LP, Vedder NB, Hong HZ et al. Reduction of burn injury by inhibiting CD mediated leukocyte adherence in rabbits. *Plast Reconstr Surg* 1994; 93: 1473-1480.
 9. Sayman HB, Urgancıoğlu İ, Uslu İ. Prediction of muscle viability after electrical burn necrosis. *Clin Nucl Med* 1992; 17: 395-396.
 10. Hunt JL, Sato RM, Baxter CR. Acute electrical burns. *Arch Surg* 1980; 115: 434-438.
 11. Sayman HB, Demir M, Çetinkale O, Ayan F, Önsel Ç. A method to evaluate microcirculatory vascular patency of full thickness burn in an animal model. *Panminerva Medica* 1999; 41: 5-9.
 12. Çetinkale O, Demir M, Sayman HB, Ayan F, Önsel Ç. Effect of allopurinol, ibuprofen and cyclosporin A on local microcirculatory disturbances due to burn injuries. *Burns* 1997; 23: 43-49.