



# Baskın El ile Baskın Olmayan El Medyan Sinir Dallarının Uyarılabilirlik Özelliklerinin Karşılaştırılması

## Comparison of Excitability Properties of Dominant and Recessive Hands' Median Nerve Branches

Seçkin TUNCER<sup>1</sup>, İlksen BURAT<sup>2</sup>, Nizamettin DALKILIÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

### Yazışma Adresi

Correspondence Address

### Nizamettin DALKILIÇ

Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Meram Tıp Fakültesi Biyofizik  
Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

E-posta: ndalkilic@konya.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-2306-4467

Geliş tarihi \ Received : 06.12.2017

Kabul tarihi \ Accepted : 03.04.2018

Elektronik yayın tarihi : 25.09.2018

Online published

Tuncer S, Burat İ, Dalkılıç N. Baskın el ile baskın olmayan el medyan sinir dallarının uyarılabilirlik özelliklerinin karşılaştırılması. Akd Tıp D 2018;3:245-50.

### ÖZ

**Amaç:** Eşik izleme “threshold tracking” yöntemi sinir uyarılabilirlik özelliklerinin detaylı olarak belirlenmesini sağlaması nedeniyle son yıllarda sıklıkla tercih edilmektedir. Yapmış olduğumuz çalışma ile bu non-invazif yöntem kullanılarak temel ve klinik çalışmalara bir altyapı oluşturmak için sağ eli baskın gönüllülerin her iki elinin medyan sinirinin uyardığı baş, orta ve işaret parmakların uyarılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda, sağ ve sol el parmakları arasındaki olası uyarılabilirlik farklılıkları da karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntemler:** Çalışmada, eşik izleme yöntemi protokolleri sağ el baskın 21 sağlıklı gönüllü deneye uygulanmıştır. Uyarılabilirlik ölçümlerini gerçekleştirmek amacıyla medyan sinir el bileğinden uyarılarak, halka biçimindeki kayıt elektrotları ile sağ ve sol el baş, işaret ve orta parmaklarından bileşik sinir aksiyon potansiyelleri kaydedilmiştir. Her bir deneyde, eşik izleme protokollerine ait eşik elektrotonus, toparlanma döngüsü, eşik akım uyaran-yanıt ilişkisi ve eşik yük-uyaran süresi ilişkisi verileri toplanmıştır.

**Bulgular:** Şiddet süre zaman sabiti, 2. ms'deki refraktörlük (%), dinlenme akım-voltaj eğimi, reobaz ve maksimal yanıtın %50'sini elde etmek için gerekli uyaran şiddeti ortalamaları karşılaştırılmış, sağ ve sol el parmakları arasında fark görülmemiştir ( $p<0,05$ ). Uyaran-yanıt, şiddet-süre ilişkisi, % 40 eşik elektrotonus, akım-eşik ilişkisi ve toparlanma döngüsü eğrilerinin karşılaştırılmasında da anlamlı fark bulunmamıştır ( $p<0,05$ ).

**Sonuç:** Bulgularımız, parmak kaslarını innerve eden medyan sinire ait zardaki hem  $Na^+$  kanalları hem de hızlı, yavaş ve doğrultucu  $K^+$  kanallarının aktivitelerinin benzer olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, hangi elin baskın olduğunun distal motor ünitelerde yani nöromusküler düzeyde herhangi bir farka neden olmadığını, aksine el baskınlığında insan motor kontrolünün daha üst seviyelerinin ve motor öğrenmenin (davranışsal seviyede) rolü olduğunu göstermesi açısından önem taşımaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Medyan sinir, Eşik izleme yöntemi, Sinir uyarılabilirliği, Medyan sinir parmak dalları

### ABSTRACT

**Objective:** “Threshold tracking” is a commonly preferred method in recent years to provide excitability properties in detail. With this study, we aimed to determine the excitability properties of the thumb and the index and medius fingers innervated by the median nerve by using non-invasive threshold tracking methods from both the right and left hands of right-handed volunteers to provide a basis for basic and clinical studies. Additionally, possible differences between the fingers of left and right hands were investigated.

**Material and Methods:** Protocols of threshold tracking method were applied to 21 right-handed healthy volunteers. The median nerve was stimulated at the elbow, and nerve compound action potential recordings were then performed from the thumb and index and medius fingers of the left and right hand with ring-shaped electrodes to conduct excitability measurements. The threshold electrotonus, recovery cycle, threshold current stimulus-response relationship and the amount of threshold charge-stimulus duration relationship data were collected for each experiment.

DOI: 10.17954/amj.2018.962

**Results:** Strength duration time constant, refractoriness (%) at 2 ms, resting current-voltage slope, rheobase and 50% stimulus intensity required to elicit the maximal response did not differ significantly for three fingers of the left and right hand ( $p<0.05$ ). There was also no significant difference for the stimulus-response, strength-duration relationship, 40% threshold electrotonus, current-threshold relationship and recovery cycle curves ( $p<0.05$ ).

**Conclusion:** The findings indicated that the activities of  $Na^+$  and all fast, slow and rectifier  $K^+$  channels in the membrane of the median nerve that innervates finger muscles were similar. In conclusion, our results may suggest that the distal end of the movement circuit (neuro-muscular level) has no role in handedness and rather addresses the importance of higher levels of human motor control and motor learning (neural-behavioral level).

**Key Words:** Median nerve, Threshold tracking method, Nerve excitability, Median nerve finger branches

## GİRİŞ

Medyan sinir, üst ekstremitelerin ana periferik sinirlerinden biridir. Bileği geçtikten sonra avuç içinde dallanır ve bu dallar işaret, baş ve orta parmak ile yüzük parmağının yarısını innerve eder. Bazı sebeplere bağlı olarak bu dallar arasında farklılıklar görülebilmekte, dolayısıyla da insanların baskın olarak kullandığı eldeki medyan sinir dalları uyarılabilirlik açısından da farklılıklar gösterebilmektedir.

Sinir uyarılabilirliği hakkında detaylı bilgi, Bostock tarafından geliştirilen eşik izleme yöntemi sayesinde elde edilebilmektedir. Bir aksonun uyarılabilirliği, yanıtın belirli bir düzeyini elde etmek için gerekli akım olarak tanımlanabilir (1). Bir aksonun depolarize olması uyarılabilirliğini artırır ve dolayısıyla uyarmak için gerekli eşik akımının şiddetini azaltır; bunun sonucu olarak daha zayıf bir akım aynı genlikte bir yanıt oluşturabilir ve bunun tam tersi de geçerlidir. Diğer taraftan aksonun hiperpolarize olması ise uyarılabilirliği azaltır. Bu yöntemde, sinir liflerinin bireysel aktivitelerinin toplamını içeren hedef bileşik sinir aksiyon potansiyelinin (BSAP) belirlenmiş genliği, “hedef genlik” olarak isimlendirilir ve önceden ayarlanır. Eşik akım şiddeti bu sabit hedef yanıtı oluşturmak için otomatik olarak belirlenir. Eşik akım şiddetindeki bu otomatik belirleme “eşikte % değişim” olarak çizdirilir ve uyarı bölgesinin altındaki aksonal uyarılabilirliğin tam bir temsili olarak alınır (2-4).

Bu çalışma ile sağ eli baskın kişilerin sağ ve sol ellerinden eşik izleme yöntemi kullanarak medyan sinirin uyardığı işaret, baş ve orta parmakların uyarılabilirlik parametrelerinin dökümanite edilmesi ve bu sayede temel ve klinik çalışmalara bir dayanak sağlanması amaçlanmıştır. Buna ilaveten, elde edilen verilerin karşılaştırılmasıyla, sağ ve sol el parmakları arasındaki olası farklar belirlenmeye çalışılmıştır. Parmak sinirlerinin uyarılabilirliğini konu edinen ilk çalışma olması yönüyle literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

## GEREÇ ve YÖNTEMLER

Çoklu uyarılabilirlik ölçümleri 18-24 yaş arasındaki sağlıklı, bilgilendirilmiş gönüllülerden alınmıştır. Sağ eli baskın insanların medyan sinirleri non-invazif eşik izleme yöntemi kullanılarak bilekten uyarılmış ve BSAP yanıtları halka

Ag/AgCl elektrotlarla sağ ve sol elin baş, işaret ve orta parmaklarından kaydedilmiştir.

Çoklu uyarılabilirlik parametrelerini incelemek için, standart eşik izleme yöntemi uygulanmıştır (1,5). Deneysel TRONDNF protokolü QtracS programı kullanılarak uygulanmıştır. Bu prosedürde kullanılan ekipmanın detayları ve metodoloji önceki çalışmalarda tanımlanmıştır (6-8). TRONDNF protokolü esasen, maksimal BSAP genliğinin %40'ının hedef yanıtı oluşturmak için gerekli akımı izlemek üzerine kuruludur. Uyarıcı-yanıt, şiddet-süre ilişkisi, eşik elektrotonus (EE), akım-eşik ilişkisi (I/V) ve toparlanma döngüsü (RC) parametreleri, çoklu uyarılabilirlik testi prosedürü süresince araştırılmıştır. Uyarılabilirliğin kavramsal temeli Şekil 1'de verilmiştir.

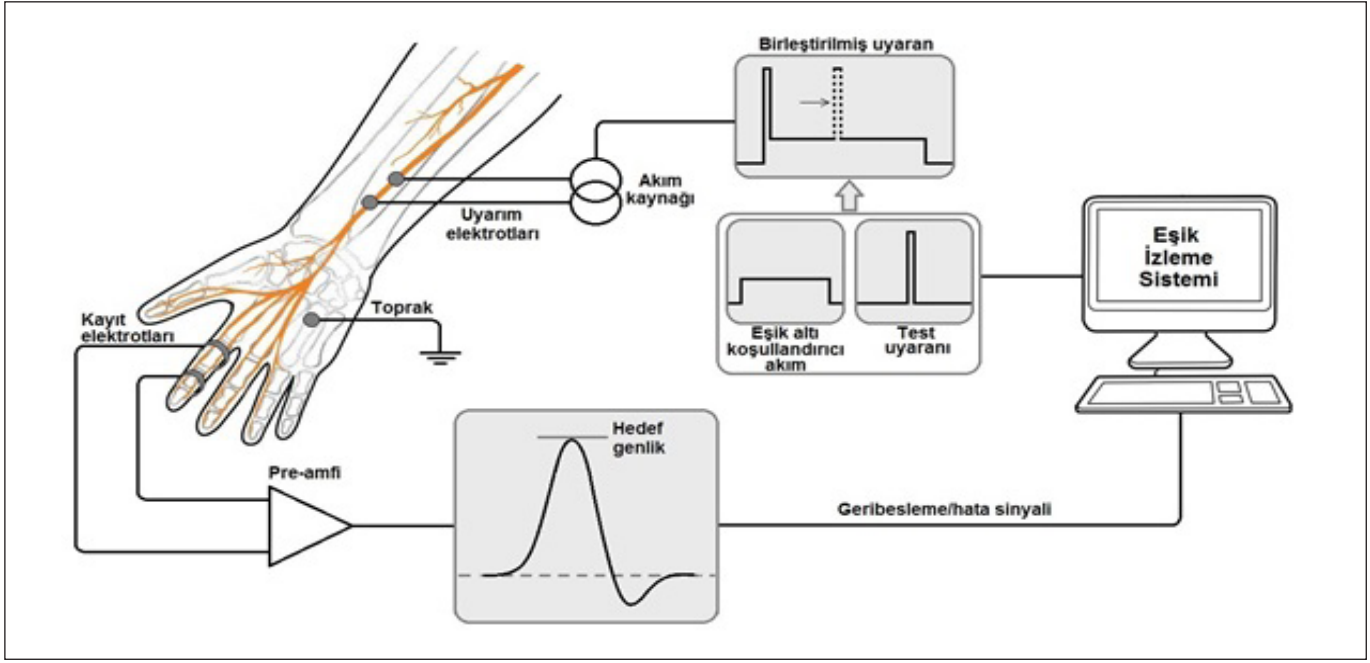
Veriler QtracP yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve grafikler çizilmiştir. Uyarılabilirlik ölçümlerinin analizleri uyarıcı yanıt ilişkisi, şiddet-süre ilişkisi, eşik elektrotonus, akım-eşik ilişkisi ve toparlanma döngüsünden elde edilen veriler kullanılarak yapılmıştır.

Gruplar arasındaki istatistiksel karşılaştırmalar, veriler Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi ile normal dağılıma uyup uymadıkları kontrol edildikten sonra One-Way ANOVA ve Tukey's post-hoc testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Normalite sınavını geçemeyen dağılımlar için karşılaştırmalar Kruskal-Wallis One-Way ANOVA ve Dunn's post-hoc testi ile yapılmıştır. Karşılaştırma ve sınamalar Graph-Pad Prism 5.0 Demo paket programı kullanılarak yapılmıştır. Metin boyunca veriler ortalama±standart hata olarak verilmiş, istatistik anlamlılık sınırı ise  $p<0,05$  seçilmiştir.

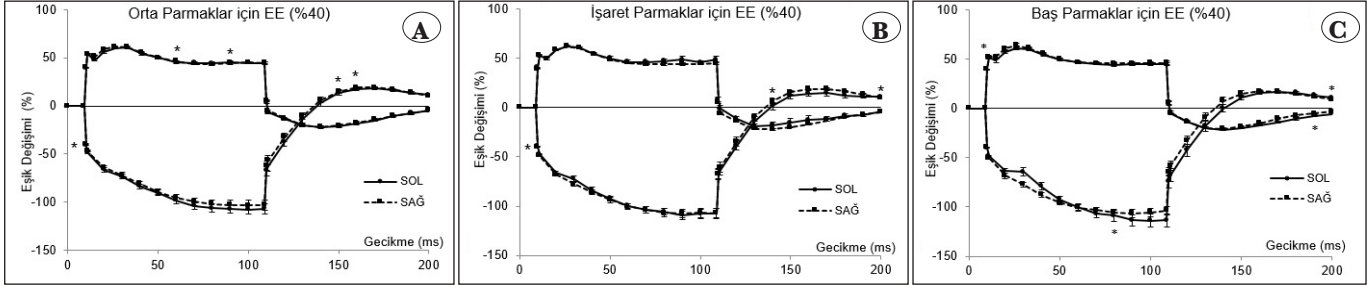
## BULGULAR

Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol el baş, işaret ve orta parmaklarından ölçülmüş olan bazı uyarılabilirlik parametrelerinin ortalama değerleri standart sapmalarıyla birlikte Tablo 1'de verilmiştir.

Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin baş, işaret ve orta parmaklarına ait hedef yanıtın %40'ı için eşik elektrotonus eğrileri Şekil 3A-C'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Eşik elektrotonus eğrileri kontrol eşığının %40'ında 100 ms'lik depolarize ve hiperpolarize edici akımlar kullanılarak belirlenmiştir.



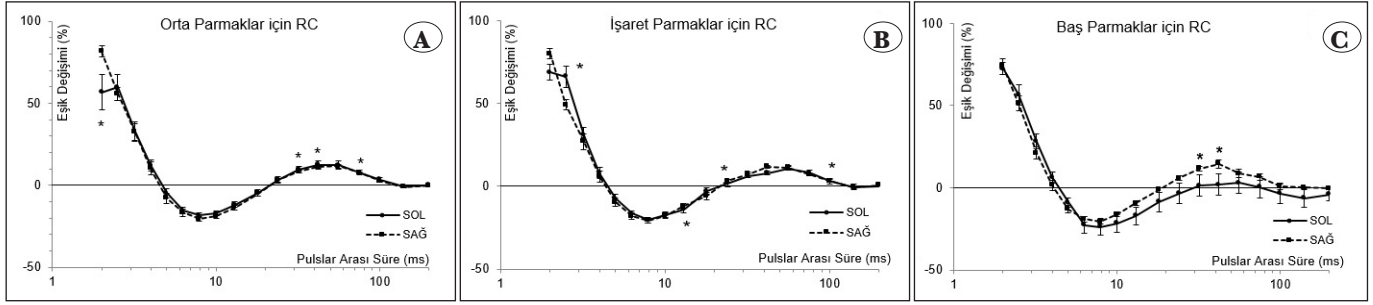
**Şekil 1:** Uyarılabilirlik testinin kavramsal temeli ve bileşik sinir aksiyon potansiyeli (BSAP) kayıtlama biçimi. BSAP yanıtı supramaksimal uyarılarla elde edildikten sonra hedef genliği (genellikle maksimumun %40'ı) elde etmek için ardışık test uyarıları tanımlanmış ve uygulanmıştır. Eşik akımı bu hedef genliğe ulaşmak için yeterli akımın şiddeti olarak tanımlanır ve sürekli bir hata sinyali ile geri beslemeli olarak belirlenir. Uzun süreli (100 ms) eşik-altı koşullandırıcı akım zar uyarılabilirliğinde değişime neden olur. Bu akımın üzerine bir test pulsu eklenerek hedef yanıtı oluşturmak üzere uygulanır. Koşullandırıcı akım ile test uyarımı arasındaki süre değiştirilerek eşik akımındaki değişim ölçülür. Sonuç olarak bu verilerle eşik elektrotonus (EE) eğrileri elde edilir (3).



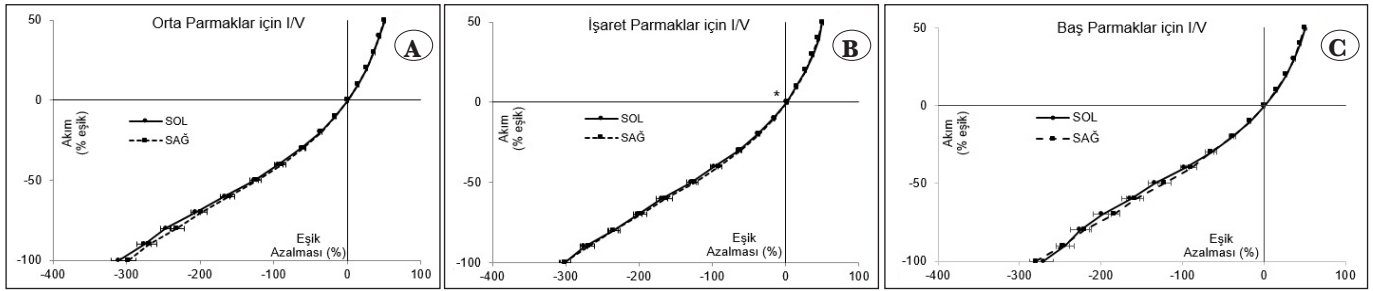
**Şekil 2:** Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin orta (A), işaret (B) ve baş (C) parmaklarına ait eşik elektrotonus (EE) (%40) eğrileri (ort ± st hata). \* anlamlılık düzeyini gösterir ( $p < 0.05$ ).

**Tablo I:** Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol el baş, işaret ve orta parmaklarından ölçülmüş bazı uyarılabilirlik parametreleri (ort ± st hata). \* başparmak ile karşılaştırıldığında farkın istatistiksel anlamlılığını göstermektedir ( $p < 0.05$ ).

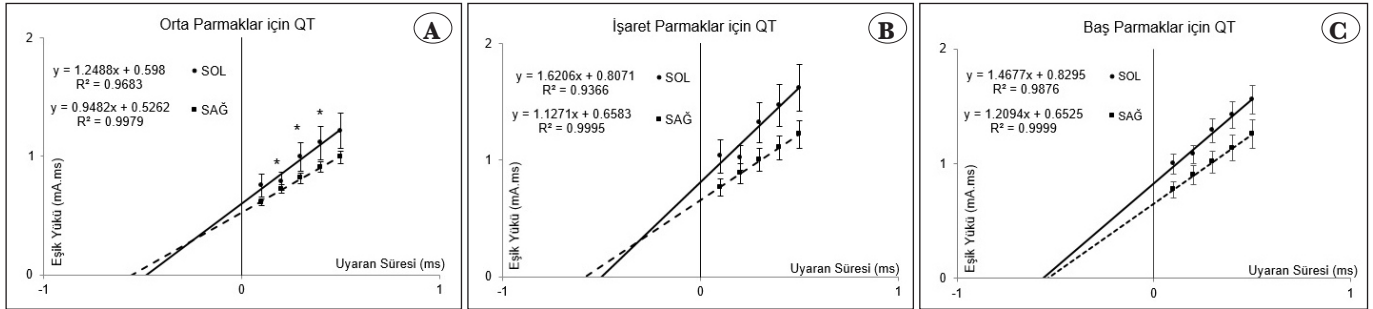
	Sol El			Sağ El		
	Baş	İşaret	Orta	Baş	İşaret	Orta
Maksimum BSAP genliğinin %50'sine ulaşmak için gerekli uyarım şiddeti (mA)	3,22±0,25	3,36±0,38	2,64±0,31	2,65±0,27	2,61±0,24	2,16±0,12
Şiddet-süre zaman sabiti (ms)	0,60±0,02	0,60±0,03	0,55±0,02	0,56±0,03	0,60±0,03	0,57±0,03
Reobaz (mA)	1,36±0,10	1,43±0,15	1,18±0,15	1,21±0,15	1,13±0,12	0,95±0,06
Uyarım-yanıt eğimi	2,86±0,20	2,69±0,18*	2,25±0,14	2,95±0,15	2,65±0,13	2,87±0,14
Uyum yarı-zamanı (ms)	36,70±1,44	37,95±4,50	35,52±1,30	33,70±1,18	33,15±2,25	35,88±1,34
Dinlenim I/V eğimi	0,63±0,03	0,65±0,03	0,68±0,04	0,64±0,03	0,69±0,03	0,66±0,02



**Şekil 3:** Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin orta (A), işaret (B) ve baş (C) parmaklarına ait RC eğrileri(ort ± st hata). \* farkın istatistiksel anlamlılığını gösterir ( $p < 0.05$ ).



**Şekil 4:** Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin orta (A), işaret (B) ve baş (C) parmaklarına ait I/V eğrileri (ort ± st hata). \* farkın istatistiksel anlamlılığını göstermektedir ( $p < 0.05$ ).



**Şekil 5:** Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin orta (A), işaret (B) ve baş (C) parmaklarına ait eşik yük (Q)-uyaran süresi (T) eğrileri (ort ± st hata). Veri değerlerine yatay eksen keserek şekilde bir doğruya oturtulmuştur. Doğrunun eğimi reobaz değerini hesaplamak için kullanılırken, doğrunun x-eksenini kestiği negatif değer, kronaksi değerine karşılık gelen şiddet-süre zaman sabiti (SDTC) olarak belirlenmiştir. \* farkın istatistiksel anlamlılığını gösterir ( $p < 0.05$ ).

\*Yatay olarak çakışmayan değerler istatistiksel olarak farklıdır.

Bir sinir lifinin depolarizasyonu esnasında uyarılabilirliğindeki değişim dizisi toparlanma döngüsü olarak adlandırılır (2). Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin baş, işaret ve orta parmaklarına ait toparlanma döngüsü eğrileri Şekil 3A-C'te görülmektedir.

Eşik akım (%)-eşik değer azalması eğrisi, elktrikteki akım-voltaj (I/V) grafiğinin bir analogudur ve akson zarının doğrultucu (rektifikasyon) özelliğini göstermesi açısından önem taşır (9). Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin baş, işaret ve orta parmaklarına ait akım-eşik azalması (%) eğrileri Şekil 4A-C'te verilmiştir.

Sağ el baskın bireylerin sağ ve sol ellerinin baş, işaret ve orta parmaklarına ait eşik yük (mA.ms)-uyaran süresi (ms)

(QT) eğrileri Şekil 5A-C'da verilmiştir. Eğrinin x-eksenini kestiği negatif nokta şiddet-süre zaman sabiti (SDTC) olarak adlandırılır ve kronaksi değerinin karşılığıdır. Doğrusal eğrinin eğimi ise reobaz değerine karşılık gelir (10).

## TARTIŞMA

Bu çalışmada, temel ve klinik çalışmalara altyapı teşkil etmesi amacıyla, sağ ve sol el baş, işaret ve orta parmaklarının uyarılabilirlik özellikleri karşılaştırılmalı olarak araştırılmıştır. Bu amaçla non-invaziv olarak akson zar uyarılabilirliğini test eden ve zardaki kanal aktivitesi hakkında bilgi sağlayan eşik değer izleme "threshold tracking" yöntemi kullanılmıştır.

Eşik elektrotonus eşik değer izleme yönteminin en önemli protokollerinden birisidir. Bu protokolda zar potansiyeli uzun süreli (100 ms) eşik altı bir akımla depolarize ve hiperpolarize edilerek zar uyarılabilirliğindeki değişimler gözlemlenir. Bu şekilde aksonda boğumlar arası bölgenin iletkenliği ve  $K^+$  kanallarının aktivitesindeki değişimler hakkında bilgi sağlanmasına olanak verir (2,3). Eşik Elektrotonus (EE) protokolü ile elde edilen maksimum yanıtın %40'ı için depolarize ve hiperpolarize edici EE eğrileri incelendiğinde, sağ ve sol elin her üç parmakları arasında anlamlı farkın ( $p<0,05$ ) bulunmadığı görülmüştür (Şekil 2A-C). Direnç ve kapasitans gibi zarın pasif özellikleri ile  $K^+$  kanallarının (hızlı, yavaş ve rektifiye  $K^+$  kanalları) aktivitesi zar iletkenliğini önemli derecede karakterize eder. Zar iletkenliği ise sinir uyarılabilirliğini dolayısıyla EE eğrisinin zamansal formunu belirlemektedir (3,4). Elektrotonus eğrileri arasında anlamlı farkın bulunmaması, sağ ve sol elin üç parmağı arasında zarın pasif özellikleri ve  $K^+$  iletkenliği açısından anlamlı farklılığın bulunmadığı anlamına gelebilir.

Bir aksonda uyarının ardından uyarılabilirlikteki artma veya azalma yönündeki değişim dizisi “toparlanma döngüsü” olarak adlandırılır. Bu protokolün uygulanması sonucu elde edilen sağ ve sol elin üç parmağına ait toparlanma döngüsü eğrilerinin analizi, relatif refrakter dönem ve süpernormal fazı bölgeleri boyunca benzer yolların izlendiğini göstermektedir. Bununla birlikte gecikmiş subnormal fazı bölgesinde anlamlı farklılıklar da görülmektedir (Şekil 3A-C). Gecikmiş subnormal fazı bölgesinin yavaş  $K^+$  kanalları tarafından karakterize edildiği bilinmektedir (11, 12). EE eğrilerinde fark olmayıp toparlanma döngüsü eğrisinin gecikmiş subnormal fazında farkın olması çelişki oluşturmaktadır. Bu çelişki bu protokolün uygulanması sırasında oluşan kayıt hatalardan kaynaklanmış olabileceğini akla getirmektedir. Relatif refrakter dönem ve süpernormal fazlarında anlamlı farkın görülmemiş olması, belirtilen faz bölgelerinde  $Na^+$  kanal iletkenliğinin test etmesi nedeniyle, sağ ve sol elin bu üç parmağı arasında  $Na^+$  kanal aktivitesi açısından bir fark olmayabileceğini göstermektedir.

Eşik değer izleme yönteminin akım-eşik ilişkisi protokolü aksonda boğumlar arası bölgenin doğrultucu (rectifier) özelliğini belirler ve elektronikteki akım-voltaj (I/V)

gösteriminin bir analogisidir. I/V eğrisinin karakteristik biçimini, depolarize veya hiperpolarize edici akıma karşılık oluşan zarın iyonik iletkenlik (aktivasyonu) değerindeki değişim belirler (2, 13). Sağ el baskın deneklerin her iki elin orta, işaret ve başparmaklar için elde edilen akım-eşik eğrilerinin birbirine benzer yolu izledikleri görülmektedir (Şekil 4A-C). Grafiğin sol alt bölgesi içeri doğrultucu  $K^+$  kanallarının aktivitesini, sağ üst kısmı ise yavaş ve hızlı dışarı doğrultucu  $K^+$  kanallarının aktivitesini gösterir. Yani, sağ ve sol elin bu üç parmakları arasında yavaş ve içeri doğrultucu  $K^+$  kanalları açısından anlamlı bir farklılığın olmayabileceği söylenebilir.

Şiddet süre zaman sabiti ve reobaz parametreleri zardaki persistan  $Na^+$  kanal aktivitesini göstermeleri bakımından aksonun nodal özelliğini yansıtır (14). Bu iki parametrenin elde edildiği eşik yük miktarı-uyaran süresi değişimini gösteren eğriler Şekil 5A-C’de görülmektedir. Karşılaştırma sonucunda, eğrilerin anlamlı farklılık göstermediği anlaşılmaktadır. Bu sonuç sağ ve sol elin orta, işaret ve başparmakları arasında persistan  $Na^+$  kanal aktivitesi açısından da anlamlı fark olmadığı düşünülebilir.

Sağ el baskın kişilerin sağ ve sol el baş, işaret ve orta parmaklarından eşik değer izleme yöntemi protokolleri bulgularından seçilmiş bazı uyarılabilirlik parametreleri karşılaştırmalı olarak Tablo I’de görülmektedir. Tablo verilerinde de her iki ele ait baş, orta ve işaret parmakları arasında seçilmiş uyarılabilirlik parametreleri açısından da anlamlı farkın olmadığı ( $p<0,05$ ) anlaşılmaktadır.

## SONUÇ

Sonuç olarak, sağ el baskın bireylerin medyan sinirinin innerve ettiği parmakları arasında aksonal uyarılabilirlik parametreleri açısından anlamlı farkın bulunmadığı şeklinde değerlendirilebilir. Buna göre, hangi elin baskın olduğunun distal motor ünitelerde yani nöromusküler düzeyde herhangi bir farka neden olmadığı söylenebilir. Aksine bu durum, el baskınlığında insan motor kontrolünün daha üst seviyelerinin ve motor öğrenmenin (davranışsal seviyede) rolünün olduğunu göstermektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No. 151218022).

## KAYNAKLAR

1. Tuncer S, Peker TT, Burat I, Kiziltan E, Ilhan B, Dalkilic N. Axonal excitability and conduction alteration caused by levobupivacaine in rat. *Acta Pharm* 2017;67(3):293-307.

2. Krishnan AV, Lin CSY, Park SB, Kiernan MC. Axonal ion channels from bench to bedside: A translational neuroscience perspective. *Progress in Neurobiology* 2009; 89:288-313.

3. Nodera H, Kaji R. Invited review article: Nerve excitability testing and its clinical application to neuromuscular diseases. *Clin. Neurophysiol* 2006; 117:1902-16.
4. Bostock H, Cikurel K, Burke D. Review article: Threshold tracking techniques in the study of human peripheral nerve. *Muscle Nerve* 1998;21:137-58.
5. Kiernan MC, Lin CSY, Andersen KV, Muray NMF, Bostock H. Clinical evaluation of excitability measures in sensory nerve. *Muscle Nerve* 2001; 24:883-92.
6. Boerio D, Greensmith L, Bostock H. Excitability properties of motor axons in the maturing mouse. *J Peripher Nerv Syst* 2009; 14:45-53.
7. Yang Q, Kaji R, Hirota N, Kojima Y, Takagi T, Kohara N, Kimura J, Shibasaki H, Bostock H. Effect of maturation on nerve excitability in an experimental model of threshold electrotonus. *Muscle Nerve* 2000; 23:498-506.
8. George A, Bostock H. Multiple measures of axonal excitability in peripheral sensory nerves: An in vivo rat model. *Muscle Nerve* 2007;36:628-36.
9. Kiernan MC, Burke D, Andersen KV, Bostock H. Multiple measure of axonal excitability: A new approach in clinical testing. *Muscle and Nerve* 2000;23:399-409.
10. Burke D, Kiernan MC, Bostock H. Excitability of human axon. *Clinical Neurophysiology* 2001;112:1575-85.
11. Kaji R. Physiology of conduction block in multifocal motor neuropathy and other demyelinating neuropathies. *Muscle Nerve* 2003;27:285-96.
12. Bostock H, Lin CS, Howells J, Trevillion L, Jankelowitz S, Burke D. After-effects of near-threshold stimulation in single human motor axons. *J Physiol* 2005;564:931-40.
13. Lin CSY, Kiernan MC, Burke D, Bostock H. Assessment of nerve excitability properties in peripheral nerve disease. *Peripheral Nerve Diseases. Handbook of Clinical neurophysiology*. Elsevier 2006;7:381-403.
14. Mogyoros I, Kiernan MC, Burke D, Bostock H. Strength-duration properties of sensory and motor axons in amyotrophic lateral sclerosis. *Brain* 1998;121:851-9.