



Median, ulnar ve radial sinirin inervasyon paternlerinin belirlenmesi

Tüzün FIRAT, Çiğdem AYHAN, Nuray KIRDI, A Gürsel LEBLEBİCİOĞLU

[Firat T, Ayhan Ç, Kırdı N, Leblebicioğlu AG. Median, ulnar ve radial sinirin inervasyon paternlerinin belirlenmesi. Fizyoter Rehabil. 2011;22(1):11-16. Determination of median, ulnar, and radial nerve innervation patterns.]

Research Article

T Firat, Ç Ayhan

Hacettepe University, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy and Rehabilitation, 06100, Sıhhiye, Ankara, Türkiye PT, PhD

N Kırdı

Hacettepe University, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy and Rehabilitation, 06100, Sıhhiye, Ankara, Türkiye PT, PhD, Prof

AG Leblebicioğlu

Hacettepe University, Faculty of Medicine, Department of Orthopedics and Traumatology, 06100, Sıhhiye, Ankara, Türkiye MD, Prof

Address correspondence to:

Dr. Fzt. Tüzün Firat
Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, 06100 Samanpazarı, Ankara, Türkiye
E-mail: tuzun@hacettepe.edu.tr

Amaç: Periferik sinirler histolojik, morfolojik ve fizyolojik yönden farklı özellikler gösterirler. Bu çalışmada, median, ulnar ve radial sinirin motor, duyu ve otonomik fonksiyonları arasındaki farkların belirlenmesi amaçlandı. **Gereç ve yöntem:** Çalışmaya önkol 1/3 distal seviyesinde aksonotmezis tip lezyonu olan, 11 median, 9 ulnar ve 7 radial sinir yaralanmalı 27 hasta alındı. Hastaların sağlam ve lezyon tarafına otonomik (transepidermal su kaybı, deri esnekliği, temperatürü ve nemi), duyu (Semmes Weinstein monofilament testi, iki nokta ayırımı, ağrı eşiği ve toleransı) ve motor (reobaz, kronaksi ve faradik test) ölçümleri yapıldı. Otonomik, duyu ve motor değerlendirmeler farklı bir fizyoterapist tarafından uygulandı. **Sonuçlar:** Sağlam tarafta radial sinirin transepidermal su kaybı ve ağrı eşiğinde azalma, reobaz ve faradik test değerlerinde artış bulundu ($p<0.05$). Lezyon tarafında radial sinirin esneklik ve transepidermal su kaybı değerlerinde azalma, reobaz değerlerinde artış bulundu ($p<0.05$). **Tartışma:** Radial sinir motor, duyu ve otonomik fonksiyon yönünden median ve ulnar sinire göre farklılık göstermektedir. Radial sinir lezyonlarında iyileşme paterni, median ve ulnar sinire göre farklılık gösterebilir.

Anahtar kelimeler: Median sinir, Radial sinir, Ulnar sinir, Elektrik stimülasyonu.

Determination of median, ulnar, and radial nerve innervation patterns

Purpose: Peripheral nerves show differences in histological, morphological and physiological characteristics. The aim of this study was to determine the motor, sensory and autonomic differences of median, ulnar and radial nerves clinically. **Material and method:** Twenty-seven patients with 11 median, nine ulnar and seven radial nerve axonotmesis type lesion located at 1/3 distal forearm participated in the study. Autonomic (transepidermal water loss, skin elasticity, temperature, and moisture), sensory (Semmes Weinstein monofilament test, two-point discrimination, pain threshold, and tolerance) and motor (rheobase, chronaxy, and faradic test) assessments were applied to affected and unaffected extremities. Autonomic, sensory and motor assessments were performed by different physiotherapists. **Results:** In the unaffected side, a decreased transepidermal water loss and pain threshold and an increased rheobase and faradic test values in radial nerve were found ($p<0.05$). On the lesion side, decreased skin elasticity and transepidermal water loss and increased rheobase were found in radial nerve ($p<0.05$). **Conclusion:** Radial nerve differs from median and ulnar nerves in terms of motor, sensory and autonomic functions. Recovery pattern of radial nerve may differ from median and ulnar nerve.

Key words: Median nerve, Radial nerve, Ulnar nerve, Electric stimulation.

Periferik sinirler, farklı inervasyon paternleri ve farklı ileti becerilerine sahiptirler. Akson-miyelin oranları ve konnektif doku içerikleri nedeni ile farklı histolojik ve morfolojik özellikler gösterirler.¹ Periferik sinir içeriğinin farklı histolojik ve morfolojik yapısı konusunda yapılan birçok çalışmada, birbirinden farklı sonuçlar elde edilmiştir.² Sunderland median, ulnar, radial ve siyatik sinirlerin fasiküler kas dağılımlarını incelediği çalışmasında, radial sinirin enine kesit alanını en fazla olduğunu göstermiştir.³ Marx, radial sinirin yüzeysel dalının enine kesit alanını incelediğinde konnektif doku oranının yaklaşık üç katı kadar olduğunu belirlemiştir.⁴ Antekübital fossada ise, bu oranın daha az olduğu saptanmıştır.⁵ Konnektif doku oranlarındaki farklılıklar, sinirlerin sahip olduğu miyelinli akson sayılarında da görülmektedir. Sunderland, üst ekstremite sinirlerinde akson sayılarını incelediği çalışmasında, muskulokuten ve aksillar sinir farklılık gösterirken, median, ulnar ve radial sinirin aksillar ve muskulokuten sinirden çok fazla sayıda miyelinli sinir lifi içerdiğini belirtmiştir.¹ Brakiyal plexus temelli bir yaklaşımda ise median sinirin % 22, radial sinirin % 21 ve ulnar sinirin % 14 oranında nöral destek aldığı görülmektedir. Sinirlerin sempatik içeriği incelendiğinde median ve ulnar sinire destek veren C8-T1 köklerinin % 40-75, radial siniri oluşturan C6-7 köklerinin % 23-52 oranında sempatik lif aldığı görülmektedir.⁶

Periferik sinirlerin histolojik ve morfolojik yapılarındaki birçok farklı özelliğe karşın, bu farklılıkların fonksiyona olan etkisi bilinmemektedir. Periferik sinir lezyonlarında rejenerasyon, yaralanmanın derecesi, hastanın yaşı ve cerrahi geçirmişse cerrahi teknik ile ilişkilidir.⁷ Bu genel faktörlerin, iyileşmeye olan etkileri bilinmemektedir. Buna karşın, aralarında morfolojik ve histolojik yönden birçok farklılık bulunan periferik sinirlerin, farklı fonksiyonel özelliklere sahip olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde periferik sinirlerin inervasyon özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamızın amacı, yapısal özellikler bakımından farklılık gösteren median, ulnar ve radial sinirin motor, duyu ve otonomik fonksiyonlarını karşılaştırmak ve inervasyon

paternlerini belirlemektir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmaya, önkol 1/3 distal seviyesinde aksonotmezis tip sinir lezyonu olan 11 median, dokuz ulnar ve yedi radial sinir yaralanmalı 27 yetişkin birey alındı (17 erkek, 10 kadın). Periferik ve/veya diyabetik nöropati, refleks sempatik distrofi gibi kronik ağrı sendromu olan bireyler ve hiperhidrozisi olan olgular çalışmaya alınmadı. Çalışmaya alınan bireylerin özellikleri Tablo 1'de verildi. Tüm olgular çalışmanın amaç ve içeriği konusunda bilgilendirildi ve yazılı onamları alındı.

Duyu, motor ve otonomik değerlendirmeleri, diğer ölçümün sonucunu bilmeyen, farklı araştırmacılar gerçekleştirdi. Ölçümler, deride ölçüme bağlı reaksiyon oluşturmamak amacıyla, otonomik, duyu ve motor sırası ile yapıldı. Etkilenmiş ve sağlam taraflardan bir kez ölçüm alındı. Ölçümün yapıldığı tarih kaydedildi ve yaralanmadan sonra geçen sürenin hesaplanmasında kullanıldı.

Duyu ölçümleri, median sinir için 2. parmağın metakarpofalangeal eklem palmar yüzünden, ulnar sinir için 5. parmağın metakarpofalangeal eklem palmar yüzünden, radial sinir için ise 1. ve 2. metakarpofalangeal eklem dorsal *web* aralığındaki saçsız deriden alındı. Duyu değerlendirmesinde, Semmes Weinstein monofilament testi, iki nokta ayrımı testi, elektrodiagnostik ağrı eşik ve toleransı ölçümü kullanıldı.^{8,9} Semmes Weinstein testi için beş parçalı monofilament kiti (North Coast Medical, ABD) ve iki nokta ayrımı için estezyometre (North Coast Medical, ABD) kullanıldı. Ağrı eşiği ve toleransı ölçümü için, 166 Hz frekansta 1 msn uyarı 5 ms dinlenme süresine sahip kare dalga galvanik akım (Enraf-Nonius Myomed 432, Hollanda) kullanıldı. Akımın ilk hissedildiği nokta ağrı eşiği, tolere edilemediği nokta ise, ağrı toleransı değeri olarak alındı.¹⁰

Motor değerlendirmeler için, median sinir için M. opponens pollicis, ulnar sinir için M. abductor digiti minimi, radial sinir için M. extensor pollicis longus kaslarının, motor noktasından, reobaz ve kronaksi ölçümü ve faradik test (Enraf-Nonius Myomed 432, Hollanda) yapıldı.

Otonomik testlerden cilt esnekliği Cutometer SEM 575 cihazı ile (Courage+Khazaka, Almanya), transepidermal su kaybı (TESK), Tewameter TM 210 cihazı ile (Courage+Khazaka, Almanya), cilt sıcaklığı ve nemi ise Corneometer CM 825 cihazı (Courage+Khazaka, Almanya) ile ölçüldü. Ölçüm noktaları olarak, duyu testi ölçümü yapılan noktalar alındı. Otonomik testler 20°C oda sıcaklığı ve % 20-40 nem oranında gerçekleştirildi.¹¹

İstatistiksel analiz:

İstatistiksel analiz için SPSS for Windows 15.0 programı kullanıldı. Veriler ortalama±standart sapma olarak ifade edildi. Skewness, Kurtosis, histogram, Detrended Plot analizi ve Kolmogorov-Smirnov testleri sonucu veri dağılımının parametrik olmadığı belirlendi. Buna göre, periferik sinire göre gruplar arası farkların karşılaştırılması için Kruskal-Wallis tek yönlü varyans analizi kullanıldı. Anlamli fark çıkan değerlendirme parametrelerinin *post hoc* analizi için ise, Mann-Whitney U testi kullanıldı. Her üç sinirde lezyon ve sağlam taraf değerlerini karşılaştırmak için Wilcoxon Eşleştirilmiş İki Örnek Testi kullanıldı. Yanılma olasılığı $p < 0.05$ kabul edildi.

SONUÇLAR

Sağlam tarafta, median, ulnar ve radial sinirin motor, duyu ve otonomik özellikleri değerlendirildiğinde, radial sinirin; TESK, ağrı eşiği reobaz ve faradik test değerlerinde fark bulundu ($p < 0.05$). Radial sinir, median sinir ve ulnar sinire göre daha düşük TESK ve ağrı eşiğine; daha yüksek reobaz ve faradik test değerine sahipti ($p < 0.05$) (Tablo 1). Median sinir ve ulnar sinirin değerleri birbirine benzerdi ($p > 0.05$).

Lezyon tarafı değerlendirildiğinde, radial sinirin esneklik, TESK ve reobaz değerlerinde fark bulundu ($p < 0.05$). Radial sinir, median sinir ve ulnar sinire göre daha düşük esneklik ve TESK değeri ve daha yüksek reobaz değeri gösterdi ($p < 0.05$) (Tablo 2). Sağlam tarafa benzer şekilde, lezyon tarafındaki median ve ulnar sinirlerin değerleri arasında anlamlı bir farklılık saptanmadı ($p > 0.05$).

Her bir sinirin lezyon ve sağlam taraf değerleri birbiri ile karşılaştırıldığında, median, ulnar ve radial sinirlerin hepsinde, lezyon tarafında ölçülen nem değerleri, sağlam taraf nem değerlerinden anlamlı olarak daha düşüktü ($p < 0.05$). Lezyon tarafında her üç sinir Semmes Weinstein ve iki nokta ayırımı testi değerleri anlamlı olarak yüksek; kronaksi süreleri ise anlamlı olarak uzamış bulundu ($p < 0.05$). Median ve ulnar sinir lezyon taraf TESK değerleri sağlam tarafa göre anlamlı olarak daha düşük; ağrı eşiği değerleri ise anlamlı olarak daha yüksekti ($p < 0.05$). Radial sinirde, sağlam ve lezyon taraf TESK ve ağrı eşiği eşik değerleri ise birbirine benzerdi ($p > 0.05$).

TARTIŞMA

Çalışmamız radial sinirin, periferik sinir lezyonunda farklı fonksiyonel davranışı olduğunu gösterdi. Radial sinirin sağlam taraf ve lezyon tarafında özellikle TESK ve reobaz değerlerindeki anlamlı fark, radial sinirin otonomik ve motor parametrelerde median ve ulnar sinire göre farklılık gösterdiğini işaret etmektedir. Her iki tarafta radial sinir TESK değerinin median ve ulnar sinire göre düşük çıkması, radial sinir dermatomunun su içeriğinin belirgin olarak az olduğunu göstermektedir. Sağlam ve lezyon taraf arasında radial sinirde dört; median ve ulnar sinir arasında altı parametrede fark bulunması, radial sinirin inervasyon özelliği yönünden farklı olduğunu ifade etmektedir.

Literatürde mevcut çalışmalar genellikle birbirinden farklı fonksiyonların değerlendirilmesi yerine sinirlerin anatomik, histolojik ve morfolojik özelliklerine odaklanmaktadır.⁵ Bu özelliklerin klinik tablo ve periferik sinir lezyonu seyri ile ilişkisi bilinmemektedir. Çalışmamızda, median, ulnar ve radial sinirleri fonksiyonel açıdan değerlendirdik ve karşılaştırdık. Çalışmamızın sonucunda radial sinirin, median ve ulnar sinire göre sağlıklı ve lezyon tarafta farklı fonksiyonel özelliği olduğunu gördük.

Literatürde, periferik sinirlerin özelliklerinin araştırıldığı ve standart veriler oluşturmak için yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır.^{2,5,12} Cahkravathy ve arkadaşları, radial sinirin sempatik

Tablo 1. Bireylerin yaşları, yaralanma süreleri, sağlam tarafta median, ulnar ve radial sinirin duyu, motor ve otonomik özellikleri.

	Median (N=11)	Ulnar (N=9)	Radial (N=7)	p
	X±SD	X±SD	X±SD	
Yaş (yıl)	34.00±13.18	31.11±12.88	38.57±12.03	0.49
Yaralanma süresi (yıl)	26.04±16.88	17.38±15.23	12.85±16.06	0.07
Cinsiyet (Kadın/Erkek)	5/6	3/6	2/5	
Otonomik				
Esneklik (mm)	15.30±12.24	10.91±8.53	12.16±4.14	0.62
TESK (gr/s/m ²)	56.70±15.89	51.69±15.03	17.81±7.10	0.001*
Temperatür (°C)	29.05±0.95	29.42±1.08	28.48±1.17	0.48
Nem (RB)	49.56±20.70	41.01±17.06	36.38±7.32	0.33
Duyu				
Ağrı Eşiği (mA)	1.81±0.53	1.52±0.42	1.07±0.35	0.016*
Ağrı Toleransı (mA)	7.68±2.55	9.88±5.71	5.89±3.33	0.29
SW (gr/mm ²)	2.18±0.75	1.66±0.70	1.71±0.48	0.20
İki Nokta Ayrımı (mm)	0.81±0.34	0.67±0.34	0.75±0.22	0.53
Motor				
Reobaz (mA)	2.32±0.83	2.79±1.53	4.94±1.03	0.003*
Kronaksi (msn)	0.42±0.24	0.35±0.18	0.33±0.13	0.86
Faradik Test (mA)	3.41±1.66	2.98±1.04	6.33±1.04	0.002*

*p<0.05. Kruskal-Wallis Tek Yönlü Varyans Analizi. TESK: Transepidermal su kaybı, SW: Semmes-Weinstein testi.

Tablo 2. Lezyonlu tarafta median, ulnar ve radial sinirin duyu, motor ve otonomik özellikleri.

	Median (N=11)	Ulnar (N=9)	Radial (N=7)	p
	X±SD	X±SD	X±SD	
Otonomik				
Esneklik (mm)	20.66±7.29	21.60±5.27	14.28±2.41	0.021*
TESK (gr/s/m ²)	37.62±16.16	35.45±13.87	13.78±6.95	0.003*
Temperatür (°C)	29.78±0.77	29.90±0.68	28.97±1.16	0.20
Nem (RB)	38.61±18.71	30.42±15.71	29.41±9.48	0.39
Duyu				
Ağrı Eşiği (mA)	2.77±1.35	3.04±1.96	2.17±1.56	0.44
Ağrı Toleransı (mA)	17.50±21.50	21.36±23.65	16.52±25.64	0.28
SW (gr/mm ²)	3.00±0.77	3.22±0.83	3.14±1.06	0.74
İki Nokta Ayrımı (mm)	1.16±0.35	1.15±0.29	1.30±0.24	0.55
Motor				
Reobaz (mA)	2.76±0.96	3.56±1.47	7.84±4.47	0.006*
Kronaksi (msn)	8.81±12.75	11.62±14.95	1.99±3.53	0.25
Faradik Test (mA)	15.42±17.28	21.01±23.67	10.55±5.61	0.88

*p<0.05. Kruskal-Wallis Tek Yönlü Varyans Analizi. TESK: Transepidermal su kaybı, SW: Semmes-Weinstein testi.

lif oranını araştırdığı kadavra çalışmasında radial siniri immünohistokimyasal yöntemle incelemiştir. Proksimalden distale doğru ilerledikçe radial sinirin sempatik lif oranının azaldığını belirtmiştir.¹² Bir başka çalışmada ise, antekübital fossa düzeyinde radial sinirin mikroanatomik ve immünohistokimyasal analizi yapılmış; yaş arttıkça radial sinirdeki konnektif doku oranının arttığı gösterilmiştir.⁵ Stewart, periferik sinir yaralanmasının klinik tablosunun fasiküler yerleşime göre değişebileceğini, sarmal yapıdaki lif diziliminin lezyon seviyesi altında daha fazla hasara yol açacağını bildirmiştir.² Bu çalışmaların hepsinde histolojik ve morfometrik farklılıklar belirtilmiş, fonksiyonel sonuçlar araştırılmamıştır.

Histolojik ve morfometrik çalışmaların yanı sıra elektrofizyolojik değerlendirme ve karşılaştırmalar da yapılmıştır. Benatar ve arkadaşları, median, ulnar ve radial sinirin sinir iletim hızlarını değerlendirmiş; yaş ve cinsiyetin standart verileri değiştireceğini bildirmiştir. Periferik sinirin iletim fonksiyonlarını sinir iletim hızı, latens ve F dalgası ile değerlendirmiştir. Median, ulnar ve radial sinirlerin duyu ileti hızları ve amplitüdüleri arasında fark bulunmamıştır. Benzer şekilde median ve ulnar sinirlerin motor ileti hızları da benzerlik göstermiştir.¹³ Huang ve arkadaşları, çalışmasında median ve ulnar sinirin latens, amplitüd ve ileti hızlarını değerlendirmiş; iki sinirin fonksiyonlarının benzer olduğunu, cinsiyet ve yaşın ileti özelliklerini etkilediğini belirtmiştir.¹⁴

Çalışmamızda periferik sinirlerin fonksiyonları motor, duyu ve otonomik ölçümler ile değerlendirilmiştir. Radial sinirin sağlıklı tarafta daha düşük TESK değeri göstermesi, içerdiği sempatik lif sayısının median ve ulnar sinire göre daha az olması ile açıklanabilir. Fakat literatürde bunu destekleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Radial sinirin önkol distaline yaklaştıkça daha az sempatik lif ve daha fazla konnektif doku içerdiği bilinmektedir; fakat median ve ulnar sinire göre farkı bilinmemektedir.¹²

Radial sinir, istatistiksel olarak anlamlı farklar gösterirken, median ve ulnar sinir motor, duyu ve otonomik yönden benzer değerler taşımaktadır. Balogh ve arkadaşları, immünokimyasal boyama ile

sinir enine kesit alanından sempatik lif sayısını ölçtüğü çalışmasında median ve ulnar sinirler arasında fark bulmamıştır.¹⁵ Çalışmamızda hem sağlıklı hem de lezyonlu sinirlerde median ve ulnar sinirler arasında TESK değerleri arasında fark bulunmaması, Balogh ve arkadaşlarının sonuçlarını desteklemektedir.

Sağlıklı radial sinirden yapılan reobaz ve faradik test ölçümlerinde median ve ulnar sinire göre daha yüksek eşik değerler elde edildi. TESK değerindeki düşüklük ve ciltteki su miktarındaki azlık nedeniyle derinin omik direnci yükselmekte ve eşik motor cevap oluşturmak için daha yüksek akım şiddetleri gerekmektedir.¹⁶ Lezyonlu taraf radial sinirde TESK ölçümüne ek olarak esneklik değerinin de azalması, su içeriğinin azalmasıyla uyumludur. Su içeriği azaldıkça, esneklik de azalacaktır.¹¹

Radial sinirin farklı davranış paterni önemli bir bulgudur. Buna karşın çalışmamız bazı limitasyonlar içermektedir. Birey sayısının az oluşu, takip ölçümlerinin alınmaması limitasyonlar olarak dikkat çekmektedir. Birey sayısının az olmasındaki neden, çalışmaya alınma kriterlerine uyan, önkol distal bölgede izole tek sinir lezyonu olan hastaların bulunmasındaki güçlülüdür. Aynı nedenle, cinsiyet ve yaş faktörlerinin kontrol edildiği grupları oluşturarak karşılaştırma yapılması mümkün olmamıştır.

Çalışmamız, radial sinirin median ve ulnar sinire göre farklı otonomik, duyu ve motor özellikleri olduğunu gösterdi. Bu sonuç, periferik sinir lezyonlarından sonra belirtilen iyileşme hızının etkilenen sinire bağlı olarak farklılık gösterebileceğini işaret etmektedir. Periferik sinir lezyonundan sonraki 4 mm/gün'e kadar çıkabilen iyileşme hızı, median ve ulnar sinire göre radial sinir için farklı olabilir.¹⁷ Bu sonuç, hem deneysel çalışmalarda hem de klinik uygulamalarda radial sinire yönelik özel bir yaklaşım gerektirmektedir. Brakiyal pleksus lezyonu gibi çoklu sinir lezyonlarında radial sinir odaklı değerlendirmelerin klinik geri dönüşü yavaş veya yetersiz gösterebileceği; ölçümlere mutlaka median ve ulnar sinirin de (sağlam ve lezyon taraf) dahil edilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Radial sinir lezyonlarında median ve ulnar sinir lezyonlarına

göre cildin nem içeriği daha az olacağı için, cilde yönelik koruyucu yaklaşımlar uygulanmalıdır. Özellikle radial sinir dermatomal sahasına uygulanacak elektrik stimülasyon uygulamalarında, yanık reaksiyonları yönünden dikkatli olunmalıdır. Cildin nem içeriğinin desteklenmesi, radial sinir lezyonlarında önem kazanmaktadır.

Radial sinirin fonksiyonel açıdan farklı özelliklere sahip olması hem fizyoterapi rehabilitasyon hem de periferik sinir cerrahisi yaklaşımları açısından önemlidir. Sonuçlarımız, değerlendirme ve rehabilitasyon programının çizilmesi, radial sinir içeren cerrahilerin planlanmasında göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Sunderland S. The anatomy and physiology of nerve injury. *Muscle Nerve*. 1990;13:771-784
2. Stewart J. Peripheral nerve fascicles: anatomy and clinical relevance. *Muscle Nerve*. 2003;28:525-541.
3. Sunderland S, Bedbrook G. The cross-sectional area of peripheral nerve trunks occupied by the fibres representing individual muscular and cutaneous branches. *Brain*. 1949;72:613-624.
4. Marx S, Kumar P. Histological and ultrasonographical study of the human superficial branch of the radial nerve at distal forearm and its clinical implications. *Rom J Morphol Embryo*. 2010;51:751-758.
5. Chakravarthy Marx S, Kumar P, Dhalapathy S, et al. Microanatomical and immunohistochemical study of the human radial nerve at the antecubital fossa. *Ann Anat*. 2009;191:389-398.
6. Kawai H. Anatomy of the brachial plexus. In: Kawai HK, ed., *Brachial Plexus Palsy Singapore World Scientific*. Singapore; World Scientific:2000:1-24.
7. Kovacic U, Sketelj J, Bajrovic F. Age-related differences in the reinnervation after peripheral nerve injury. *Int Rev Neurobiol*. 2009;87:465-482.
8. Spicher CJ. *Handbook for Somatosensory Rehabilitation*. Montpellier, Paris: Sauramps Medical; 2006.
9. Gelberman R, Szabo R, Williamson R, et al. Sensibility testing in peripheral-nerve compression syndromes. An experimental study in humans. *J Bone Joint Surg*. 1983;65:632-638.
10. Jette D. Effect of different forms of transcutaneous electrical nerve stimulation on experimental pain. *Phys Ther*. 1986;66:187-193.
11. Wu Y, Wang X, Zhou Y, et al. Correlation between stinging, TEWL and capacitance. *Skin Res Technol*. 2003;9:90-93.
12. Chakravarthy M, Kumar P, Dhalapathy S, et al. Distribution of sympathetic fiber areas of radial nerve in the forearm: an immunohistochemical study in cadavers. *Surg Radiol Anat*. 2010;32:865-871.
13. Benatar M, Wu J, Peng L. Reference data for commonly used sensory and motor nerve conduction studies. *Muscle Nerve*. 2009;40:772-794.
14. Huang C, Chang W, Chang H, et al. Effects of age, gender, height, and weight on late responses and nerve conduction study parameters. *Acta Neurologica Taiwanica*. 2009;18:242-249.
15. Balogh B, Auerith A, Behrus R, et al. The sympathetic axons of the nerves of the hand. *Handchir Mikrochir P*. 2002;34:369-373.
16. Keller T, Kuhn A. Electrodes for transcutaneous (surface) electrical stimulation. *Journal of Automatic Control*. 2008;18:35-45.
17. Griffin J, Pan B, Polley M, et al. Measuring nerve regeneration in the mouse. *Exp Neurol*. 2010;223:60-71.