

Epilepsi Cerrahisinde Subdural İnvaziv EEG Monitorizasyon; Cerrahi Teknik ve Değerlendirme

Gönül Güvenç¹

Özet

İntrakraniyal elektrotlarla elde edilen elektroensefalografi (EEG) kayıtları, saçlı deri elektrotlarıyla elde edilen kayıtlara kıyasla önemli avantajlara sahiptir. İntrakraniyal subdural grid, strip ve derin elektrotlarla yapılan EEG izlemi invaziv monitörizasyon olarak adlandırılır. İlaç-dirençli epilepsili birçok olguda noninvaziv testler cerrahiye karar vermede yeterli olabilir. Ancak epileptik odağın saptanmasında noninvaziv tetkikler yetersiz veya birbirleriyle uyumsuz ise, dual patoloji söz konusuysa, manyetik rezonans görüntüleme negatifse ya da epileptojenik lezyon fonksiyonel kortekse yakınsa invaziv inceleme gereklidir. İntrakraniyal elektrotlarla epileptik odak doğru biçimde lokalize edilebilir. Bu yaklaşım kortikal stimülasyon ve fonksiyonel haritalamaya olanak tanır. Bu yazı, subdural elektrot yerleştirme cerrahisi, invaziv monitörizasyon, fonksiyonel haritalama ve intrakraniyal EEG kayıtlarının değerlendirilmesi yöntemlerini özetlemeyi amaçlamaktadır.

1. Giriş

Epilepsi cerrahisinin amacı nöbetlerin tam kontrolüdür. Nöbet kontrolünün yanısıra, hastayı ilaç yan etkilerinden korumak, yaşam kalitesini artırmak, epilepsi hastalığının morbidite ve mortalite riskini azaltmaktır. Epilepsi hastalarında ani ölüm riski (SUDEP /Sudden Unexpected Death in Epilepsy) , genel popülasyona göre 27 kat fazladır ve epilepsi hastalarında ölüm nedenlerinin %8-17'sini oluşturmaktadır (1). Dirençli epilepside, erken cerrahinin en önemli sebeplerinden biride SUDEP'dir (2,3). Cerrahi tedavi ile nöbetsizlik sağlanırken aynı zamanda sosyal bağımlılık ve engellilik ortadan kaldırılır. Epilepsi cerrahisinin başarısı için, cerrahi öncesi

1 Doç. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Muğla/ Türkiye, drgonul35@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9382-8610

incelemelerle epileptojenik odağın doğru ve tam lokalizasyonunun tespiti en önemli kriterdir (4). Hastaların çoğunda invaziv olmayan testler sonrasında cerrahiye karar verilebilir. Eğer nöbet başlangıcı saçlı deri elektroensefalografi (EEG) kayıtları ile tam lokalize edilemiyorsa, semiyolojik nöbet bulguları EEG bulguları ile uyumsuz ise, saçlı deri EEG kayıtlarında bilateral EEG değişiklikleri mevcut ise ve dual yada multipl lezyon varsa invaziv incelemeleri gerektirir. Lezyonsuz MRG negatif olgularda, özellikle ekstrapetemporal epilepsilerde invaziv monitörizasyon zorunludur (5,6).

İnvaziv incelemeler için hasta seçimi ve hangi tekniğin kullanılacağı merkezler arası değişiklikler göstermesine rağmen en önemli endikasyonu invaziv olmayan incelemelerin sonuçsuz kaldığı durumlardır. Ayrıca tespit edilen epileptojenik alanın önemli kortikal alanlarla ilişkisini belirleme ve kortikal haritalama gerektiren durumlar invaziv işlem gerektirmektedir (7). Cerrahiye aday hasta seçiminde en önemli kriter, unilateral epileptik odağın varlığının, lateralizasyon ve lokalizasyonunun tespit edilmesidir. Aday hastaların 1/3'ünde , yüzeysel EEG kayıtları özellikle temporal lob epilepsisinde , bitemporal deşarjlarda , unilateral başlangıcı yada bitemporal bağımsız iktal başlangıcı göstermede yetersiz kalabilir. Bu durumda temporal epilepside, nöbet lateralizasyonunu belirlemek için invaziv EEG'ye ihtiyaç duyulur. İnvaziv elektrotların maliyetinin ve komplikasyon oranının yüksek olması nedeniyle daha az invaziv yöntemlerle iktal başlangıcın lateralizasyonu yapılabilirse invaziv ihtiyacı ortadan kalkabilir. Sfenoidal elektrotlar (SE), Foramen Ovale (FO) elektrotları, Nazofarengeal (NF) ve Nazoetmoidal (NE) elektrotları olarak adlandırılan bazal elektrotlar bu amaçla kullanılmaktadır (8). Dirençli temporal lob epilepsisinde unilateral epileptik odağın tespitinde bazal elektrotlarla yapılan yarı invaziv EEG kayıtları da yetersiz kaldığında invaziv incelemelere geçilmektedir.

İnvaziv incelemeler , subdural elektrotların beynin yüzeyine, derin elektrotların beyin dokusunun içine yada hipokampusu cerrahi yöntemle yerleştirilmesi ve daha sonra video-EEG monitörizasyon ünitesinde uzun süreli iktal /interiktal EEG kayıtlarının elde edilmesidir. Gerek duyulan olgularda bu elektrotların stimülasyonu ile fonksiyonel beyin bölgelerini haritalamada kullanılmaktadır. İntrakraniyal elektrot kullanımıyla ilişkili morbidite ve mortalite riskleri vardır. Ancak, risk ve faydaların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesiyle invaziv bir değerlendirme seçildiğinde, epilepsi cerrahisi için bir strateji oluşturmak üzere faydalı bilgiler sağlar. Bu yazıda subdural elektrotların yerleştirilmesi, kayıtların değerlendirilmesi, kortikal stimülasyon ve fonksiyonel haritalama yöntemlerinde teknik detaylar gözden geçirilmektedir.

1.1.Subdural elektrotlarla invaziv EEG monitorizyon

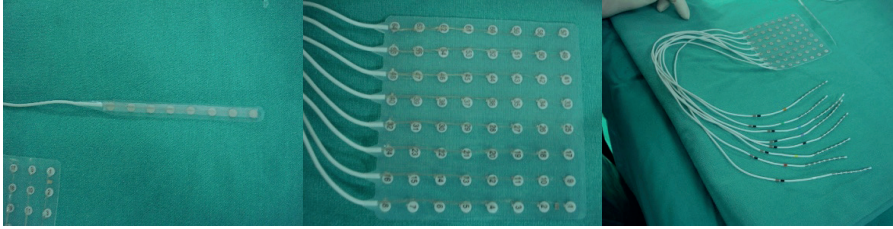
İntrakraniyal elektrotlarla elde edilen EEG kayıtları, saçlı deri elektrotlarla elde edilen kayıtlarla karşılaştırıldığında, önemli avantajlara sahiptir. İntrakranial elektrotlardan elde edilen kayıtlarda kas ve hareket artefaktı olmaz, lokalize çok düşük amplitüdü hızlı aktiviteler bile kaydedilebilir. Bu sayede nöbet başlangıcı, yayılım paternleri, iktal/interiktal EEG değişiklikleri daha iyi kaydedilebilir ve saçlı deri elektrotlarından elde edilemeyen bilgiler sağlanabilir. Başarılı bir epileptik odak tespiti için yerleştirilen elektrotların tüm şüpheli epileptik alanları kapsayacak şekilde, çoklu olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Elektrotların yerleştirileceği beyin korteksi alanına, epilepsi cerrahi öncesi ilk inceleme yöntemleri olan non invaziv inceleme sonuçlarına göre karar verilir. Bu incelemeler nöbet semiyolojisi, saçlı deri EEG kayıtları, yapısal ve fonksiyonel görüntüleme yöntemlerini içermektedir. Kafa içi elektrotların yerleştirilmesi öncesinde, uygulanan noninvaziv incelemelerle şüpheli epileptojenik alan için hipotez oluşturulmalıdır. İyi ve doğru hipotez oluşturulmadan beyin yüzeyine elektrot yerleştirilirse kayıtlardan elde edilen veriler yanıltıcı olur. Nöbet anında epileptik odağı değil, nöbetin yayılım paterni kaydedilmiş olabilir. Hangi hastaya hangi sayıda elektrotun yerleşeceğine dair net bir kriter yoktur. Her hastaya göre planlama değişmektedir.

1.1.1.Subdural elektrot tipleri

Subdural elektrotlar, şerit şeklinde olan strip elektrotlar ve ızgara şeklinde olan grid elektrotlar olarak iki şekilde ticari olarak piyasada bulunmaktadır. Strip elektrotları, teflon veya silikon üzeri, 1-1,5 cm aralıklarla yerleştirilmiş, 5 mm çapında platin veya paslanmaz çelik materyalinden yapılmış elektrotlardır. Tek sıra halinde dizili olan bu elektrot şeritleri 5-9 cm uzunluğundadır. Her birinde 4-8 elektrot bulunur. Sadece strip elektrot kullanılacak ise genel anestezi altında kafatasına açılan burr hole delikleri aracılığıyla yerleştirilebilir. Esneklikleri sayesinde beyin yüzeyinde kaydırılabilir, temporal lobun bazal yüzeyine, interhemisferik fissür gibi beyinin ara yüzeylerine kolaylıkla uzatılabilir. Strip elektrotların genel anestezi altında kısa sürede yerleştirilebilmeleri ve yatak başı kolaylıkla çıkarılabilmeleri en önemli avantajlarıdır. Ancak kayıt aldıkları kortikal yüzey alanı sınırlıdır. Temporal lob bazali dışında genellikle grid elektrotlara ilave olarak kullanılırlar (9).

Grid elektrotlar, iki veya daha fazla sıralı, teflon yada silikon materyelinden esnek ve şeffaf zemin üzerinde, 1 cm aralıkla dizilmiş en az 20 en fazla 64 elektrot içeren, ızgara şeklinde elektrotlardır. Grid elektrotları yerleştirmek

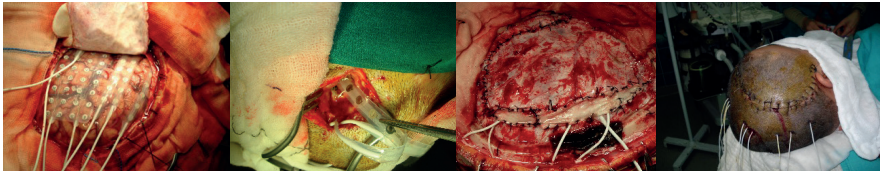
ve çıkarmak için genel anestezi altında geniş kraniotomi yapılması gereklidir. Gridler geniş kortikal alanlarda epileptik odağın araştırılmasında tercih edilir. Grid elektrotların dönemediği interhemisferik ve bazal yüzeylerde ek olarak strip elektrotlar yerleştirilir. Grid elektrotlar, kortikal stimülasyon yapmaya ve fonksiyonel haritalamaya olanak sağlar (Resim 1a,b,c).



Resim1a,b: Subdural 8'li strip elektrot, 64'lü grid elektrot ve elektrot kabloları

1.1.2.Cerrahi yöntem

Genel anestezi altında kraniotomi yapıldıktan sonra, hem strip hem grid elektrotların subdural mesafeye yerleştirilmesi sonrasında her bir elektrot sırasından çıkan elektrot kabloları, subdural mesafeden epidural mesafeye uzatılır. Epidural mesafeden saçlı deriye her bir elektrot kablosu ayrı ayrı çıkacak şekilde delikler açılarak kraniumun dışına uzatılır. Dura, elektrotları boğmayacak ancak beyin omurilik sıvısı (BOS) fistülü gelişmesini de önleyecek şekilde, gerekirse duraplasti ile genişletilerek beyne baskı yapmayacak şekilde kapatılır. BOS fistülü riski oluşturacak dural açıklıklarda dura üzerine doku yapıştırıcıları ile kapatma gerekli olabilir. Elektrotlar ve kabloları asla kıvrılmamalı ve sıkışmamalıdır. Tüm bu aşamalar kontrol edildikten sonra usulüne uygun olarak kraniotomi flebi yerine konulur. Sadece elektrot kablolarının en uç kısmı açıkta kalacak şekilde sıkı bir pansumanla cerrahi kesi alanı kapatılır (Resim 2 a,b,c,d).

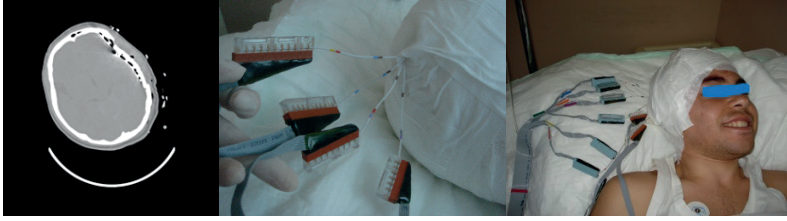


Resim 2a,b,c: Grid ve strip elektrotların kraniotomi, tek strip elektrotların burr hole ile yerleştirilmesi, duranın kapatılması, elektrot kablolarının saçlı deriden dışarıya alınması

Grid elektrotların hem yerleştirme hemde çıkarma aşamasında genel anestezi altında kraniotomi yapılması gerektirmesi, geniş kraniotominin BOS fistülü riski, dolayısıyla enfeksiyon riski taşıması, kanama, beyin ödemi gibi komplikasyonlar geliştiği takdirde erken çıkarılma gerekliliği gibi durumlar dezavantajlarını oluşturmaktadır.

Subdural ve epidural elektrotların morbidite ve mortalite riski, derin elektrotlara göre daha düşüktür. Subdural veya epidural elektrotlarda bu risk % 1-2 oranındadır. Subdural mesafeye elektrot yerleştirmenin zor olduğu, ciddi subdural yapışıklık olan olgularda epidural elektrotlar bir seçenek olabilir. İnvaziv monitörizasyon, dirençli epilepsinin cerrahi tedavisi için faydalı ve gerekli bir tekniktir. İnceleme dönemi boyunca, özellikle büyük subdural grid yerleştirilmişse, dikkatli bir gözetim gereklidir. İyi bir çalışma hipotezi ile komplikasyonları en aza indirebilir ve daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Cerrahi teknik, nüanslar ve uygulama protokolleri morbidite oranını en aza indirebilir (10,11 ,12).

Uzun süreli video EEG monitörizasyon için, subdural elektrot yerleştirilmiş hastalar, postoperatif yoğun bakım ünitesine alınmadan önce kontrol beyin tomografisi görüntülemesi yapılır. Kontrol görüntülemedeki amaç hem kraniotomi kaynaklı kanama , beyin ödemi gibi olası komplikasyon gelişip gelişmediğini kontrol etmek hem de elektrotların son pozisyonunu doğrulamaktır. Hastalar genellikle postoperatif ilk geceyi yoğun bakımda gözlemde geçirdikten sonra herhangi bir intrakranial ve sistemik komplikasyon gelişmediği takdirde video EEG ünitesine alınır. Saçlı deriden dışarıya alınan her bir elektrot kablusunun ucunda, subdurale yerleştirilen strip yada grid elektrot sayısı kadar konneksiyon noktaları ve her elektrot kablosu ucunda ayırt edici olması amacıyla her bir kabloda farklı renk skalaları bulunmaktadır. Epileptolog ve EEG teknisyeni tarafından EEG cihazının kabloları ile elektrot kabloları , kabloları uygun konneksiyon pinleri ile bağlanır. Sayı ve numaraları belirli olan elektrotların, EEG cihazına montaj sıralaması ve adlandırmalarında ameliyat sırasında oluşturulan, anatomik pozisyonlarına ait kayıtlar gerekirse görüntülemelerden yararlanılarak yapılır (Resim 3a,b,c).



Resim 3a,b,c: Subdural elektrot pozisyonlarının beyin BT ile kontrolü, ara konnektörler, subdural elektrotlar ile EEG cihazı kablolarının konneksiyonu,ile monitörizasyona hazırlık aşamaları

Montaj sonrası hastaların uzun süreli video EEG monitorizasyonu başlar. Monitorizasyon süresi en az 3 nöbet kaydı olacak şekilde en az 5 gün olmalıdır. Yeterli veri elde edilemediği durumlarda 2 haftaya kadar uzayabilir. Monitorizasyonda iktal ve interiktal kayıtlamalar, gerekirse elektrot uçlarından kortikal stimülasyon cihazının bipolar probu aracılığıyla stimülasyonu ve fonksiyonel haritalama çalışmaları gerçekleştirilir.

1.1.3.İnvaziv monitörizasyon ve değerlendirme

Subdural elektrotlarla yapılan EEG kayıtlarının, hem interiktal hem de iktal döneme ait olsun, değerlendirilmesi epileptologlar içinde özel eğitim ve uzmanlık gerektirmektedir. Çünkü invaziv elektrotlarla tespit edilen deşarjların özellikleri, saçlı deri elektrotlarla yapılan kayıtlara göre şekil, amplitüd ve frekans özellikleri farklılıklar gösterir. Özellikle yüksek frekanslı osilasyonlar gibi bazı özellikli EEG paternlerinin tanınması ile o elektrotun altındaki epileptik doku rezeke edildiğinde cerrahi başarı oranı artmaktadır. (13).

İktal EEG kayıtlarında, nöbet başlangıcı ve nöbet sonlanma paternlerinin iyi tanınması gerekmektedir. Shokooh ve arkadaşları, 20 hastadan elde ettikleri 103 intrakranial EEG kaydında, nöbet başlangıcı ve sonlanma paterninin morfolojisi ve yerini incelediler. Bu çalışmada, 103 kayıtdan 9 nöbet başlangıcı ve 6 nöbet sonlanma paterni belirlediler. En yaygın başlangıç deseni olarak, düşük voltajlı hızlı aktivite (%36) ve en sık sonlanma deseni olarak ise burst supresyonu (%44) olduğunu bildirdiler (14). Nöbetler farklı patolojik dokulardan kaynaklandığı için farklı patolojilerde nöbet oluşumunun altında yatan mekanizmalar farklı mı yoksa benzer mi olduğu sorusu ortaya çıkmaktadır. Nöbet başlangıcında, intrakranial EEG morfolojik desenlerinin daha iyi tanımlanması , bu tür mekanizmaların anlaşılmasını feliştirmede çok yararlı olabilir. Perucca ve arkadaşları bu amaçla farklı epileptojenik lezyonlarla ilişkili, intrakranial EEG nöbet başlangıç desenlerini araştırdılar.

İlaça dirençli fokal epilepsisi olan ve yapısal görüntülemelerinde görünür lezyonu olan 33 hastanın 53 nöbet kaydını incelediler. Örnekleddikleri 53 nöbetin tamamında 7 adet nöbet başlangıç paterni tanımladılar. Düşük voltajlı hızlı aktivite (%43), düşük frekanslı yüksek amplitüdüli periyodik spike'lar (%21), 13 Hz ve altında keskin aktivite (%15), spike ve dalga aktivitesi (%9), yüksek amplitüdüli çoklu spike patlamaları (%6), burst supresyonu (%4) ve delta brush (%4) tarzı EEG paternleri saptadılar. Delta brush tarzı EEG paterninin kortikal displaziye özgü olduğunu, bunun haricindeki her bir desenin birkaç patolojide ortaya çıktığını bildirdiler. Nöbet yayılım bölgelerinde ayrıca 13 Hz ve altında keskin aktivite, düşük voltajlı hızlı aktivite, diken-dalga aktivitesi ve periyodik dikenler olmak üzere dört EEG patrne ortaya çıktığını belirttiler (15). Ferrari-Marinho , interiktal ve iktal hızlı frekanslı osilasyonların farklı nöbet başlangıç morfolojik desenleriyle nasıl ilişkili olduğunu araştırdıkları çalışmalarında, yüksek frekanslı osilasyonların (80-600 Hz) nöbet başlangıç bölgesinin spesifik bir belirteci olduğunu, bu çalışmanın klinik uygulamada , özellikle cerrahi öncesi değerlendirmede, nöbet başlangıç bölgesini daha iyi lokalize etmek için kullanılıyorsa, hızlı frekanslı osilasyonları analiz ederken , nöbet başlangıç desenlerinin ayırt edilmesi ve belirtilmesi gerektiğini vurguladılar (16). Bir meta analizde, epilepsi cerrahisinde intrakranial elektrotlarla incelemeye ihtiyaç duyulmasının, nöbetsiz kalma olasılığı açısından diğer hastalara göre kötü prognostik faktör olduğu bildirilmektedir. Bunun nedeni olarak yanlış hipotezle elektrot yerleştirme yada lezyonun fonksiyonel kortekse yakın olması nedeniyle tam çıkarılamaması gibi nedenlerin rol oynadığı belirtilmektedir. Fonksiyonel kortekse zarar verme olasılığının anlaşılması , hastanın operasyondan sonradan vazgeçmesi , olası komplikasyonlar veya muhtemel yanlış hipotezle elektrot yerleştirmeye bağlı olarak iktal başlangıcı tespit edememe gibi çeşitli nedenlerle, hasta opere edilemeyebilir. Bu yüzden hastalara elektrot yerleştirmeden önce bu yöntemin bir tetkik yöntemi olduğu , tedavi amaçlı yapılmadığı ama tedaviye uygunluğunun araştırılması için yapıldığı mutlaka anlatılmalıdır (17). Özellikle riskler iyi tartışılmalıdır.

Noninvaziv lokalizasyon tekniklerindeki ilerlemelere rağmen, dirençli epilepsili bir çok hastada epileptik odağın belirlenmesi için invaziv elektrotların yerleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Intrakranial elektrotlar konularak inceleme yapıp opere edilen 414 vakalık bir seride, uzun dönemli takiplerde nöbetsizlik oranı birinci yılda %61, beşinci yılda %42, onuncu yılda %33 'dür. Bu çalışmaya göre invaziv EEG incelemesi gerektiren karmaşık epilepsi popülasyonunda olumlu nöbet sonuçları alınabileceği, epileptik odağın yanlış lokalizasyonu veya eksik rezeksiyonun

erken postoperatif nökslerden sorumlu olduğunu ayrıca epileptogenezisin ise daha sonraki yıllarda nökslere yol açabileceği de vurgulanmaktadır (18).

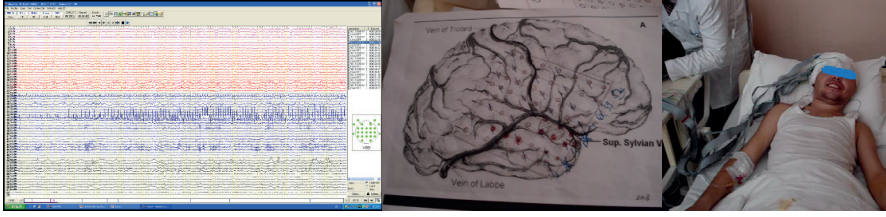
1.1.4.Kortikal stimölasyon ve fonksiyonel haritalama

Serebral korteks yüzeyine yerleştirilen subdural strip yada grid elektrotların bipolar elektriksel uyarılarla uyarılmasına kortikal stimölasyon denir. Böylece kortikal stimölasyonla lisan, motor ve duysal fonksiyonlar hakkında önemli bilgiler elde edilebilir. Bu işlemin amacı rezektif prosedür gereken cerrahi işlem esnasında, önemli kortikal alanların zarar görmemesinin sağlanmasıdır. Primer kortikal alanlara yakın bir yerde cerrahi planı yapılmışsa , bu bölgelerin yerleşimi ve büyüklükleri çeşitli varyasyonlar gösterdiğinden daha spesifik bir haritalama kortikal stimölasyon işlemi ile gerçekleştirilir.

Fonksiyonel haritalama ekstraoperatif yapılabildiği gibi intraoperatif de gerçekleştirilebilir. Ekstraoperatif olarak kronik subdural veya epidural elektrotlar aracılığı ile yapılmaktadır. Ekstraoperatif yöntemin avantajı, daha rahat bir ortamda kayıtlar yapılabilmekte ve gerekirse birkaç gün süre ile kayıtlar tekrarlanarak güvenilir olması sağlanabilmektedir. İnteriktal ve iktal kayıtlamalarla hangi elektrotların nöbetden sorumlu olduğu tespit edildikten sonra, çıkarılması düşünülen elektrotların elektriksel stimölasyonla uyarılması ile altındaki serebral kortekse ait bir fonksiyon kaybı yada istenmeyen bir fonksiyon ortaya çıkıp çıkmayacağına bakılabilir. Kortikal stimölasyona başlamadan önce invaziv nöbet kaydı için azaltılan antiepileptik ilaç dozu eski dozuna çıkılması gerekir.

Stimölasyon için kullanılan cihaz Ojeman kortikal stimölator cihazıdır. Cihaza bağlanan bipolar stimölasyon probu ile subdural mesafeye yerleştirilen elektrotların dışarıda kalan kablolarının ucunda yer alan ve her bir elektrotu temsil eden uçlarından uyarı verilir. Her bir elektrot azdan başlayarak giderek artırılan amperde uyarılır. Dil alanını belirlemek için hastaya bir metin sürekli okutulur veya hasta konuşturulur. Dil alanları uyarıldığında konuşmada duraksama, afazi disfazi gibi klinik tablolar ortaya çıkabilir. Motor bölge içinde, hasta elleri önde , açıp kapatırken uyarı verilir. Motor korteks uyarıldığında negatif yada pozitif motor fenomenler ortaya çıkar. Ojeman kortikal stimölator cihazında genel olarak kullanılan parametreler; 50 Hz , bifazik, sabit akım, 300 mikrosaniye, 1 mA' den başlayıp 15 mA' e kadar artırarak , her hedeflenen elektrot uyarılır (17). Peroperatif elektrotların pozisyonunu görüntüleyen şema üzerinde , stimölasyonun yarattığı sonuç ve hangi elektrotun altı korteks yüzeyi nöbetlerden sorumlu olduğu işaretlenir. Bu işaretlemeler ile hem motor , dil ve duysal korteks alanları hemde nöbet odağı belirlenmiş olur. Nöbet odağı stimüle edildiğinde hastada geçirmiş

olduğu nöbet semiyolojisi ortaya çıkar. Hasta jeneralize nöbet geçirdiği takdirde işleme ara verilir (Resim 4a,b,c).



Resim 4a,b,c: Subdural elektrotlar ile nöbet aktivitesinin video-EEG kayıtları, fonksiyonel haritalama kayıt ve kortikal stimülasyon uygulaması örneği

Subdural elektrotların stimülasyonu ile motor, dil, duysal korteks yada nöbet odağının belirlenir ve gerekli işaretlemeler yapılır. Fonksiyonel haritalama nöbet odağını belirlerken, nöbet odağının fonksiyonel korteks alanları ile ilişkisini ve cerrahi olarak rezekt edilebilir olup olmadığını belirler. Elektriksel kortikal stimülasyon yaygın olarak kullanılmaktadır ve dirençli epilepsi hastalarında fonksiyonel haritalama için altın standart yöntemdir. Ancak uygulamada standart bir protokol oluşturulmamıştır. Takahashi ve arkadaşları stimülasyon için monopolar ve bipolar uyarım tekniği arasında, motor, duysal ve dil klinik semptomlarını indüklemek için gereken uyarı eşliğini karşılaştırdılar. İnceleme için 20 hastada toplam 114 elektrot kullandılar. Bipolar kortikal uyarımın, klinik motor ve dil semptomlarını üretmek için daha düşük mA'de güç gerektirdiğini ve bu nedenle eloquan alanların taranmasında, bipolar uyarımın unipolar uyarıma göre daha güvenli olduğunu vurguladılar (19).

Subdural elektrotlarla, nöbet odağı veya fonksiyonel korteks alanlarını belirlemeye yönelik stimülasyon işlemi eğer peroperatif yapılıyorsa bu işleme intraoperatif elektrokortikografi (iECoG) denilmektedir. iECoG beyin cerrahisi sırasındaki korteksdeki irritatif bölgeleri belirlemek için epileptik odak dışında tümör, vasküler malformasyon gibi lezyonel cerrahilerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak intraoperatif uygulamanın, kısa kayıt süreleri ve genel anestezi etkileri gibi bazı sınırlamaları vardır. Chiba ve arkadaşları dirençli epilepsisi olan 25 hastada epileptojenik bölgelerin lokalizasyonu için intraoperatif ECoG'nin faydasını araştırmak için intra ve ekstraoperatif ECoG'yi karşılaştırdılar. Her iki tip kayıtlamada interiktal spike, nöbet başlangıç bölgeleri ve rezeksiyon alanlarının uyum oranlarını karşılaştırdılar. İntraoperatif ECoG'de spike alanlarının rezeksiyonunun, iyi cerrahi sonuçlarla önemli ölçüde korelasyon gösterdiğini bildirdiler.

İntraoperatif tekniğin endikasyonları ve sınırlamalarının farkında olunması ve intraoperatif ve ekstraoperatif elektrokortikografinin tamamlayıcı kullanımının klinik faydayı artırabileceğini vurguladılar (20). Warsi ve arkadaşları intraoperatif uygulamanın, daha önce örneklenmemiş korteksden elde edilen kayıtlarda değişkenlik, artan ameliyat süresi, maliyeti ve cerrahi karar vermeye yönelik net bir faydanın olmaması gibi sorunlar olduğunu, daha önce subdural yerleştirilen elektrotları kullanılarak elde edilen ekstraoperatif kayıtlar ile gerçek zamanlı intraoperatif kayıtlarla desteklendiği basit bir tekniği tanımladılar. Bu tekniği, "iki aşamalı rezeksiyon tekniği" olarak adlandırdılar. Buna göre, cerrahi ile elektrotların yerleştirilmesi, planlanan neokortikal rezeksiyon için iktal ve interiktal kayıtların ekstraoperatif olarak haritalandırılması, ikinci aşamada rezeksiyon sırasında aynı elektrotlar kullanılarak gerçek zamanlı intraoperatif elektrokortikografiyi uygulamak olarak tanımladılar. Bu tekniğin geleneksel yaklaşımlara göre daha az sınırlama getirdiğini ve operasyon esnasında karar vermeyi değiştirebileceğini savundular (21).

1.1.5.Sonuç

İntrakraniyal elektrot kullanımıyla ilişkili komplikasyon ve riskler vardır. Ancak, risk ve faydaların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesiyle invaziv bir inceleme seçildiğinde, epilepsi cerrahisi için bir strateji oluşturmak üzere faydalı bilgiler sağlar. Seçilmiş olgularda, rezeksiyon öncesi epileptik odağın lokalizasyonu ve epileptik odağın fonksiyonel korteksle ilişkisinin tespiti için gereklidir.

Kaynaklar

1. Holst AG, Winkel BG, Risgaard B, Nielsen JB, Rasmussen PV, Haunsø S, Sabers A, Uldall P, Tfelt-Hansen J. Epilepsy and risk of death and sudden unexpected death in the young: a nationwide study. *Epilepsia*. 2013 Sep;54(9):1613-20. doi: 10.1111/epi.12328. Epub 2013 Jul 29. PMID: 23895621
2. Nashef L. Sudden unexpected death in epilepsy: terminology and definitions. *Epilepsia*. 1997 Nov;38(11 Suppl):S6-8. doi: 10.1111/j.1528-1157.1997.tb06130.x. PMID: 19909329.
3. Thurman DJ, Hesdorffer DC, French JA. Sudden unexpected death in epilepsy: assessing the public health burden. *Epilepsia*. 2014 Oct;55(10):1479-85. doi: 10.1111/epi.12666. Epub 2014 Jun 5. PMID: 24903551.
4. Hamer MH, Morris HH. Indications for invasive video-electroencephalographic monitoring. Lüders HO and Comair YG. Ed. *Epilepsy Surgery*. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins Press, 2002: 559-566.
5. Elger CE, Burr W. Subdural electrodes. *Acta Neurol Scand Suppl*. 1994;152:44-50. doi: 10.1111/j.1600-0404.1994.tb05185.x. PMID: 8209655.
6. Rosburg T, Trautner P, Dietl T, Korzyukov OA, Boutros NN, Schaller C, Elger CE, Kurthen M. Subdural recordings of the mismatch negativity (MMN) in patients with focal epilepsy. *Brain*. 2005 Apr;128(Pt 4):819-28. doi: 10.1093/brain/awh442. Epub 2005 Feb 23. PMID: 15728656.
7. Zumsteg D, Wieser HG. Presurgical evaluation: current role of invasive EEG. *Epilepsia*. 2000;41 Suppl 3:S55-60. doi: 10.1111/j.1528-1157.2000.tb01535.x. PMID: 11001337.
8. Wieser HG, Elger CE, Stodieck SR. The 'foramen ovale electrode': a new recording method for the preoperative evaluation of patients suffering from mesio-basal temporal lobe epilepsy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1985 Oct;61(4):314-22. doi: 10.1016/0013-4694(85)91098-3. PMID: 2411510.
9. Ebner A, Lüders HO. Subdural electrodes. In : Lüders HO and Comair YG, eds. *Epilepsy Surgery*. 2. Baskı, Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins Press; 2001.p, 593-6
10. Elger CE, Burr W. Subdural electrodes. *Acta Neurol Scand Suppl*. 1994;152:44-50. doi: 10.1111/j.1600-0404.1994.tb05185.x. PMID: 8209655.
11. Vale FL, Pollock G, Dionisio J, Benbadis SR, Tatum WO. Outcome and complications of chronically implanted subdural electrodes for the treatment of medically resistant epilepsy. *Clin Neurol Neurosurg*. 2013 Jul;115(7):985-90. doi: 10.1016/j.clineuro.2012.10.007. Epub 2012 Nov 3. PMID: 23131430.

12. . Falowski SM, DiLorenzo DJ, Shannon LR, Wallace DJ, Devries J, Kellogg RG, Cozzi NP, Fogg LF, Byrne RW. Optimizations and Nuances in Neurosurgical Technique for the Minimization of Complications in Subdural Electrode Placement for Epilepsy Surgery. *World Neurosurg.* 2015 Oct;84(4):989-97. doi: 10.1016/j.wneu.2015.01.018. Epub 2015 Feb 11. PMID: 25681595.
13. Taussig D, Montavont A, Isnard J. Invasive EEG explorations. *Neurophysiol Clin.* 2015 Mar;45(1):113-9. doi: 10.1016/j.neucli.2014.11.006. Epub 2015 Jan 15. PMID: 25703438.
14. Shokoo LA, Toffa DH, Pouliot P, Lesage F, Nguyen DK. Intracranial EEG seizure onset and termination patterns and their association. *Epilepsy Res.* 2021 Oct;176:106739. doi: 10.1016/j.eplepsyres.2021.106739. Epub 2021 Aug 14. PMID: 34455176.
15. Perucca P, Dubeau F, Gotman J. Intracranial electroencephalographic seizure-onset patterns: effect of underlying pathology. *Brain.* 2014 Jan;137(Pt 1):183-96. doi: 10.1093/brain/awt299. Epub 2013 Oct 30. PMID: 24176980.
16. Ferrari-Marinho T, Perucca P, Dubeau F, Gotman J. Intracranial EEG seizure onset-patterns correlate with high-frequency oscillations in patients with drug-resistant epilepsy. *Epilepsy Res.* 2016 Nov;127:200-206. doi: 10.1016/j.eplepsyres.2016.09.009. Epub 2016 Sep 6. PMID: 27635628.
17. Enatsu R, Mikuni N. Invasive Evaluations for Epilepsy Surgery: A Review of the Literature. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2016 May 15;56(5):221-7. doi: 10.2176/nmc.ra.2015-0319. Epub 2016 Mar 4. PMID: 26948700; PMCID: PMC4870176.
18. Bulacio JC, Jehi L, Wong C, Gonzalez-Martinez J, Kotagal P, Nair D, Najm I, Bingaman W. Long-term seizure outcome after resective surgery in patients evaluated with intracranial electrodes. *Epilepsia.* 2012 Oct;53(10):1722-30. doi: 10.1111/j.1528-1167.2012.03633.x. Epub 2012 Aug 20. PMID: 22905787.
19. Takahashi Y, Enatsu R, Kanno A, Imataka S, Komura S, Tamada T, Sakashita K, Chiba R, Saito T, Mikuni N. Comparison of Thresholds between Bipolar and Monopolar Electrical Cortical Stimulation. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2022 Jun 15;62(6):294-299. doi: 10.2176/jns-nmc.2021-0389. Epub 2022 Apr 22. PMID: 35466117; PMCID: PMC9259081.
20. Chiba R, Enatsu R, Kanno A, Tamada T, Saito T, Sato R, Mikuni N. Usefulness of Intraoperative Electrocorticography for the Localization of Epileptogenic Zones. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2023 Feb 15;63(2):65-72. doi: 10.2176/jns-nmc.2022-0252. Epub 2022 Nov 25. PMID: 36436979; PMCID: PMC9995148.
21. Warsi NM, Narvacan K, Donner E, Go C, Strantzas S, Ochi A, Otsubo H, Sharma R, Snead OC, Ibrahim GM. Supplementing Extraoperative

- Electrocorticography With Real-Time Intraoperative Recordings Using the Same Chronically Implanted Electrodes. *Oper Neurosurg*. 2021 May 13;20(6):559-564. doi: 10.1093/ons/opab019. PMID: 33555026.
22. Enatsu R, Mikuni N. Invasive Evaluations for Epilepsy Surgery: A Review of the Literature. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2016 May 15;56(5):221-7. doi: 10.2176/nmc.ra.2015-0319. Epub 2016 Mar 4. PMID: 26948700; PMCID: PMC4870176.

