

Elektromiyografi Kayıtlarında F-dalgalarının Otomatik Algılanması Metodu ve Analizi

Automatic Detection Method of F-waves in Electromyography Recordings and Their Analysis

Tuğrul ARTUĞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Demokrasi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
tugrul.artug@idu.edu.tr

Özetçe—F-dalgaları yüzeysel elektrotla kaydedilen ve hastalığın seyrine yönelik bilgiler barındıran elektromiyografi sinyalleridir. F-dalgalarından hesaplanan parametrelerle motor ünite sayısının kestirimi yapılabilir. F-dalgalarının bir algoritma yoluyla hızlıca algılanıp analizinin yapılabilmesi klinisyenlere hız ve kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışmada normal, ALS ve polio hastalarını içeren bir veri havuzundan yararlanarak F-dalgalarının otomatize algılanması için bir algoritma geliştirilmiştir. F-dalgaları toplam 174 kayıt için %96,55'lik bir başarı ile doğru şekilde algılanmıştır. Yapılan analiz sonucunda, tekrarlayan nöron sayısı parametresi normal bireyleri ALS hastalarından ayırabilmektedir.

Anahtar Kelimeler — *Elektromiyografi; F-dalgası; işaret işleme; algoritma.*

Abstract—F-waves are electromyography signals which are recorded by using surface electrodes and contain information about the progression of disease. Motor unit number estimation can be done with the calculated parameters from F-waves. Rapid detection and analysis of F-waves via an algorithm provide speed and simplicity to clinicians. In this study, an algorithm was developed to detect F-waves automatically by using a data pool which include normal individuals, ALS and polio patients. F-waves were detected correctly with 96.55% accuracy for in total 174 recordings. As a result of the analysis, number of repeater neuron parameter can differentiate normal individuals from ALS patients.

Keywords — *Electromyography; F-wave; signal processing; algorithm.*

I. GİRİŞ

F-dalgaları çevresel sinirlerin uyarıtımı ertesinde kaydedilen geç yanıtlardır [1]. F-dalgasını oluşturan potansiyellerin tamamı, başlangıçtaki uyarıtım yoluyla oluşan birleşik kas aksiyon potansiyeli içerisinde mevcuttur. Oluşan bu toplam potansiyelin motor sinirden geri yansıyan bileşenleri F-dalgasını oluşturur [2]. Oluşan iki dalga da elektrotlar yardımıyla kaydedilebilir ve gözlemlenebilir. Her uyarıtımda

oluşacak F-dalgası, bileşenlerin rastgele olmasından dolayı değişebilmektedir [3].

F-dalgası oluşumunun doğası gereği, zaman zaman alınan kayıtlarda F-dalgası kaydedilememektedir. Sağlıklı bireylerde de bu durum görülebilmekle birlikte, özellikle nörojenik hastalık modellerinde F-dalgalarının kaydedilemediği sinyallerle karşılaşmaktadır. Bunun sebebi birleşik kas aksiyon potansiyeline katılan bileşenlerin azalıp havuzun daralması ve geri yansıyacak potansiyellerin ihtimalinin düşmesidir [4]. Böyle bir durumu gözlemleyebilmek için ardışık uyarıtımların ertesinde kayıt yapmak gerekmektedir [5]. F-dalgasının olmadığı durumlara rastlamak hastalık teşhisine yardımcı bir göstergedir. F-dalgası çalışmaları yapabilmek için ideal kayıt miktarı bir oturumda en az 90 sinyaldir [6].

Nörojenik hastalıklarda motor ünite sayısında azalma meydana gelir [7]. Azalan motor ünite sayısı birleşik kas aksiyon potansiyelini oluşturan sinyallerin çeşidini de azaltmaktadır. Bunun sonucunda, alınan kayıtlarda hastalıkların ilerleyen safhalarında birbiri ile birebir aynı özelliklere sahip F-dalgalarına rastlama ihtimali yükselmektedir. Benzer yapıdaki F-dalgalarına “Tekrarlayan F-dalgaları” adı verilmiştir [8].

Bu çalışma elektromiyografi kayıtlarından F-dalgalarının otomatize olarak algılanması ve analiz için çıkartılması metodunu sunacaktır. Metodun aşamaları bir algoritma ile anlatılacak ve grafiklerle desteklenecektir. Ayrıca geliştirilen yazılımın analiz gücü normal, ALS ve polio hastası bireylerden oluşan bir veri seti ile gösterilecektir.

II. VERİ SETİ

Çalışmaya dahil olan veriler 25 normal, 35 ALS ve 18 polio hastası bireyden elde edilmiştir. Normal bireylerden alınan kayıtlar 25 adet abductor pollicis brevis (APB) kasından ve 24 adet abductor digiti minimi (ADM) kasından veri içermektedir. ALS hastalarından 44 adet APB kasından ve 46 adet ADM kasından veri elde edilmiştir. Son olarak polio hastalarından ise

toplama 18 adet APB kasından ve 17 adet ADM kasından veri kaydı yapılmıştır.

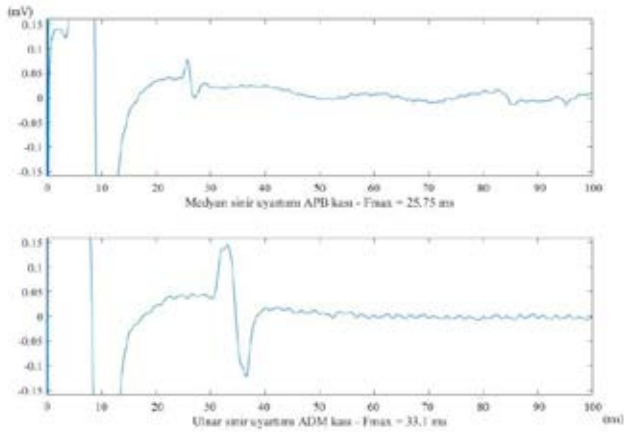
Kayıtlarda yüzeysel elektrot kullanılmış olup, 300 uyarım sonucu alınan yanıtlar kaydedilmiştir. Verilerin alındığı cihaz Medelec Synergy'dir ve veri seti İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi EMG laboratuvarından alınan verilerden oluşturulmuştur. Her bir bireyden bilgilendirilmiş onay formu alınmıştır.

III. KULLANILAN YÖNTEMLER

Kaydedilen sinyaller metin formatında EMG cihazından alınabildiğinden kolayca yazılım tarafından okunabilmektedir. Her ne kadar okuması kolay olsa da, işaret işleme uygulamaları yapmadan önce içerisinde bulunan metinsel yazılardan arındırılıp ardışık uyarım sonucu oluşan yanıtların bir değişkende düzenlenmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin sonunda sinyaller ham olarak işlenmeye hazır olmaktadır.

APB kası medyan sinir uyarımıyla, ADM kası ulnar sinir uyarımıyla kasılmaktadır. Elektrodun konumu üretilen potansiyelin kaydedeceği mesafeyi etkileyeceğinden dolayı ulnar sinir uyarımı sonucu kaydedilen F-dalgaları, birleşik kas aksiyon potansiyeline göre daha ileride çıkmaktadır.

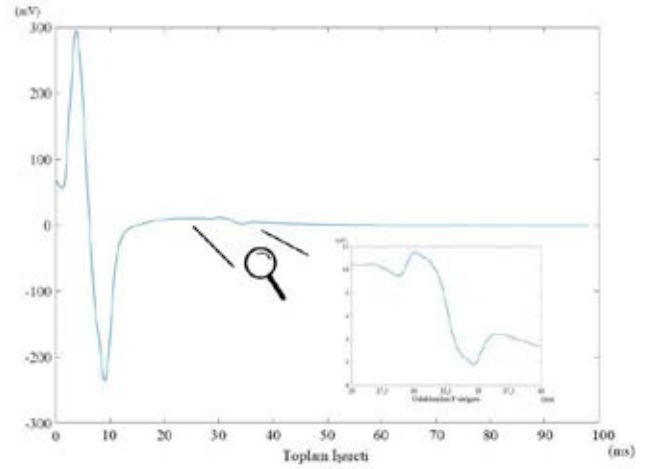
Bir ALS hastasına ait olup medyan ve ulnar sinir uyarımı sonucu kaydedilen F-dalgaları Şekil 1'de gösterilmiştir. F-dalgalarının genliği birleşik kas aksiyon potansiyeline göre çok daha küçüktür. Bu sebepten eksenler F-dalgasının görüleceği şekilde daraltılmıştır.



Şekil 1. Bir ALS hastasının APB ve ADM kasından kaydedilen F-dalgaları ve aralarındaki mesafe farkı

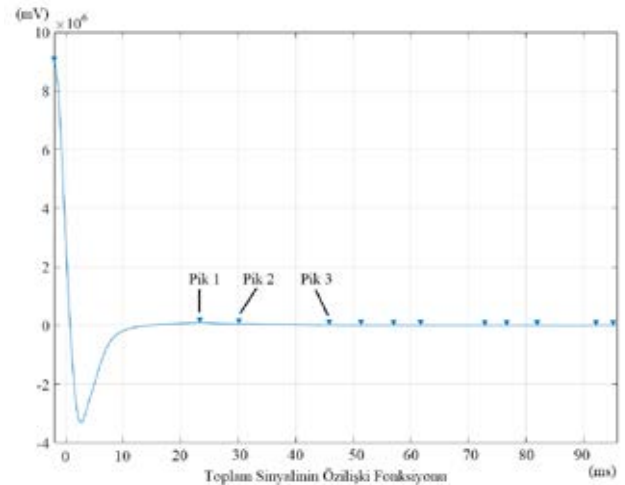
F-dalgasının konumunu belirleyebilmek için öncelikle sinyal başlangıcında bulunan uyarı artefaktı atılır. Bir oturumda alınan kayıt için F-dalgası ve özellikle de birleşik kas aksiyon potansiyeli benzer konumlarda görüleceği için kaydedilen tüm sinyaller üst üste toplanır.

Şekil 2'de örnek bir kayıt için toplam sonucu oluşan işaret ve odaklanan F-dalgası görülmektedir.



Şekil 2. Toplam sinyali ve F-dalgası

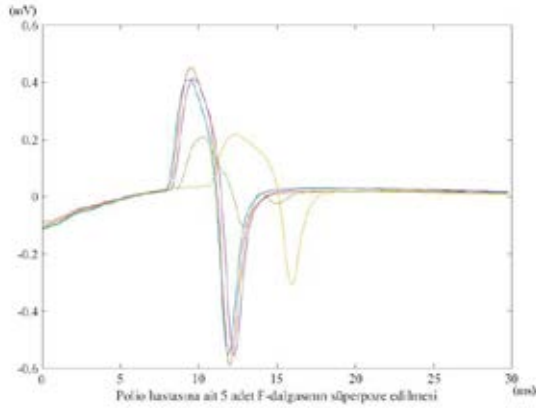
Daha sonra global maksimumun konumu belirlenir. Bu değer birleşik kas aksiyon potansiyelinin en büyük değeri aldığı konumdur. Toplam sinyalinin özilişki fonksiyonu bulunur. Özilişki fonksiyonunun pik değerleri F-dalgasının konumu hakkında önemli bilgi içermektedir. Bu pik değerleri global maksimumun konumu ilerisinde aranır. Global maksimumun konumu ile bulunan piklerin konumu arasındaki uzaklık hesaplanır. Bu uzaklıklardan 12ms'den daha fazla olan ilk pikin konumu seçilir. Bundan önceki pik veya piklerin seçilmemesinin sebebi, birleşik kas aksiyon potansiyelinde gürültü sonucu oluşan istenmeyen bir pik meydana gelmesidir. F-dalgasının bu değerden daha yakın çıkması beklenmez [9, 10]. Bir ALS hastasının kaydından elde edilen toplam sinyalinin özilişki fonksiyonu ve belirlenen pikler Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. ALS hastası kaydına ait toplam sinyalinin özilişki fonksiyonu ve belirlenen pikler

Toplam sinyalinde global maksimumun konumundan hesaplanan fark değeri kadar ileride F-dalgasının maksimum değere ulaştığı konum aranır. Bunun için 22,5 ms'lik bir pencere kullanılır. Pencerenin 1/3'üne denk gelen konum

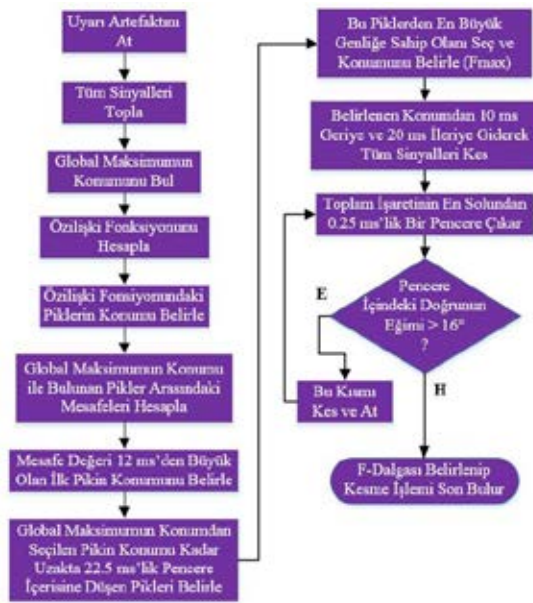
hesaplanan konum değerine oturtulur. Pencere içerisinde en yüksek değeri veren pik, F-dalgasının maksimum (F-max) değeri aldığı konumdur. Bu konumdan 10 ms geriye ve 20 ms ileriye giderek tüm sinyaller kesilir ve F-dalgaları ortaya çıkarılır. Bir polio hastasından önerilen algoritma ile kesilip çıkartılan F-dalgalarından 5 tanesinin üst üste süperpoze edilmesiyle oluşturulan grafik Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Polio hastasına ait 5 adet F-dalgasının süperpoze grafiği

F-dalgaları kesilip çıkartıldıktan sonra bu kesilen parçalarda birleşik kas aksiyon potansiyelinin kuyruğundan gelen örnekler olma ihtimaline karşılık F-dalgaları kontrol edilir. Bunun için toplam işaretinde sol tarafta kalan örneklerin eğimine 0,25 ms'lik bir pencere içerisinde bakılır. Eğer eğim 16 dereceden fazla ise bu kısım atılır ve kontrol işlemi bu şekilde devam eder. Eğer eğim 16 derecenin altına inerse kesme işlemi sona erer. Bu işlem sonunda elde işlenmek üzere kullanıma hazır F-dalgaları kalmaktadır.

Geliştirilen algoritmanın akış şeması Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. F-dalgalarının Otomatik Algılanması Metodu Akış Şeması

Veri setinde bulunan normal, ALS ve polio gruplarına ait kayıtlardan 10'ar tanesi rastgele seçilip medyan ve ulnar sinir uyartımları sonucu elde edilen F-dalgalarından persistans, tekrarlayan nöron sayısı, tekrarlayan sinyal sayısı ve tekrarlayan ortalama F-dalgası genliği parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametrelerin tanımı aşağıda verilmiştir.

- Persistans: Her bir oturumda elde edilen tanımlanabilen F-dalgalarının sayısının uyartım sayısına oranıdır.
- Tekrarlayan nöron sayısı: Tekrarlayan ve birbirinden farklı olan F-dalgası çeşidinin sayısıdır.
- Tekrarlayan sinyal sayısı: Tekrarlayan tüm F-dalgalarının sayısıdır.
- Tekrarlayan ortalama F-dalgası (sMUP) genliği: Birbirinden farklı tekrarlayan F-dalgası gruplarının ortalama tepeden tepeye (V_{pp}) genlik değerlerinin ortalamasıdır.

Elde edilen parametrelerin ayrılcılığının kontrol edilmesi için önce ANOVA testi yapılmış olup ardından post hoc analizi yapılmıştır.

IV. SONUÇLAR

Veri setinde bulunan tüm gruplara ait medyan ve ulnar sinir uyartımıyla elde edilen kayıtlar otomatize F-dalgası algılama algoritmasıyla kesme başarısı açısından performans testine tabi tutulmuştur. Grup bazında en az başarı %95,56 ile ALS hastalarına aitken, en yüksek başarı %97,96 ile normal birey kayıtlarına aittir. Algoritmanın performans tablosu Tablo 1'de verilmiştir.

TABLO I. F-DALGALARININ OTOMATİK ALGILANMASI METODU PERFORMANSI

%	Normal	ALS	Polio
Medyan	100	93,18	94,44
Ulnar	95,83	97,83	100
Toplam	97,96	95,56	97,14

Tüm grupların birleşiminden elde edilen toplam 174 veri için ise algoritmanın genel performansı %96,55 olarak hesaplanmıştır.

Medyan sinir uyartımıyla APB kasından elde edilen veriler Tablo 2'de sunulmuştur.

TABLO II. APB KASINDAN ELDE EDİLEN PARAMETRELER

	Persistans (%)	Tekrarlayan Nöron Sayısı	Tekrarlayan Sinyal Sayısı	Ort sMUP Genliği (μV)
Normal [Ort \pm STD]	57,32 \pm 22,71	24,6 \pm 8,67	94 \pm 46,33	179,94 \pm 46,97
ALS [Ort \pm STD]	41,24 \pm 18,3	11,2 \pm 9,68	66,9 \pm 45,05	287,23 \pm 251,77
Polio [Ort \pm STD]	49,73 \pm 20,68	17,6 \pm 10,67	94,2 \pm 56,58	324,8 \pm 140,91

Peristans, tekrarlayan sinyal sayısı ve tekrarlayan ortalama F-dalgası genliği parametreleri için gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır.

Tekrarlayan nöron sayısı normal bireyler için ortalama 24,6 olarak bulunurken, ALS hastaları için aynı değer 11,2 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler için iki grup arasında anlamlı fark vardır ($p<0,05$).

Ulnar sinir uyarımı sonucu ADM kasından elde edilen yanıtlardan hesaplanan parametreler Tablo 3'te gösterilmiştir.

TABLO III. ADM KASINDAN ELDE EDİLEN PARAMETRELER

	Persistans (%)	Tekrarlayan Nöron Sayısı	Tekrarlayan Sinyal Sayısı	Ort sMUP Genliği (μV)
Normal [Ort \pm STD]	51,37 \pm 26,88	21,6 \pm 12,5	79,7 \pm 54,08	158,77 \pm 79,55
ALS [Ort \pm STD]	54,67 \pm 18,87	17,3 \pm 10,66	96 \pm 48,29	193,46 \pm 96,52
Polio [Ort \pm STD]	58,43 \pm 27,68	23,7 \pm 11,52	90,9 \pm 60,68	210,8 \pm 67,3

Elde edilen veriler sonucunda bu parametreler için hiçbir grup arasında anlamlı fark bulunmamaktadır.

V. TARTIŞMA

F-dalgaları hastalık modellerinin seyri konusunda bilgiler barındıran, üzerinden birçok parametre çıkartılıp analiz çalışmaları yapılabilen bir kas sinyalıdır. Ayrıca nörolojik tarafta oldukça önemli bir takip parametresi olan motor ünite kestirimi (MUNE) yapabilmek için kullanılabilen sinyallerden bir tanesidir.

Bu çalışmada rutin elektromiyografi incelemelerinde kendine yer bulan F-dalgalarının nasıl kolayca kayıtlardan algılanıp çıkartılabileceği konusunda bir yöntem sunulmuştur. Çalışmanın ana odağı olan F-dalgalarının otomatik olarak algılanması ve sinyallerden ayıklanıp işaret işlemeye hazır hale getirebilmesi işlemini %96,55 gibi bir performansla gerçekleştirmiştir. Bir diğer avantajı da hem kolay uygulanabilmesi hem de test edilen 3 grup için de iyi sonuç vermesidir.

Ayrıca veri setinden her grup için rastgele seçilen 10 kişiden elde edilen F-dalgaları üzerine bir analiz çalışması da yapılmıştır. Çıkartılan parametreler arasında bir fark gözükmesine karşın, istatistiksel testler yapıldığı zaman bu fark anlamlılık seviyesinde değildir.

Oluşan bu sonucun sebeplerinden biri veri havuzunun çok büyük olmamasıdır. Bir diğer olası sebep ise kayıt sırasında submaksimal uyarı verilmesidir. Submaksimal uyarı persistansı düşürür [11]. Bu önermenin doğruluğu sonuç tablolarından (2 ve 3) da görülebilir. Submaksimal uyarımın amacı daha az motor ünite uyararak tekrarlayan F-dalgası ihtimalini arttırmaktır.

Seçilen rastgele veri setinde peristans değerlerinin birbirine yakın çıkması, diğer parametrelerin de birbirinden belirgin

şekilde ayrılmasını engellemiştir. Yine de ulnar sinir kayıtlarında hastalık gruplarında tekrarlayan sinyal sayısının normal bireylere oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki kasta elde edilen kayıtlar için de F-dalgalarının genlikleri beklendiği gibi hastalık gruplarında daha fazladır.

Veri setinin büyümesi sonrasında, geliştirilen yazılım farklı parametrelerle birlikte tekrar analiz için kullanılacak olup algoritma performansı ve sonuçlar detaylı bir şekilde paylaşılacaktır.

BİLGİLENDİRME

Yazar İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi'nden Görkem Şirin, Emel Oğuz Akarsu, Bahar Erbaş, Elif Kocasoy Orhan, Ali Emre Öge ve Mehmet Barış Baslo'ya verilerin alınması ve değerli bilgileri ile tavsiyeleri için teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Maghdery, J.W., McDougal, D.B., "Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. I. Identification of certain reflexes in the electromyogram and the conduction velocity of peripheral nerve fibers", Bull Johns Hopkins Hosp., 86(5): 265-290, 1950.
- [2] Fisher, M.A., Hoffen, B., Hultman, C., "Normative F Wave Values and the Number of Recorded F Waves", Muscle Nerve, 17: 1185-1189, 1994.
- [3] Kimura, J., Yanagisawa, H., Yamada, T., Mitsudome, A., Sasaki, H., Kimura, A., "Is the F Wave Elicited in a Select Group of Motoneurons?", Muscle Nerve, 7: 392-399, 1984.
- [4] Fisher, M.A., "AAEM Minimonograph #13: H Reflexes and F Waves: Physiology and Clinical Indications", Muscle Nerve, 15: 1223-1233, 1992.
- [5] Fisher, M.A., "H reflexes and F waves. Fundamentals, normal and abnormal patterns", Neurol Clin., 20(2): 339-360, 2002.
- [6] Fisher, M.A., "The contemporary role of F-wave studies. F-wave studies: clinical utility", Muscle Nerve, 21: 1098-1101, 1998.
- [7] Stålberg, E., Sonoo, M., "Assessment of variability in the shape of the motor unit action potential the jiggle, at consecutive discharges", Muscle Nerve, 17: 1135-1144, 1994.
- [8] Oğuz Akarsu, E., Şirin, N.G., Kocasoy Orhan, E., Erbaş, B., Dede, H.O., Baslo, M.B., Idrisoglu, H.A., Öge, A.E., "Repeater F-waves in amyotrophic lateral sclerosis: Electrophysiologic indicators of upper or lower motor neuron involvement?", Clin Neurophysiol., 131(1): 96-105, 2020.
- [9] Buschbacher, R.M., "Median nerve F-wave latencies recorded from the abductor pollicis brevis", Am J Phys Med Rehabil., 78(6 Suppl): S32-S37, 1999.
- [10] Buschbacher, R.M., "Ulnar nerve F-wave latencies recorded from the abductor digiti minimi", Am J Phys Med Rehabil., 78(6 Suppl): S38-S42, 1999.
- [11] Artuğ, T., Şirin, N.G., Oğuz Akarsu, E., Baslo, M.B., Öge, A.E., "An Algorithm for Automatic Detection of Repeater F-Waves and MUNE Studies", Biomedical Signal Processing and Control, 51: 264-276, 2019.