

Elektrofizyolojinin Temelleri

İbrahim Öztura

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nöroloji AD, İzmir

EEGNİN KAYNAĞI

EEG, dikey eksenin(y) voltaj, yatay(x) eksenin frekans olduğu bir voltaj-zaman grafiğidir. Belirli bir andaki yerleştirilmiş iki(en az birisi saçlı deride olan) elektrot alanı arasındaki voltaj farkıdır. EEG'nin iki açıdan farklı iki tanımı yapılabilir. İşlemsel olarak; belirli bir zamanda kaydedilmiş iki farklı kayıt bölgesi arasındaki voltaj farkıdır. Yorumsal olarak ise Korteks piramidal hücrelerinin ürettiği inhibitör ve eksitator postsinaptik potansiyellerden oluşmaktadır.

EEG'yi üreten hücresel aktivite temel olarak piramidal hücre membranı boyunca elektrik yükünü değiştiren kortikal postsinaptik potansiyel değişiklikleridir. Postsinaptik potansiyellerden kaynaklanan elektrik akımlarının zamansal ve uzamsal toplamı farklı EEG dalgalarının kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Elektriksel potansiyel değişikliklerinin kortikal bölgede sumasyonu temelde dikey yerleşimli kortikal piramidal hücrelerde gerçekleşir. Elde edilen potansiyellerin düzensiz olması beklenirken, ritmik nitelik göstermesi ise daha çok hayvan deneyleriyle gösterilen talamusun medial, intralaminar ve lateral çekirdeklerinin ritmisite özellikleri ve kesi çalışmalarında da gösterilen talamik ritmik aktivite ile açıklanmaktadır.

Bu bulgular ile talamusun ritmik aktivitelerin üretilmesinde ya da hızlandırılmasında önemli rol oynadığı kabul edilmektedir.

EEG kaydı esnasında saçlı deri üzerindeki elektrotlar ile altta bulunan kortekste toplanan elektriksel değişiklikler kaydedilir. Bu esnada uzak alan potansiyelleri ve beyin dışı potansiyellerde kaydedilebilir. Kayıtlanan potansiyellerin amplitüdünü etkileyen faktörler; elektrik kaynağının yoğunluğu, kayıt elektrotlarının uzaklığı, kaynak ile kayıt elektrotları arasındaki yapıların elektriksel direnç ve kapasitansdır.

KAYIT ELEKTROTLARI

Elektrotlar, bir ucunda kayıt kutusuna giriş fişi diğer ucunda kayıtlama kısmı bulunan iletken bir telden oluşur. Saçlı deri elektrotları, empedansı düşürmek üzere saçlı derinin kayıt için hazırlanmasından sonra yerleştirilir. Metal disk ve kap elektrotlar genellikle 4-10 mm çapındadır.

Elektrotları saçlı deriye yapıştırmada, kollodion, pasta ya da kepek elektrotlar kullanılmaktadır. Kollodion sabit ve az artefaktlı bir kayıtlama için ideal olmakla birlikte uygulanması ve çıkarılması bazı güçlükler taşıdığından, kısa kayıtlamalarda diğer yöntemler daha fazla tercih edilmektedir.

Metal disk elektrotlar dışında klips elektrotlar, iğne elektrotlar, nazofaringeal elektrotlar, sfenoidal elektrotlar, elektrokortikografik ve derinlik elektrotları da mevcuttur.

Kayıt elektrotları elektriksel potansiyeli en az değişiklikle EEG cihaz girişine ulaştırmalıdır. Bu amaçla uygun materyalden yapılmış elektrotlar kullanılmalı, kuşku durumlarda elektrot dirençleri kontrol edilmeli, empedanslar düzenli olarak ölçülmeli ve elektrot polarizasyonları ölçülerek bias potansiyelleri önlenmelidir.

Elektrot rezistansı elektrotu oluşturan parçaların bütün olarak elektrik akımına gösterdiği direnç olarak ifade edilebilir ve birkaç ohm'dan fazla olmamalıdır.

Elektrot empedansı ise elektrotla saçlı deri arasındaki elektriksel direncin, değişken dirençli biyolojik ortamlardaki özgülüdür. 100 ile 5 kilo ohm arasında olmalıdır. Çok düşük empedanslar iki elektrot arası kısa devreyi, çok yüksek empedanslar ise düşük empedanslı bir elektrotla amplifikatöre bağlandığında 50 Hz interferansa neden olabilir.

Elektrotlar saçlı deriye uluslar arası 10-20 sistemi ile yerleştirilmektedir.

EEG CİHAZLARI

Elektrot giriş paneli hastanın yakınında olmalı, elektrot kablo uzunluğu 1 metreyi geçmemelidir. Daha uzun kablo boyu interferans açısından sorun yaratabilir. Dijital EEG cihazlarında amplifikatörün giriş panelinde yerleşik olması, amplifikatörden çıkan kablunun, yalıtıldığı için daha uzun olmasında sakınca yoktur.

Analog EEG cihazı için standart duyarlılık ayarı 7 mikrovolt/mm'dir. Bu duyarlılık ayarında amplifikatöre gönderilen her 50 mikrovoltluk akım için 7.14 mm'lik bir sapma edilmelidir. Dijital cihazlar içinse sinyal jeneratörü frekansı ve voltajı teknisyen tarafından belirlenen bir dalga sinyali yaratmalıdır.

Analog ve dijital biyokalibrasyon, amplifikatörlerin performansını karşılaştırmak daha da önemlisi tüm kayıt sisteminin bütünlüğünü test etmek için kullanılır.

Amplifikatörler iki temel işlev taşımaktadır. Bunlar diferansiyel diskriminasyon ve amplifikasyondur. Diskriminasyon ile amplifikatörün giriş 1 ile 2'si arasındaki elektrotların potansiyel farklılıklarını ortaya çıkarırken, her iki giriş için ortak olan potansiyelleri de ayırıp reddetme(common mode rejection) işlevidir. Amplifikasyon ise potansiyel farklılıklarının boyutlarını arttırarak fark edilebilir hale getirmektir.

Diskriminasyon, amplifikatörün iki girişinde potansiyeller toprak hattına göre ters yönde aynı güçte güçlendirilirler. Sonuçta giriş 2'ye uygulanan sinyalin polaritesi giriş 1 sinyal gücünden çıkarılması ile differansiyasyon gerçekleştirilmiş olur. Elde edilen potansiyel giriş 1 ve 2 arasındaki sinyal farkının güçlendirilmesi ile elde edilmiş olur. Giriş 1'e gelen negatif potansiyel yukarı, pozitif potansiyel aşağı doğru sapmaya neden olurken, giriş 2 için negatif potansiyel aşağı, pozitif potansiyel yukarı doğru sapmaya neden olmaktadır.

Diferansiyel amplifikasyon ile amaçlanan beyinden kaynaklanmayan her iki girişe eşit yansıyacak olan potansiyelleri dışlamaktır.

Filtreler, EEG'den gelen görece düşük ve yüksek frekanslardaki dalgaları dışlamak için kullanılmaktadır. Filtreler EEG sinyali diferansiyel amplifikatörden tek çıkışı 2. amplifikatöre alındıktan sonra devreye girmektedir. EEG cihazları 3 farklı filtre içermektedir. Bunlar yüksek frekanslı EEG dışı dalgaları filtreleyen Yüksek Frekans Filtreleri, alçak frekanslı EEG dışı dalgaları filtreleyen Alçak Frekans Filtreleri ve çentikli filtre denen elektrik hat girişimlerini ortadan kaldıran filtrelerdir.

Zaman sabiti alçak frekans filtrelerinin kare dalgalar üzerindeki etkisini göstermektedir. Amplifikatör girişine uygulanan kalibrasyon kare dalgasının amplitüdünün % 63 azalması için gereken zamandır.

50 Hz filtre şebeke akımının neden olduğu etkilenmeyi ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır.

Analog-dijital dönüşüm, tüm dijital cihazlarda analog amplifikatörler ve filtreler bulunduğu için kullanılmaktadır. Analog-dijital dönüşüm (ADC) için örneklem hızı, çözümlenecek amplitüd düzeyi sayısı ve giriş voltaj aralığı önemlidir.

Örnekleme oranı, analog sinyali temsil edecek olan dijital sinyalin bir saniyedeki dijital örneklem sayısı olarak tanımlanabilir. Örneklem frekansı, dönüştürülecek dalga frekansının en az iki katı olmalıdır(Nyquist teoremi) ADC'de mevcut amplitüd düzeyi sayısı 'bit' olarak ifade edilir.

Dijital EEG analizinin avantajlarından bir diğeri filtre ayarlarının geriye dönük olarak EEG değerlendirme esnasında yapılabilmesidir. Bu amaçla geliştirilmiş en yaygın kullanılan üç yöntem; sonlu sinyal yanıtı(FIR), sonsuz sinyal yanıtı(IIR) ve hızlı Fourier dönüşümü(FFT) dir. En sıklıkla FIR sistemi dijital EEG cihazlarında kullanılmakta olup bu sistemin çalışma biçimi amplitüd averajlaması olarak özetlenebilir. Analog filtrelerde olduğu gibi dijital filtrelerin kullanılmasında da dikkatli olunmalıdır.

EEG'de DERİVASYON ve MONTAJ

EEG yorumunda saçlı deri üzerindeki EEG potansiyellerinin dağılımının uzamsal analizi temel kaynaktır. Ancak diferansiyel amplifikasyon ile EEG'de elektriksel girişimin yok edilerek kayıtlanması avantajını sağlarken, tek tek herhangi bir elektrottaki mutlak potansiyel değerinin bilinmemesine yol açar. Bu nedenle tek bir elektrottaki aktiviteye ilişkin yorum yapabilmek için birden çok diferansiyel elektrottan kayıt kombinasyonu gerekli olmaktadır.

Elektrot kayıt kombinasyonları derivasyon ve montajlar olarak tanımlanmaktadır. Her bir amplifikatör kanalı için elektrot seçimine derivasyon, birden çok derivasyon kombinasyonu ise montaj olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde en sık kullanılan 5 temel montaj türü; bipolar, ortak elektrot referansı, averaj referans, ağırlıklı averaj referansı ve Laplesyen(kaynak) montajıdır.

Uykunun elektrofizyolojik kayıtlanması

Uykuda ilk fizyolojik kayıtlama olarak, 1923'de MacWilliams tarafından kan basıncının uyku esnasında düşmesi ve belirli periyotlarda dalgalanmalar gösterdiğinin bildirilmesi alınabilir. Bunu 1937 yılında Loomis ve ark. nın NREM uykuya ait EEG değişikliklerini göstermesi ve Aserinsky ve Kleitman'ın REM uykuya ait değişiklikleri göstermesi izlemiştir. Ardından uyku evrelerinin fizyolojik kriterlerinin belirlenmesi ve standardizasyonu çalışmaları başlamıştır. 1968'de Rechtschaffen ve Kales'in liderliğinde normal erişkin uykusunun skorlanması için bir rehber tanımlanmıştır.⁴ 2007 yılından itibaren AASM tarafından uyku evrelerini skorlama kılavuzları yayınlanmaya başlamıştır.

Polisomnografi(PSG) terimi ilk olarak 1974 yılında Stanford Üniversitesinden Holland ve arkadaşları tarafından kullanılmış ve PSG uykuda fizyolojik parametrelerin eşzamanlı kayıtlanması ve analizi olarak tanımlanmıştır. Polisomnografik incelemede uyku skorlaması için gerekli olan elektroensefalografi (EEG), elektrookulografi(EOG) ve submental elektromiyografi(subEMG) ile birlikte solunumsal ve kardiyak parametrelerin de izlenmesi, uyanıklık ve farklı uyku evrelerinde ortaya çıkan ayırt edici fizyolojik değişikliklerin saptanmasını sağlamıştır. Bu verilerle öncelikle normal uykunun, ardından da uyku bozukluğu olan hastaların araştırılması olanaklı hale gelmiştir. Günümüze de devam etmekte olan araştırmalarla birçok yeni uyku ile ilişkili bozukluk tanımlanmakta ve uyku bozuklukları sınıflandırılmasına eklenmektedir.

Başlangıçta kullanılan çok kanallı kayıt yapabilen analog poligraflardan sonra doksanlı yıllarda gelişmekte olan dijital teknolojinin tıbbi teknolojiye entegrasyonu ile kâğıt ve yazdırıcı kalemler ortadan kalkmış ve dijital PSG cihazları ile daha hızlı, güvenli ve kaliteli veri elde edilmesi, depolanması ve değerlendirilmesi olanaklı hale gelmiştir.

Teknik Donanım

Polisomnografi cihazları temel olarak, değişken ve direkt akım yükselticilerinin birleşiminden oluşan bir ortak yükselticiye sahiptir ve bu devre insandan elde edilen elektrik potansiyellerinin süzülüp güçlendirilmesi ve cihaza aktarılmasını sağlamaktadır. Alınan bu sinyalleri yazdıran bir devre ya da analog sinyali dijital sinyale çeviren bir dönüştürücü devre ile bunların depolanmasını, işlenmesini ve analizini sağlayan bir bilgisayar temel yapıyı oluşturmaktadır.

Yükseltici kısmı alınan sinyallerin süzülmesi işlemi için frekans filtrelerini kullanmakta ve bu filtreler bir anlamda kontrol kapısı işlevini görerek istenilen frekanstaki dalgaların alınıp güçlendirilerek, istenmeyen dalgaların yok edilmesini sağlamaktadır. Değişken akım yükselticileri hem yüksek hem düşük frekans filtrelerine sahip olup, EEG, EOG, EMG ve EKG gibi yüksek frekanslı fizyolojik verilerin kayıtlanmasında kullanılmaktadır. Direkt akım yükselticileri ise düşük frekans filtresine sahip değildirler ve oksimetre, pH metre, vücut ısısı ve ösefagus basınç takibi gibi daha düşük frekanslı fizyolojik verilerin kayıtlanması yapılamamaktadır. Oronazal hava akımı, göğüs ve karın solunum hareketleri hem değişken hem de direkt akım yükselticileri ile kayıtlanamamaktadır.