

Retina ve Görme Yolları Anatomi ve Fizyolojisi: Elektrofizyolojik Özellikler

Prof. Dr. Mehmet Kemal Gündüz

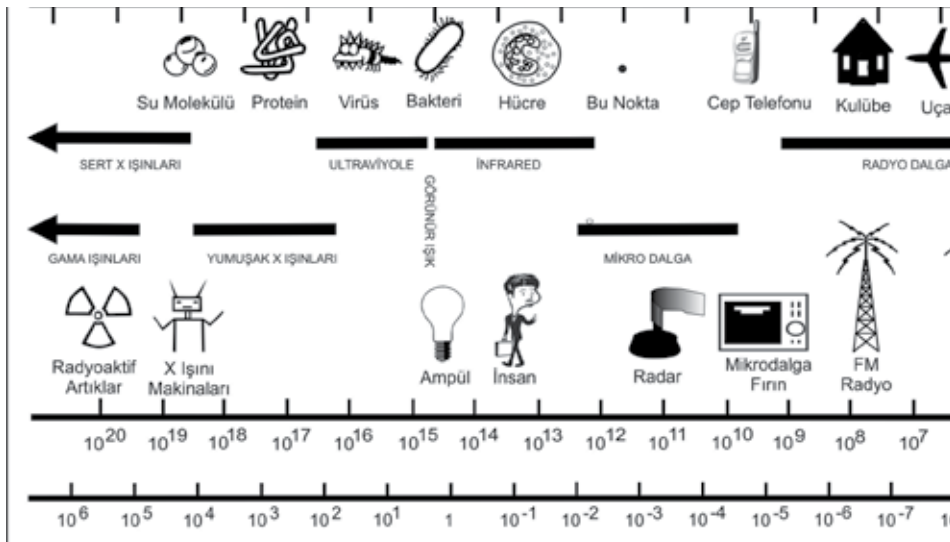
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Tıp Fakültesi

I- GÖRME İLE İLGİLİ TEMEL İLKELER

Görme, belirli bir dalga boyundaki elektromanyetik radyasyonun (ışık), göz dokularından geçip retinaya ulaşmasıyla retinada meydana gelen kimyasal ve biyoelektrik sinyallerin belli bir düzende kortekse iletilip, korteksin değişik bölgelerinde analiz edilmesiyle oluşan bir duyumdur.

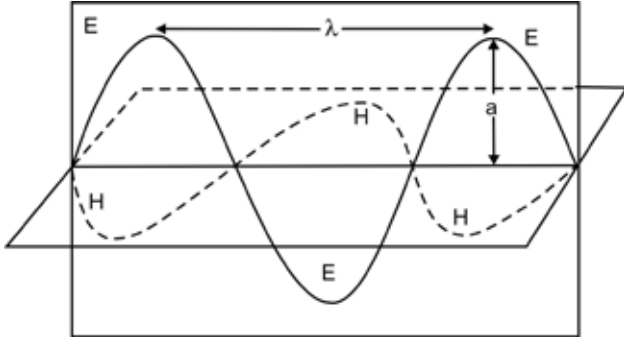
Görme mekanizmasının anlaşılabilmesi için bazı fizik prensiplerin yanında, temel nörofizyolojik, anatomik ve fizyolojik bilgilerin de hatırlanması gereklidir. Bu bölümde elektromanyetik radyasyonun tanımı, ışığın fiziksel özellikleri ve etkileri, ilerleyen bölümlerde ise optik ve nöral mekanizmalar, gözün vasküler yapısı, retinanın sinirsel işlevi, görmenin merkezi nörofizyolojisi, otonomik kontrol mekanizmaları, göz hareketleri kontrolü ve gözün sıvı sistemi anlatılmıştır.

Işın: Işın, uzayda dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklidir. Işınlara elektromanyetik radyasyon veya elektromanyetik enerji de denir ve çeşitli şekilleri vardır, Şekil 1. Bunlardan en çok bilinenleri ısı, ışık, radyo dalgaları ve x-ışınlarıdır. Işınlara çift karakterli olup, hem dalga hem de tanecik özelliği gösterirler. Tanecik özelliğe kuantum veya foton özelliği denir. Kuantum teorisine göre ışın, tanecikler demeti veya paketi şeklinde de tanımlanabilir. Işınlara elektromanyetik radyasyon denmesinin nedeni, elektrik ve manyetik bileşenlerinin olmasından kaynaklanır. Bu iki bileşen sinüzoidaldir, birbirlerine ve ışının yayılma doğrultusuna diktir, Şekil 2. Bir ışının dalga hareketinin ardarda gelen iki maksimumu arasındaki uzaklığa, o ışının dalga boyu denir. Dalga boyu metre, santimetre, milimetre, mikrometre, nanometre, angström ve pikometre gibi birimlerle verilebilir ($1 \text{ cm} = 10 \text{ mm} = 10^4 \mu\text{m} = 10^7 \text{ nm} = 10^8 \text{ \AA}$).

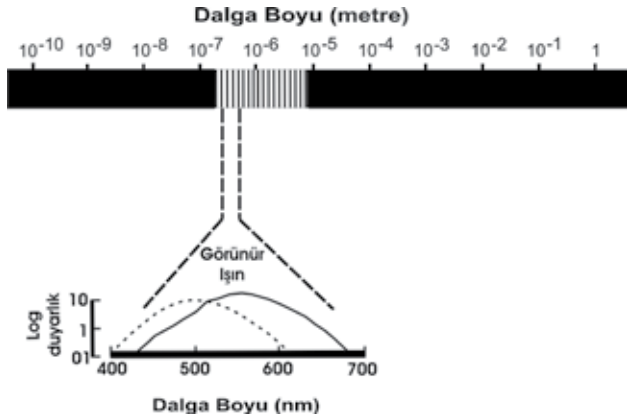


Şekil 1. Elektromanyetik spektrum.

Işıkların göze görünen dalga boyundaki kısmına ışık denir. Elektromanyetik radyasyonun küçük bir kısmını oluşturan ışığın mavi ve kırmızı olmak üzere iki uç noktası vardır, Şekil 3. Yaklaşık olarak mavi uç 400 nm, kırmızı uç ise 700 nm civarındadır. Kural olarak elektromanyetik radyasyonun büyük bir bölümü sıcak cisimler tarafından oluşturulur. Bir cisim ne kadar sıcak ise, o kadar çok kısa dalga boylu ışınlar yayar. Çok sıcak bir cisim olan güneşten gelen ışınların büyük bir kısmı atmosferdeki moleküller ve ozon tabakasındaki ozon tarafından absorplandığı için, yeryüzüne inen ışınlar daha çok uzun dalga boylu ışınlardır (ısı ışınları: 400 nm ve üzeri).



Şekil 2. Elektromanyetik dalga. Elektrik vektörü E, manyetik vektör H ile gösterilmiştir. Bu iki vektör birbirine dik ve her ikisi de yayılma yönüne diktir. λ dalga boyu, a genlidir.



Şekil 3. Elektromanyetik spektrum. Üstteki siyah şeridin ortadaki taralı bölgesi güneşten gelen radyasyonun dağılım alanını göstermektedir. Altta görülebilir spektrum genişletilerek verilmiştir. Kesik çizgiler karanlığa, sürekli çizgi aydınlığa adapte olmuş normal bir gözde farklı dalga boylarındaki rölatif duyarlılığı göstermektedir. Karanlığa adapte gözde 500 nm'de, aydınlığa adapte gözde 570 nm'de duyarlılık en fazladır (Purkinje kayması).

Yapay ışıkların spektrumları değişkendir. Sokak aydınlatılmasında kullanılan lambalarda sodyum olduğundan monokromatik sarı ışık verir. Evlerde kullanılan standart elektrik ampuller, sıcak cisimler olarak radyasyon yayarlar ve geniş bir spektrumları vardır. Flöresan lambalar ise birden fazla emisyon bandını daimi bir zemin üzerinde yayarlar. Işık ne şekilde oluşursa oluşsun, insan gözünün algısı değişik ölçüm yöntemleriyle küçük farklılıklar göstermekle birlikte 400-750 nm dalga boyu ile sınırlıdır. Renk ise algılanabilir spektrumdaki değişik bölgelerin rölatif enerjilerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanır ve genelde bir cismin rengi, absorpladığı ışığın komplementeri olan renktir, şeklinde kabul edilir, Tablo 1.

Tablo 1. Bir çözeltinin absorpladığı ışığın dalga boyu, rengi ve çözeltinin göze görünen rengi.

Dalga boyu (nm)	Absorplanan renk	Göze görünen renk
<380	Ultraviyole	Renksiz
380-435	Viyole	Yeşil-Sarı
435-480	Mavi	Sarı
480-490	Mavi-Yeşil	Turuncu
490-500	Yeşil-Mavi	Kırmızı
500-560	Yeşil	Mor
560-580	Yeşil-Sarı	Viyole
580-595	Sarı	Mavi
595-650	Turuncu	Mavi-Yeşil
650-780	Kırmızı	Yeşil-Mavi
>780	Yakın infrared	Renksiz

Fotometri: Işığın spektrumu, ışığın kalitesini veya cinsini belirleyen ve tanımlayan bir ölçektir. Kantitesini (spektrofotometri) tarif etmek ise oldukça zordur. Temel olarak iki tür fotometrik ölçüm yapılabilir. Birincisi, bir radyasyon kaynağından ne kadar ışığın saçıldığını ölçmek, ikincisi ise aydınlatılan bir cismin ışığın ne kadarını aldığını ölçmektir. Birinci durumda kaynağın lüminansından söz ederiz (cd/m^2). Kandela (cd), bir cisim tarafından saçılan ışığın oranıdır. Temel olarak 60 watt'lık bir ampulün saçtığı ışık yaklaşık 100 kandeladır. Bir cisim tarafından belli bir yüzeyi üzerine alınan ışık ise, o cismin illüminansındır ve ölçüm birimi lux'dür. 1 lux, her yöne ışıyan 1 kandelalık bir ışık kaynağından 1 metre uzaktaki yüzeyin illüminasyon derecesidir. Açık ve güneşli bir havada illüminasyon 100.000 lux civarındadır.

Oküler Elektrodiagnostik Cihaz ve Ekipmanlarının Özellikleri

Prof. Dr. Banu TURGUT ÖZTÜRK

Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları A.D.

Hastanın görsel sisteminin uyarılması ve yanıtın işlenip amplifiye edilmesi aşamalarından oluşan elektrodiagnostik tetkiklerde son derece küçük sinyaller kaydedilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle kayıt aşamasının ideal koşullarda ve yüksek hassasiyetle yapılması son derece önemlidir. “Uluslararası Görme Elektrofizyolojisi Topluluğu – International Society of Clinical Electrophysiology and Vision (ISCEV)” bunu sağlamak için her tetkike özgü optimum koşulların belirtildiği standardizasyon rehberleri yayınlamıştır.¹⁻⁴ Standart koşullar tetkikin doğru yorumlanması için de gereklidir. Bu rehberlerde belirtilen tüm koşullar sağlansa dahi elektrodiagnostik kayıtlarda çevresel koşulların etkisini tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bunun için her laboratuvarın kendi normatif veri tabanını oluşturması gerekir. Ayrıca kullanılan cihazların ve çalışma koşullarının kalibrasyon ve standardizasyonunun titizlikle de takip edilmesi gerekir. Bu kayıt cihazlarının tanınması, özelliklerinin iyi bilinmesi ile mümkündür. Bu bölümde elektrodiagnostik cihazlarının ana komponentleri ve özellikler hakkında bilgi verilecektir. Elektrodiagnostik sistemler temelde üç ana yapıdan oluşmaktadır:

1. Uyarıcı vericiler
2. Uyarı alıcılar (Elektrodlar)
3. Bilgi-işleme sistemleri

1. UYARI VERİCİLER

Çanak şeklinde (Ganzfeld) küresi ya da monitörler uyarı verici olarak kullanılırlar. Uyarılar da tipine göre ikiye ayrılır: Yapısal olmayan uyarılar ve dönüşümlü uyarılar. Ganzfeld ışık uyarıları yapısal olmayan tiptedir. Monitörden gösterilen desen uyarılar ise dönüşümlü uyarılara örnektirler. Monitörler

ile uyarının ışık yoğunluğu, parlaklığı, desendeki şekillerin kontrastı, rengi, süresi, tekrar hızı ve görüntü boyutu değiştirilebildiğinden çekimlerde bu özellikler mutlaka standardize edilmelidirler.⁵

Ganzfeld Küresi

Standart ERG için en sık kullanılan uyarı vericidir. Yaklaşık 50 cm çapında ve çanak şeklindedir (**Resim 1**). Yüksekliği ayarlanabilir bir masa üzerine yerleştirilir. İç kısmı mat beyaz (dumanlı magnezyum oksit veya baryum sülfat) kaplıdır. Bu kaplama sayesinde speküler olmayan, düz spektrumlu ışık dağılımı sağlanır. Hasta çanağın ağız kısmına görme alanı testindeki gibi çenesini yerleştirir. Üzerindeki ışık delikleri sayesinde direk ışık kaynağına bakılmadan retinanın 120 derecelik kısmının uyarılmasını sağlar.⁶ Retinanın tüm alan stimülasyonu değişken fiksasyonu olan olgularda gözün pozisyonu ile retinadaki ışık dağılımının minimum değişmesini sağlar.⁷ Ayrıca ERG’de hızlı kon ve daha yavaş basil yanıtlarının amplitüdün yanısıra latansa göre de ayrılmasına imkan sağlar.^{8,9}

Küre içinde biri zemin illuminasyonunu diğeri flaş uyarıyı sağlayan iki ayrı ışık kaynağı bulunmaktadır. Bazı sistemlerde her ikisi tek ışık kaynağı ile sağlanmaktadır. Ganzfeld küresinin en önemli komponenti olan flaş ışık kaynağı olarak genellikle Xenon ışık kaynağı ya da LED lamba kullanılmaktadır. Işığın küreye giriş yeri ve hastanın kafası arasına gözün direk uyarılmasını engellemek için plastik bir bant yerleştirilmelidir. On µsn süreli flaş veren ışık bir noktadan verilir ve hastaya ulaşana kadar 200’den fazla yansımaya uğrar. Xenon lambalar ile xenon gazının iyonizasyonu değiştirilerek farklı şiddette ve filtreler aracılığı ile farklı renklerde ışık elde edilebilmektedir. Ancak elde edilen ışık geniş spektrumlu olduğundan ve ultraviyole ve kızılötesi radyasyon içerdiğinden uy-

gun şekilde filtre edilmesi gerekir. Xenon ışığın bir diğer dezavantajı da yüksek voltaj kullandığı için test sırasında tüp ve kablolardan ortama zararlı elektromanyetik dalgaların yayılmasına yol açmasıdır. Ayrıca zaman içerisinde yaşlanma nedeniyle aynı şiddette ışık vermeyebilirler. Bu nedenle Xenon lamba kullanılan Ganzfeld uyarıcılarında ışık miktarı fotometri ile düzenli aralıklarla ölçülmeli ve ISCEV standartlarına uygunluğu değerlendirilmelidir. Son yıllarda farklı renklerde aydınlatma sağlayabilen LED sistemler Ganzfeld kürelerinde en sık kullanılan ışık kaynaklarıdır. Osilatuar potansiyelleri elde etmek yada opak ortamlardan sinyal almak için ise retina illuminasyonunu yaklaşık 3 log unit arttırabilen fotoflaş üniteleri kullanılmaktadır. Flaş lambanın altına yerleştirilen jellatin nötral dansite filtreleri ve/veya kromatik filtreler ile de ışık flaşı azaltılabilir ve takiben cam, plastik veya kağıt ile ışık açıklıktan girmeden yayılabilir.^{5,10}

Zemin illuminasyonu basilleri desensitize etmek ve konuları izole etmek için kullanılır. Bunun için paralel bağlı tungsten filaman lambalar ışık yayıcının karşısına flaş ışığın direk uyarmasını engellemek için yerleştirilen plastik bandın üzerine asılır. Zemin aydınlatması için bir başka alternatif de yüksek dansiteli tungsten-halojen lambası olan, kürenin ön açıklığının her iki yanından giren bifurkasyonlu fiber optiktir. Fiber optikler ile zemin illuminasyon nötral veya renkli filtreler aracılığı ile azaltılması daha kolaydır. Tungsten ile illuminasyon ise zemin ışığının bir reosta aracılığı ile aşamalı olarak arttırılmasına imkan sağlar. Bu aşamalı artış fotofobisi olan hastalarda zemin ışığının ani artışı rahatsızlık yarattığından uygulamada kolaylık sağlar. Zemin ışığındaki çok ufak bir değişkenlik dahi ERG'yi anlamlı miktarda etkileyebilir. Bu nedenle çekim öncesi luminansın protokole göre mutlaka kalibre edilmelidir.^{5,8,9}

ISCEV standartlarına göre 20 dakika karanlık adaptasyonu sonrası 0.01, 3.0 ve 10.0 cd.s.m⁻² flaş şiddetlerinde; ışık adaptasyonu sonrası 3 cd.s.m⁻² flaş şiddetiyle, 30 cd.s.m⁻² zemin illuminansında kayıt yapılır. 30 Hz flicker kaydı için aynı zemin iluminansında 3 cd.s.m⁻² flaş 30 Hz frekans ile yani saniyede 30 uyarın (28-33 arası kabul edilebilir) olacak şekilde flaş süperempoze edilir. Ganzfeld küresinde ışık kaynağı dışında hedef ışığı ve hasta takibi için kameralar bulunmaktadır.²

Mini Ganzfeld adı verilen elle tutulan tipi de geliştirilmiştir. Hayvan çalışmaları ve küçük çocukların

çekimlerinde kullanılır. Göze yakın pozisyonu çekim esnasında stabil flaş luminansı sağlar (Resim 2).¹¹



Resim 1. Ganzfeld küresi



Resim 2. Mini Ganzfeld

ERG Kaydı Nasıl Yapılır ?

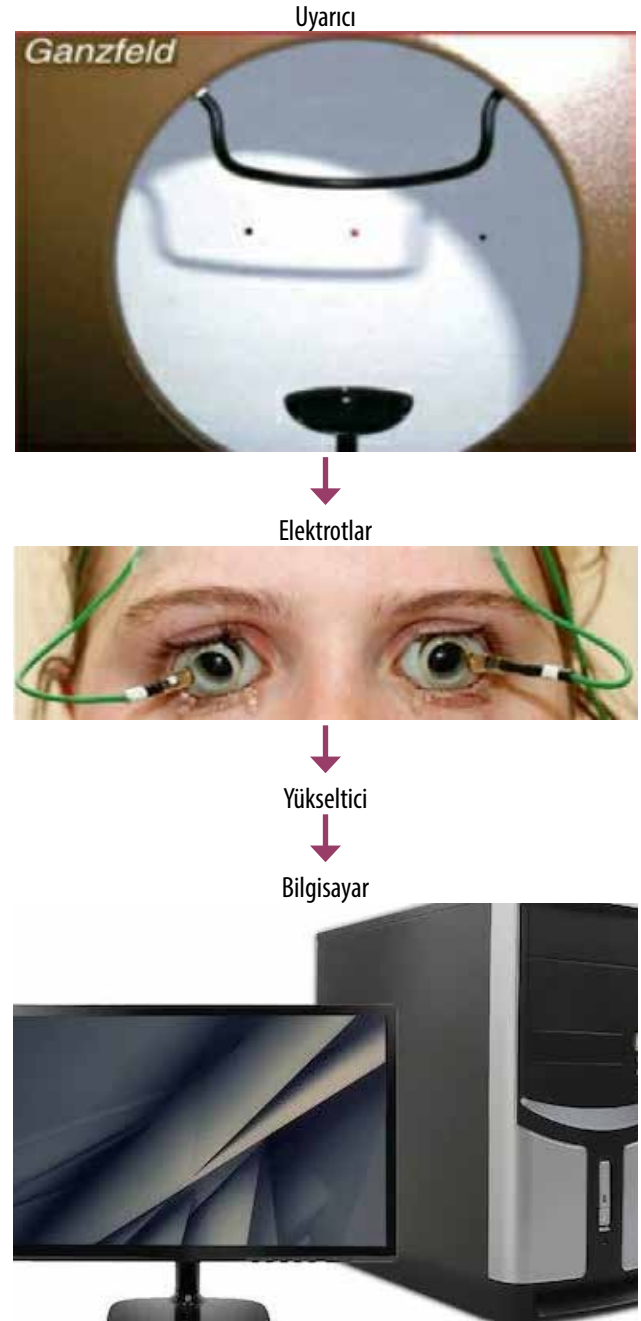
Dr Fehmi Özkan

Sağlık Bakanlığı, Konya Numune Hastanesi Göz Kliniği

Elektroretinogram (ERG) ilk kez 19. yüzyılda Holmgren tarafından tanımlanmıştır. Klinik kayıt tekniği 1941 yılında Riggs ve 1945 yılında Karpe tarafından kontakt lensin haptığına asılı olan kornea elektrotları kullanılarak geliştirilmiştir.¹ Başlıca bileşenleri parlak tek bir beyaz ışığa cevap olarak uyarının tipi ve gözün uyum durumuna bağlı olarak amplitüdü ve ortaya çıkış zamanı değişebilen a ve b dalgalarıdır. a dalgası fotoreseptör hücrelerinden meydana geldiği düşünülen negatif yönlü bir dalgadır. Bu dalgayı bipolar hücrelerin depolarizasyonu ile salınan K⁺ iyonlarına havuz görevi gören Müller hücrelerinde oluşturulan daha geniş pozitif bir b dalgası takip eder. Çoğu klinik çalışmada bunlar değerlendirilen ana bileşenlerdir. Osilatuar potansiyel olarak bilinen b dalgası üzerine eklenen bir seri hızlı dalgacıkların klinik değeri sınırlıdır. Ayrıca pigment epitelinden meydana gelen pozitif bileşen yavaş bir c dalgası, sabit ışığın kesilmesini izleyen ve bir off-cevap olan d dalgası günlük klinik uygulamada nadir kullanılırlar. Ganglion hücreleri flaş elektroretinograma katkıda bulunmazlar. Yapılan ölçümler bileşenlerin latans ve amplitüdünü gösterir. Latans uyarının başlangıcından ilgili bileşenin en yüksek veya en derin noktasına kadar olan süreyi belirtir. Amplitüd ise a dalgası için uyarının başlangıcından itibaren en derin olduğu noktayı, b dalgası içinse a dalgasının bu noktasından yukarıya doğru uzanan dalganın en tepe noktası arasındaki yüksekliği belirtir.² Genellikle kısa bir ışık uyarısına retinanın verdiği elektriksel cevabın ölçümüdür. ERG kayıtlarını elde etmek için bir ışık uyarıcısı, elektrotlar, yükseltici ve bilgisayar gereklidir.³ Kurulum şeması Resim 1'deki gibidir.

Kayıtlar, kornea ve bulber konjonktivaya temas eden aktif elektrotlar ile alın ve dış kantüs civarına yerleştirilen referans elektrotlarla kaydedilirler.⁴

Aktif elektrotlar 3 grupta değerlendirilir:



Resim 1. ERG kaydı için kurulum şeması

Blefarostallı Dencott elektrot



Blefarostasız Dencott



Fabrinal ERG Jet elektrot



Resim 2. Kapakların açık kalması için tasarlanmış blefarostanın üzerine yerleştigi tek kullanımlık korneaya temas eden elektrotlar

1. Korneaya temas eden elektrotlar
2. Bulber konjonktivaya temas eden elektrotlar
3. Deri ile temas eden elektrotlar

1. Korneaya temas eden elektrotlar:

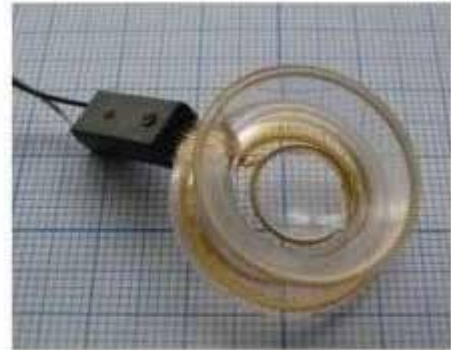
Bu elektrotlar kapakların açık kalması için tasarlanmış blefarostanın üzerine yerleştigi bir gövdeden ibarettir. Bunlar tek kullanımlık olan veya uygun sterilizasyon yapıldıktan sonra birçok kez kullanılabilen elektrotlardır. Kornea ile teması halka şeklinde bir iletici sağlar. Tek kullanımlık olanlar Resim 2 ve 3'te, uygun sterilizasyon yapıldıktan sonra tekrar kullanılabilenler Resim 4'te gösterilmiştir. Birçok kez kullanılabilen elektrotlar Burian Allen elektrot ve altın lens elektrot' dur. Tek kullanımlık olanların hastaya uygulanışı Resim 5'te görüldüğü gibidir.



Resim 3. Ambalajı içerisinde olan korneaya temas eden tek kullanımlık ERG Jet elektrot



Burrian Allen



Altın lens

Resim 4. Korneaya temas eden ve uygun sterilizasyondan sonra tekrar kullanılabilen elektrotlar

Pattern Elektoretinografi ve Değerlendirilmesi

Doç. Dr. Fatih Çakır Gündoğan

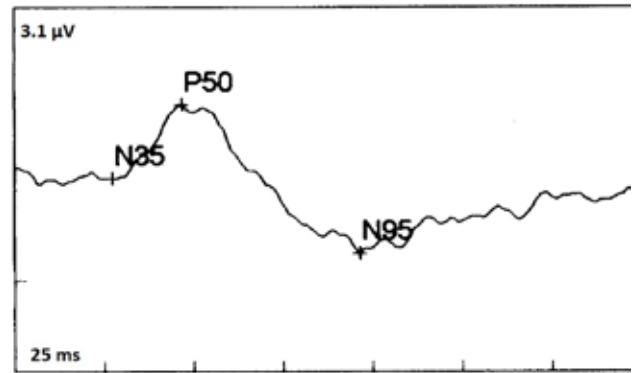
Serbest Hekim, Kayseri

Pattern elektoretinogram (PERG) bir patren (desen) uyarıya karşı elde edilen retinal yanıtı ifade eder. Bu yanıt maküla ve ganglion hücre işlevleri konusunda klinisyene çok değerli bilgiler verir. Bu nedenle herhangi bir nedenden dolayı bozulmuş olan desen görsel uyarana kortikal yanıt testinde (PVEP) patolojinin lokalizasyonu konusunda kritik önemi olan bir testtir.

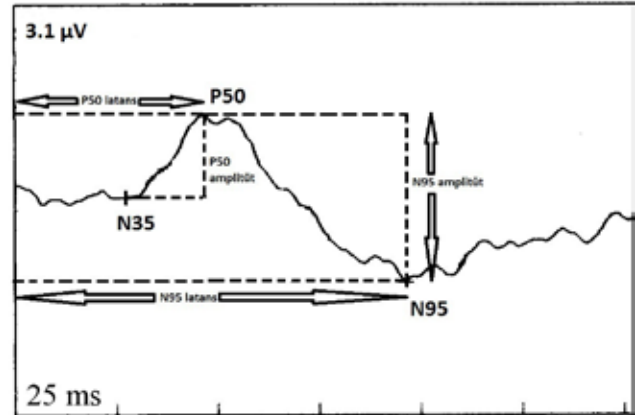
Kontrast-dönüşümlü bir uyarının retinal yanıtı uyardığını ilk defa Riggs ve ark. ortaya koymuşlardır (1). Ancak bu araştırmacılar flaş elektoretinogram ve PERG'yi ortaya çıkaran kaynakların farklı olduklarını bilmiyorlardı ve bu yüzden kontrast-dönüşümlü uyarı sonucunda elde ettikleri bu yanıtı PERG adını da vermemişlerdi. Ancak 1970' den sonra Lawwill (2) PERG'nin maküla ve gangliyon hücre işlevleri konusunda objektif bilgiler verdiğini ortaya koyduktan ve gözün vizüel aksını engellemeyen korneal elektrotlar geliştirildikten sonra PERG klinik pratikte daha yaygın kullanıma girmiştir.

PERG yanıtı: PERG yanıtında yaklaşık olarak 35'nci ve 95'nci milisaniyelerde ortaya çıkan kornea negatif N_{35} ve N_{95} yanıtları ile yaklaşık olarak 50'nci milisaniyede ortaya çıkan kornea pozitif P_{50} pikleri mevcuttur (Şekil 1). N_{35} yanıtı bazı bireylerde hiç ortaya çıkmayabilir. Bu yüzden N_{35} yanıtının klinik anlamı hemen hiç yoktur.

Uluslararası Elektrofizyoloji Topluluğu'nun (ISCEV) ortaya koyduğu standartlar çerçevesinde kayıt yapıldığında (3) P_{50} amplitütü tipik olarak 2.5-5.0 μV (mikrovolt) kadardır. Daha büyük amplitütlü olan N_{95} pikinin ise amplitütü 3.5-6.0 μV kadardır. P_{50} pik amplitütü N_{35} piki ile P_{50} piki arasında ölçülür (Şekil 2). N_{95} yanıtı ise genellikle P_{50} piki ile N_{95} piki arasında ölçülür (Şekil 2). Ancak bazı araştırmacılar N_{95} pi-



Şekil 1. Normal bir PERG yanıtı



Şekil 2. PERG yanıtında dalgaların ölçüm yöntemleri

kini bazal hat ile N_{95} piki arasında ölçmeyi tercih etmektedirler. Bazal hattın lokalizasyonu bazen güç ve tartışma konusu olabildiğinden P_{50} pikinin referans noktası olarak kabul edilmesi daha yerindedir. İkinci bir nokta ise şudur. N_{95} piki negatif bir yanıtıdır. Bazal çizgi referans kabul edildiği zaman bu pikin başlangıcının P_{50} piki olduğunu söylemek anlamsızlaşacaktır. Ancak gerçek budur. Bu nedenlerden dolayı yazarın

kliniğinde P_{50} piki ile N_{95} piki arasında ölçüm yapılmaktadır. ISCEV de aynı şekilde pik-pik kaydının esas alınmasını tavsiye etmektedir (3).

PERG kaydında uyarı parametreleri

a. Uyarı şekli: Genel olarak elektrofizyoloji kayıtlarında kullanılan 2 tip uyarı şekli mevcuttur. Bunlardan bir tanesi flaş uyarı, diğeri ise desen (patern) uyarıdır. Flaş uyarıda bir ışık flaş ile retina uyarımı sağlanır. Desen uyarıda ise köşeleri ve kenarları olan bir uyarı kullanılır (Şekil 3). Bilimsel ve deneysel amaçlı olarak kullanılabilen farklı desen uyarılar olsa da klinik uygulamada kullanılan desen uyarı sıklıkla satranç tahtası şeklindeki bir desendir (Şekil 3). İşte PERG testinde de yine bu desen kullanılır.

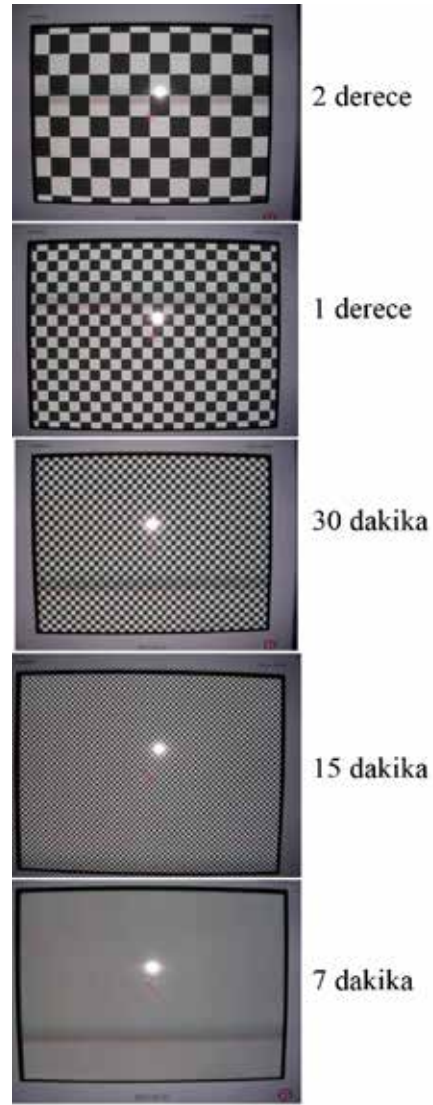


Şekil 3. PERG kaydında kullanılan yüksek kontrastlı standart satranç tahtası deseni.

b. Uyarı hızı (zamansal frekans): Desen uyarı bir ekranda ortaya çıkar ve düzenli aralıklarla siyah kareler beyaz, beyaz kareler ise siyah olur. Örneğin, uyarı hızı 2 Hertz (Hz) ise saniyede 2 kez bu değişim olur. Uyarı hızı 6 Hz'in üzerine çıktığı zaman Şekil 1'deki PERG yanıtı sinüzoidal bir şekle bürünür ve bu PERG yanıtına sabit-durum PERG (steady-state PERG) adı verilir. Şekil 1'de gösterilen ve ISCEV tarafından kaydedilmesi tavsiye edilen PERG yanıtına ise geçici PERG (transient PERG) yanıtı adı verilir. Klinikte daha çok kullanılan geçici PERG'dir.

c. Desen büyüklüğü (uzaysal frekans): Desen büyüklüğü ekrandaki her bir desenin fovea ile yaptığı açığı ifade eder. Bir desen birbirleri ile komşu iki siyah ve iki beyaz kareden oluşur. 1 saat kadranının 12'de

1'i bir dereceyi oluşturmaktadır. 1 derecenin 1/60'lık dilimine ise 1 dakika adı verilir. Yani bir desen belli bir mesafeden fovea ile 1 saat kadranı kadar açı oluşturuyorsa o desen 1 derecelik büyüklükte bir desendir. Şekil 4'de 1 metreden bakıldığı zaman sırası ile 2 derecelik, 1 derecelik, 30 dakikalık, 15 dakikalık ve 7 dakikalık desenler görülmektedir. Berninger ve Schurmans (4, 5) 45 dakikalık desen büyüklüğüne kadar P_{50} amplitütünün arttığını ve daha büyük desenlerde ise P_{50} amplitütünün sabit kaldığını, N_{95} amplitütünün ise 45 dakikadan büyük desenlerde azaldığını göstermişlerdir. PERG amplitütünün desen büyüklüğü ile olan bu ilişkisine uzaysal ayar (spatial tuning function) adı verilir.



Şekil 4. PERG kaydında kullanılabilen farklı büyüklüklere sahip kontrast desenler

Multifokal Elektoretinografi

**Prof. Dr. Fevzi Şentürk¹, Op. Dr. Mahmut Doğramacı^{2,3}, Doç. Dr. Funda Dikkaya¹,
Doç. Dr. Sevil Erdur Karaman¹**

¹ İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Medipol Mega Hastanesi, Bağcılar-İstanbul

² Consultant Ophthalmologist and Vitreoretinal Surgeon Princess Alexandra Hospital NHS Trust Harlow, Essex, UK, CM20 1QX

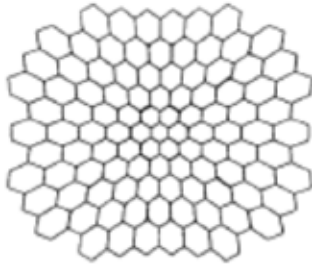
³ İstanbul Medipol Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı Misafir Öğretim Görevlisi, Medipol Mega Hastanesi, Bağcılar-İstanbul

Multifokal elektoretinografi (mfERG) uluslararası elektrofizyoloji derneğinin [International Society for Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV)] rutin klinik uygulamaya uygunluğunu onayladığı ve en son 2021 yılında güncellenmesini yaptığı belirlenmiş standartları olan bir testtir. mfERG, arka kutupta foveayı merkez kabul ederek aynı anda birden çok retina alanının indirekt ERG cevabını göstermektedir.¹ Tam alan ERG (Ganzfeld ERG) tüm retinanın cevabını içeren bir testtir ve küçük retina lezyonlarında, en az retinanın %20'si etkilenmediyse bozulmaz. Henüz günümüzdeki kadar tanı yöntemlerinin gelişmediği dönemler göz önüne alındığında eskiden arka kutubun ve özellikle maküla ve foveanın ERG cevabını ele etmek araştırmacıları teşvik ediyordu. Yetmişli, seksenli yıllarda kendini bu işe adanmış Hirose T ve arkadaşlarının² geliştirdiği fokal ERG ile küçük foveal ERG cevapları elde edilebilir hale gelmiştir. Fokal ERG'de sadece foveayı aydınlatacak kadar küçük bir ışık ile gerçek noktasal ERG cevapları elde edilmesi esas alınmıştır. Ancak ilham kaynağı olması dışında yöntem çok zaman alıcı, yüksek gürültü-sinyal oranı, test-retest uyumsuzlukları gibi güçlükler nedeniyle günümüzde klinik uygulamaları artık neredeyse terk edilmiştir. mfERG ise Eric Sutter ve arkadaşları³ tarafından 1992 yılında geliştirilmiştir. mfERG o günden günümüze kadar hem araştırma hem de klinik amaçlı olarak giderek artan hızda kullanılmakta, güncelliğini korumaktadır. Monitör ekranında ortası en küçük periferde doğru giderek büyüyen altıgenler (peteklerden) oluşan desen uyaran sanki rastgele yanıp sönyormuş gibi görünse de (pseudo-random) belli sırada yanıp sönmektedir (RESİM 1, 2).

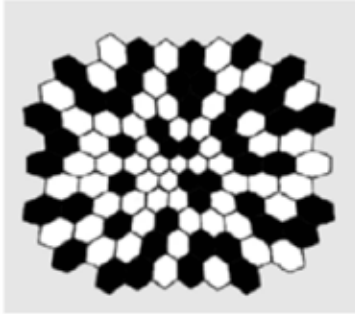
Her bir yanıp sönmeye retina eşit aydınlanmaktadır. Bu sıra m-sıraları şeklinde (m-sequence) adlandırılır. En az her bir altıgen için yaklaşık 5000 adet elde edilen cevaplar çekim bittiğinde cross-correlation denilen matematik analiz ile bir kanal ERG cevabından her bir petek (altıgen) ERG cevabı matematik çıkarımla hesaplanır. Yani mfERG aslında direkt olarak retina cevabını göstermez. Matematik analiz sonucudur. First kernel ve second kernel cevapları elde edilir. Bizim rutin klinikte kullandığımız first kernel cevaplarıdır. Önce negatif dalga oluşur (N1) sonra bunu büyük bir pozitif dalga izler (P1) sonra N2 ve P2 dalgaları gözlenir. mfERG cevabının hücresel kaynağı Hood ve ark.⁴ hayvan deneylerinde gösterilmektedir. Esasen on- ve off- bipolar hücre cevabıdır buna fotoreseptör ve iç retina katkısı da vardır. Kon hücre ile gelişen yol cevabını içerir⁴ (RESİM 3).

Piyasaya ilk sürülen VERIS sistemi sonrasında diğer firmalar cihazlarına mfERG eklemişlerdir. Burada tüm mfERG değerlendirmelerinde Roland Consult (Weisbaden Germany) cihazı ile yapılan ölçümler anlatılacaktır. Teknik olarak, cihazlarda kullanılan analiz farklılıkları vardır. Örneğin VERIS cihazı ile yapılan ölçümlere santral halka ile periferik halka implicit zamanı farklı olarak Roland Consult cihazının tam tersinedir.

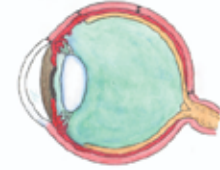
mfERG çekim tekniğinde hastanın gözü midriatik damlalar ile genişletilir. Net görüntü için tashih yapılmış gerekiyorsa yakın adisyonlu ile ölçüm yapılmalıdır. Tüm alan ERG tekniğinde olduğu gibi elektrotlar yerleştirilir. En yüksek voltaj aktif kontakt lens elektrot ile elde edilebilir. Ancak kontakt lens takıp çekim almak özellikle çocuklarda güç olduğu için kliniği-



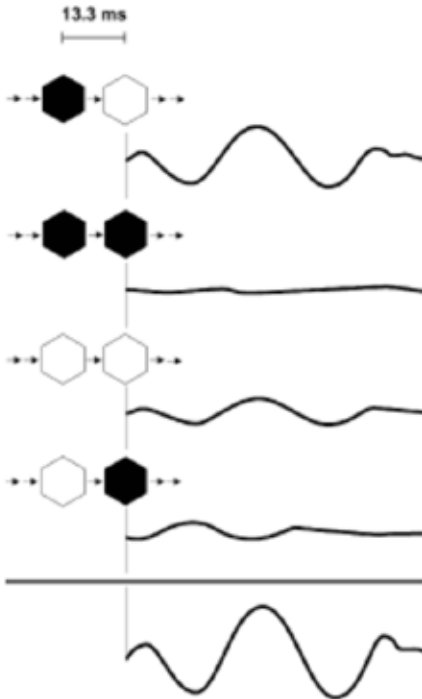
Patern uyarandaki altıgenler eşit stimulus alınması için santralden periferde doğru giderek büyümektedir



Rasgele yanıp sönyormuş gibi görünsede önceden belirlenmiş sıra ile her 13.1 ms'n'de bir yanıp sönen (pseudorandom) altıgenlerden oluşan pattern uyaran her bir döngüde retina eşit aydınlanacak şekilde ayarlanmıştır



Korneaya yerleştirilen aktif elektrotla kayda başlanır



Her bir döngüde altıgenlerin tek tek first order kernel cevapları hesaplanır

RESİM 1. Multifokal elektoretinografi incelemesinin genel özellikleri gösterilmektedir.

Elektrookülografinin Klinik Anlamı

Prof. Dr. Ayşe ÖNER, FEBO.

Acıbadem Sağlık Grubu, Acıbadem Kayseri Hastanesi Göz Hastalıkları Kliniği, Kayseri.

Klinik elektrookülografi (EOG) aydınlık ve karanlık adaptasyon periyodları sırasında kornea ve oküler fundus arasındaki potansiyel değişikliklerini kaydeden ve dış retina ile retina pigment epiteli (RPE) fonksiyonlarını değerlendiren elektrofizyolojik bir testtir.

İnsan gözünün ön ve arka kutbu arasında bir elektriksel potansiyel farkı mevcuttur. Gözdeki bu elektriksel potansiyel ilk olarak 1849 yılında DuBois-Reymond tarafından bir hayvan gözünde gösterilmiştir. 1878 yılında Kühne, Steiner ve de Haas yine hayvan gözündeki voltajı başarılı bir şekilde saptamış ve sırayla kornea, iris, lens, vitreus, ve retinayı çıkararak tekrar ölçümler yapmışlardır. Sadece retina çıkarıldığında voltaj kaybolmuş, bu nedenle bu voltajın kaynağının retina olduğu belirlenmiştir. İnsanlarda göz hareketiyle elde edilen potansiyel pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Aydınlık-karanlık bölümlerin tam olarak tanımlanması Kris tarafından yapılsa da bu yanıtların nereden kaynaklandığını analiz eden ve klinik kullanımını tanımlayan Arden'dir.

İnsan gözündeki bu potansiyel; istirahat potansiyeli, korneoretinal ya da korneofundal potansiyel olarak da adlandırılır ve normal değeri yaklaşık 6 mV düzeyindedir. Bu potansiyelle göz içindeki kornea ile lens epitelinin ve RPE'nin katkısı vardır. Kornea ve lens epiteli fotosensitif değildir ancak RPE ışıktan etkilenir. Göz elektriksel olarak korneası pozitif, fundusu negatif olan bir batarya gibi kabul edilebilir. Gözün hareketiyle birlikte hareket açısıyla ilişkili olarak bu potansiyelde değişiklikler meydana gelir. Voltaj değişikliğine yol açan en önemli faktör ışıktır. İnsanda aydınlık- karanlık sırasında oluşan potansiyel değişimlerini ilk tanımlayan 1958'de Kris, bu yanıtın klinik olarak anlamını ilk analiz eden ise 1962'de Arden'dir. Arden ışık miktarının azalması ile birlikte karanlıkta bir voltaj düşüklüğü meydana geldiğini ancak bu düşüşün ışık düzeyiyle ilişkili olmadığını, karanlıktan

ayınlığa geçişte ise voltajda bir yükselme olduğunu ve bu artış miktarının retinal aydınlanmanın miktarı ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Bu potansiyelin oluşumunda RPE ve fotoreseptörlerin katkısı olduğundan bu tabakalarda ortaya çıkan anatomik, metabolik ve biyokimyasal değişiklikler potansiyel değişikliğine neden olabilmektedir. RPE tabakası sıkı bağlantılar içeren bir hücre tabakasından oluşmaktadır, dolayısıyla bu tabakanın direnci oldukça yüksektir. RPE'nin apikal ve bazal yüzeyleri arasında bulunan pompalar arasında oluşan iyon ve su hareketi EOG ile ilişkilidir. Aydınlıkta fotoreseptörler subretinal sıvıdan potasyum alıp, subretinal sıvıya sodyum bırakırlar. Dolayısıyla RPE'den subretinal alana doğru oluşan potasyum akışı RPE apeksinde voltajı arttırır. RPE depolarize olur, RPE'nin apikal ve bazal membranı arasındaki fark yani transepitelyal potansiyel artar ve EOG' de artış olur. Karanlıkta ise bunun tam tersi meydana gelir, RPE içinden potasyum akışı azalır, RPE hiperpolarize olunca ise transepitelyal potansiyel ve EOG azalır.

Kayıt için elektrodlar doğrudan retina üzerine yerleştirilemediği için gözdeki bu potansiyel indirekt olarak kaydedilebilmektedir. Göz sağa baktığında pozitif olan kornea dış kantustaki elektroda, negatif olan retina ise iç kantustaki elektroda yaklaşmaktadır. Göz sola baktığında ise bu olayın tam tersi gerçekleşmektedir. Göz hareketiyle oluşan potansiyel değişiklikleri cilt elektrodları ile kolayca kaydedilebilir. Voltaj düzeyi elektrodların göze olan uzaklığı ile değişiklik gösterir, her 1 derecelik değişiklik 12-30 mikro V değişikliğe yol açabilir. Sakkadik göz hareketlerinin 30 dereceden daha fazla yapılması ile 1mV gibi yüksek miktarda bir voltaj değişikliği elde edilebilir. Ancak 30 dereceden daha büyük göz hareketlerinde voltaj kaydı zor hatta bazen imkansız olduğundan bu kullanılmaz. Test oldukça basit ve ağrısızdır. Test sırasında horizontal göz hareketleri yapılmalıdır. Aksi takdirde

kapağın elevasyonu ile ortaya çıkan voltajlarda kaydedilecektir.

ISCEV STANDARTLARINA GÖRE ELEKTROOKÜLOGRAFİ KAYITLARININ ALINMASI

Bu bölümde EOG kayıtları sırasında dikkat edilecek teknik ve pratik konular ele alınacaktır.

EOG kayıtları ile ilgili standartlar ilk kez 1993'te hazırlanmış daha sonra 1998, 2006, 2011 yıllarında yeniden düzenlenmiş, son olarak 2017 yılında tekrar gözden geçirilerek yayınlanmıştır.

Bu standartların amacı tek bir protokol ve kayıt stratejisi oluşturarak bu testin tüm kliniklerde aynı şartlarda kaydedilmesini ve kayıtlar arasında karşılaştırma yapabilmeyi sağlamaktır. Araştırmacıların bu standartları kullanması ile klinikte kaydedilen testler arasında ve diğer kliniklerde alınan kayıtlar arasında kıyaslama yapılabilecektir.

EOG ORIJİNİ VE KAYIT PRENSİPLERİ

Gözün ön ve arka kutbu arasında korneafundal potansiyel de denen elektriksel potansiyel mevcuttur. Bu potansiyel temel olarak RPE'den kaynaklanır ve retinal aydınlanma ile değişikliğe uğrar. Potansiyel karanlıkta 8-10 dk azalmaya devam eder. En düşük noktasına 10-15 dk arasında ulaşır. 15 dk sonrasında aydınlık fazına geçilir. Retinal aydınlanmayı takiben 7-14 dk süreyle yavaş bir artış dönemi başlar buna aydınlık fazı denir. Bu fenomen RPE bazal membranından iyon geçişinde değişiklikler sonucunda meydana gelir. EOG'de göz potansiyelinde karanlık ve aydınlıkta meydana gelen değişiklikler ölçülerek indirekt bir ölçüm yapılır. Aydınlıkta elde edilen potansiyelin karanlıkta elde edilen potansiyele oranı belirlenir ve bu oran Arden oranı olarak adlandırılır. Aydınlıktaki cevap RPE ve fotoreseptör hücre tabakasının yaygın hastalıklarında etkilenir ve genelde ERG ile korelasyon gösterir. Best hastalığında bu durumdan farklı olarak bir istisna söz konusudur. ERG normal iken EOG bozulur.

KLİNİK EOG'NİN ÖLÇÜMÜ: RPE hücre fonksiyonu gözün ön kısmının pozitif potansiyelde olmasına neden olur. Gözün her iki tarafına yerleştirilmiş olan elektrodlar gözün hareketi ile birlikte meydana gelen potansiyel değişikliğinin kaydedilmesini sağlar.

STANDART METOD:

Bu bölümde metod ve aletle ilgili tanımlamalar yapılacaktır.

TEKNOLOJİK AYRINTILAR:

ELEKTRODLAR: Cilt için kullanılan gümüş-gümüş klorid elektrodlar ya da altın çanak elektrodlar kullanılır. İmpedans ayarı 5 k Ω üzerinde olmamalıdır.



Resim 1: Cilt için kullanılan gümüş-gümüş klorid elektrod.

AMPLİFİKATÖR: Amplifikasyon ayarları 0-30 Hz ya da 0.1-30 Hz arasında olmalıdır.

TAM SAHA (GANZFELD) STİMÜLATÖR: Uyarının tüm görme alanına aynı uzaklıkta olması için tam saha stimulatörü kullanılmalıdır. Bu amaçla kubbe ya da sfer stimulatörler kullanılır. Rahat bir baş-çene dayanağı olmalı, uyarın fiksasyon ışıkları arasında 15 derecelik açı olmalı, fiksasyon ışıkları aydınlık fazda iken farkedilebilecek kadar parlak olmalı, karanlık fazda ise parlaklığı az olmalıdır (Resim 2).

FİKSASYON OBJESİ: Küçük, kırmızı ve fark edilebilir parlaklıkta olmalıdır (Resim 2)

AYDINLIK VE KARANLIK AYARLARI: Karanlık adaptasyon fazı tam karanlıkta olmalı fiksasyon ışıkları hastanın fark edebileceği şekilde olmalıdır. Aydınlık adaptasyon fazında luminans 100 cd m⁻² şeklinde olmalıdır. Bu fazda kabul edilebilir sınırlar 90-110 cd m⁻² arasındadır. Ganzfeld stimulatör kalibrasyonu belli aralıklarla yapılmalıdır. Aydınlık fazında oda ışıkları açılabilir ancak oda luminansı ganzfeld luminansından fazla olmamalıdır. Oda aydınlatma-