

Tarama Programları Sonrası Odyolojik Tanılama

Esra Sarlık¹

Özet

İşitme kaybının erken tanınması, çocukluk ve yetişkinlik dönemlerinde iletişim, konuşma-dil gelişimi ve akademik başarı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Yenidoğan işitme tarama programları, olası işitme kayıplarının hızlı biçimde belirlenmesini sağlasa da, tanısal doğrulama süreci ayrıntılı odyolojik değerlendirmeleri gerektirir. Bu bölümde, işitme kaybının tanınmasında kullanılan davranışsal ve objektif test bataryaları detaylı biçimde ele alınmaktadır. Saf ses odyometrisi, konuşma odyometrisi, pediatrik davranışsal testler (Davranışsal Gözlem Odyometrisi, Görsel Pekiştireç Odyometrisi, Oyun Odyometrisi), otoakustik emisyon testleri, akustik immitansmetri ve elektrofizyolojik değerlendirme yöntemleri (İşitsel Beyin Sapı Cevapları ve ASSR) bölümün temel bileşenleridir. Bu testlerin her biri, bireyin işitme eşiğini, işitme kaybının derecesini, türünü ve yerini belirlemede kritik bilgiler sunar. Bölüm, tanısal yaklaşımda çapraz kontrol ilkesinin önemini vurgulamakta ve özellikle pediatrik popülasyonda objektif ve davranışsal yöntemlerin birlikte kullanımının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

2.3. TARAMA PROGRAMLARI SONRASI ODYOLOJİK TANILAMA

İşitme kaybı, bireyin sosyal iletişim becerilerini, günlük yaşam işlevlerini ve temel yaşam haklarını doğrudan etkileyen önemli bir sağlık sorunudur. Bu nedenle, yenidoğan döneminden itibaren uygulanan işitme tarama programları ile işitme kaybının mümkün olan en erken dönemde tanınması ve kaybın birey üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması hedeflenmektedir (Lieu vd., 2020). İşitme tarama programları, geniş kitlelere kısa sürede uygulanabilen, pratik ve maliyet-etkin testlerden oluşur. Tarama sürecindeki temel amaç, işitme kaybı açısından risk taşıyan bebek veya bireylerin erken dönemde belirlenerek ayrıntılı odyolojik değerlendirme için klinik ortama yönlendirilmesidir (Kanji & Moroe, 2018).

1 Arş. Gör., Marmara Üniversitesi, esrasarlik@gmail.com ORCID: 0000-0003-0100-804X,

Klinikte işitme kaybının değerlendirilmesinde kullanılan testler genel olarak *objektif* ve *davranışsal* test bataryaları olmak üzere iki ana kategoride incelenmektedir. Bu testler sayesinde bireyin işitme kaybının derecesi, tipi ve frekans konfigürasyonu hakkında kapsamlı bilgi elde edilebilir. Test bataryasının seçimi; bireyin yaşı, gelişimsel ve zihinsel durumu, sağlık durumu ve test sırasında gözlenen davranışsal göstergeler dikkate alınarak yapılmalıdır (Roeser vd., 2000). Odyolojik değerlendirmede temel yaklaşım, tek bir test sonucunun tanı koymak için yeterli olmayacağı gerçeğine dayanır. Tanısal doğruluk için mutlaka birden fazla testin sonuçlarının birbiriyle çapraz kontrol edilerek değerlendirilmesi gerekmektedir (Katz vd., 2015).

2.3.1. İşitme Değerlendirmesi İçin Kullanılan Davranışsal Test Bataryaları

2.3.1.1. Saf Ses Odyometri Testi

İşitme değerlendirmelerinde kullanılan odyometre, işitme sisteminin hassasiyet gösterdiği frekans ve şiddet düzeylerinde, süresi ve şiddeti kontrol edilebilen standart akustik uyarılar sağlayan bir ölçüm aracıdır. Odyometre cihazlarıyla yapılan geleneksel saf ses odyometri testinde (SSOT), 250–8000 Hz frekans aralığında bireyin frekansa özgü işitme eşikleri değerlendirilir. Bu aralık, konuşmanın anlaşılması için önemli olan frekans aralığına oldukça benzerdir (ANSI, 2019). Gerekli durumlarda 8000–20000 Hz aralığındaki frekans alanları da yüksek frekans odyometrisi ile değerlendirilebilir. Periferden santral işitme sistemine kadar değerlendirme yapabilmesi ve işitme kaybının türünü ve derecesini belirleyebilmesi nedeniyle klinikteki temel testlerden biridir (Widen, 1993). SSOT’nde hastanın söylenen yönergeleri testin başından sonuna kadar tutarlı bir şekilde yerine getirmesi ve testi yapan klinisyenle uyumlu olması oldukça önemlidir. Bu nedenle, test yönergelerini yerine getirebilecek bilince sahip 6 yaş ve üzeri çocuklar ve yetişkinler için kullanılmaktadır (Martin & Clark, 2019).

İşitme eşiği, belirli bir frekansta gönderilen saf sesin %50 oranında algılandığı en düşük şiddet seviyesidir. Daha genel tanımıyla, kişinin belirli bir frekansta gönderilen saf ses uyarısını algıladığı en düşük şiddet seviyesidir. SSOT’nde hava ve kemik yolu iletimi olmak üzere iki farklı işitme eşiği değerlendirilir. Hava yolu işitme eşikleri (HYİE), supraaural veya insert kulaklıklar kullanılarak sesin dış kulaktan başlayıp santral işitme sistemine kadar olan iletim yolu değerlendirilerek belirlenir (Katz vd., 2015). Kemik yolu işitme eşikleri (KYİE) ise mastoid çıkıntıya yerleştirilen vibratör aracılığıyla dış ve orta kulak ekarte edilerek mastoid kemiğin titreştirilmesiyle ölçülür ve

genellikle 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarında değerlendirilir (Katz vd., 2015).

2.3.1.2. Saf Ses Odyometri Testinin Yapılışı

Testin uygulanabilmesi için ses yalıtımlı oda veya kabinlerin kullanılması gerekmektedir. Teste başlanmadan önce detaylı anamnez alınması ve testin yapılmasının hastaya açıklanması önemlidir. Saf ses işitme eşikleri, modifiye Hughson–Westlake prosedürüne göre, hastanın anamnezine bağlı olarak daha iyi duyan kulakta 1000 Hz'deki hava yolu eşiklerinin (HYİE) bulunmasıyla belirlenir (Carhart & Jerger, 1959; Hughson & Westlake, 1944). Eğer hasta simetrik duyduğunu ifade ediyorsa teste sağ kulaktan başlanır. Hasta ses duyduğunda butona basarak, elini kaldırarak veya sözlü olarak yanıt verebilir.

Test anlatıldıktan sonra değerlendirmeye, hastanın rahat duyabileceği yaklaşık 30 dB HL seviyesinde başlanır. Hastadan ilk yanıt alındıktan sonra ascending–descending yöntemi ile işitme eşiği aranır. Hasta tepki verdiğinde uyaran seviyesi 10 dB azaltılır; tepki vermezse 5 dB artırılır (Cox & Margolis, 1991). Bu prosedürle HYİE belirlenir. HYİE bulunduktan sonra kontrol amacıyla 10 dB daha düşük şiddette ses gönderilir ve hasta cevap verene kadar uyaran 5'er dB'lik adımlarla artırılır. Hasta aynı şiddetteki üç uyarandan ikisine tutarlı şekilde yanıt verirse, yanıt verdiği dB seviyesi HYİE olarak kaydedilir (Carhart & Jerger, 1959).

KYİE için kemik iletim vibratörü mastoide veya alına yerleştirilir. Vibratörün kayması yalancı eşik elde edilmesine; yeterli titreşim enerjisi aktaramaması ise daha yüksek eşik değerlerine yol açabilir. Bu nedenle vibratörün doğru yerleştirilmesi ve hastanın hareket etmemesi önemlidir. KYİE ölçümü öncelikle 1000 Hz'de yapılır; ardından sırasıyla 2000, 3000, 4000 ve 500 Hz eşikleri belirlenir (Carhart & Jerger, 1959).

Hava ve kemik yolu eşikleri belirlendikten sonra sonuçlar odyogram adı verilen forma kaydedilir. Odyogramın yatay eksen frekansları, dikey eksen ses şiddetini temsil eder. İşaretlemelerde American Speech-Language-Hearing Association'ın belirlediği odyogram sembolleri kullanılır: sağ kulak HYİE kırmızı yuvarlak (O), sol kulak HYİE mavi çarpı (X), sağ kulak KYİE kırmızı "<", sol kulak KYİE ise mavi ">" ile gösterilir (ASHA, 1990). İşaretlemeler tamamlandıktan sonra her kulağın 500, 1000 ve 2000 Hz eşiklerinin aritmetik ortalaması alınarak saf ses ortalaması hesaplanır. Saf ses ortalaması, işitme kaybı derecesinin belirlenmesi ve klinik değerlendirmelerde referans oluşturulması açısından önemlidir (Carhart & Jerger, 1959; Wilson & Margolis, 1999).

2.3.1.3. Saf Ses Odyometri Testinde Maskeleme

Bir ses uyarını test edilen kulağa sunulduktan sonra kafatası kemikleri aracılığıyla karşı kulağa ulaşabilir, bu durumda ulaşırken kaybettiği enerji interaural attenuasyon (IA) olarak adlandırılır (Martin & Clark, 2003). IA değeri, klinikte maskeleme kararını doğrudan etkilemektedir. Maskeleme, SSOT sırasında test edilmeyen kulağın algısını ortadan kaldırmak için, bu kulağa gürültü uyarını sunulmasına verilen addır. Eğer test edilen kulaktaki ve karşı kulaktaki işitme eşikleri IA değerinden fazla ise, işitme eşikleri iyi olan kulağa maske uygulanması gerekmektedir. Böylece, gönderilen ses uyarını elde edilen cevabın sadece test edilen kulaktan kaynaklandığından emin olunur (Margolis & Hunter, 2000; Katz vd., 2015).

Maskeleme kararı, kullanılan kulaklık türüne ve iki kulak arasındaki eşik farkına göre belirlenmektedir. IA değeri genellikle supraaural kulaklıklarda 40 dB, insert kulaklıklarda 50-60 dB, kemik vibratörlerde 0 dB olarak kabul edilmektedir. Hava ve kemik yolu işitme eşikleri arasında 10 dB HL veya daha fazla fark varsa, o frekanstaki kemik yolu eşiği maskeleme ile değerlendirilmelidir (ASHA, 2005; ISO, 2009).

2.3.1.4. Konuşma Odyometrisi

İşitme sisteminin günlük yaşamdaki en önemli işlevi konuşma anlaşılabilirliğidir. Bu nedenle kapsamlı odyometri testlerinin bir bölümünü, konuşmanın algılanması ve tanınmasını değerlendiren konuşma odyometrisi oluşturur. Konuşma odyometrisi, bir odasında odyolojik ekipmanın, diğer odasında hastanın bulunduğu iki odalı sessiz kabinde gerçekleştirilir. Odyometrelerde bulunan mikrofon sayesinde klinisyenin canlı sesiyle veya önceden kaydedilmiş ses kayıtlarıyla test yapmak mümkündür. Konuşma sinyalleri kulaklıklar aracılığıyla veya hoparlörden sunulabilir. Hastanın test sırasında klinisyenin ağız hareketlerini görmeyeceği bir açığa yerleştirilmesi önemlidir. (ASHA, 1988; Katz vd., 2015).

Konuşmayı alma eşiği (KAE), konuşmanın en az %50 oranında doğru tanımlanabildiği en düşük seviyeyi ölçer. KAE, SSO ile güçlü korelasyona sahip olduğundan SSOT'ni doğrulamada önemli bir parametredir (Hirsh vd., 1952; Carhart & Jerger, 1959). KAE ölçümünde heceler arasında aynı vurguya sahip üç heceli kelime listeleri kullanılır. Teste genellikle 30–40 dB HL seviyesinde başlanır. Hasta bu seviyede sunulan kelimeyi doğru tekrarlarsa uyarın seviyesi 10 dB azaltılır; yanlış yanıt verilirse 5 dB artırılır. Hastanın sunulan beş kelimedenden üçünü veya dört kelimedenden ikisini doğru tekrarladığı seviye KAE olarak kabul edilir.

Konuşmayı ayırt etme skoru, eşik üstü seviyede sunulan tek heceli kelimelerin anlama ve tekrarlama becerisini değerlendirir. Genellikle KAE'nin 40 dB üzerindeki seviyede hastaya 25 kelime sunulur ve hastadan bunları tekrar etmesi istenir. Hastanın doğru yanıtlarına göre yüzdelik skor elde edilir. Normal kabul edilen skor %80 ve üzerindedir (Katz vd., 2015; Thornton & Raffin, 1978).

Konuşmayı fark etme eşiği, konuşmanın en az %50 oranında algılanabildiği en düşük seviyeyi ölçer. Diğer konuşma tanıma testlerinden farklı olarak hastanın kelimeleri tekrar etmesi gerekmez; yalnızca konuşma sinyalini fark ettiğini belirtmesi yeterlidir (ASHA, 1988; Martin & Clark, 2003).

2.3.1.5. *Pediyatrik Değerlendirme*

Pediyatrik işitme değerlendirmesi, çocukluk döneminde işitsel gelişimin izlenmesi ve olası işitme kayıplarının erken tanısı açısından büyük önem taşır. Çocukların dikkat sürelerinin kısa olması, davranışsal tepkilerinin değişkenlik göstermesi ve test iş birliğinin sınırlı olması nedeniyle değerlendirme süreci yetişkinlerden farklı bir yaklaşım gerektirir. Bu bağlamda Jerger ve Hayes (1976) tarafından tanımlanan çapraz kontrol ilkesi, pediyatrik vakalarda işitsel işlevin güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi için yaşa uygun davranışsal ve elektrofizyolojik testlerin birlikte kullanılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır.

Davranışsal testler, çocuğun işitsel uyarıyı gerçekten algılayıp algılamadığını göstermesi ve işitme sisteminin bütünsel olarak değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle pediyatrik işitme değerlendirmeleri, davranışsal gözleme dayalı, oyun temelli ve objektif testlerin kombinasyonundan oluşan çok boyutlu bir yaklaşımla gerçekleştirilmelidir (Jerger & Hayes, 1976; Widen, 1993).

Pediyatrik değerlendirmelerde en yaygın kullanılan test düzeni, bir odada odyolog, odyometre ve görsel pekiştireç kontrol panelinin; diğer odada ise çocuk, ebeveyn ve test asistanının bulunduğu iki odalı sistemdir. Bu düzende dikkat edilmesi gereken bazı temel unsurlar vardır: 1) Odyolog ve test asistanı çocuğu net bir şekilde görebilmelidir. Odyolog, ses uyarısını gönderdikten sonra çocuğun tepkisini kolaylıkla gözlemleyebilmeli ve sonraki uyarının zamanlamasına çocuğun davranışlarına göre karar verebilmelidir. 2) Odyolog ile test asistanı arasında kesintisiz iletişim sağlanmalıdır. Bu iletişim kablosuz kulaklık veya görsel sinyaller aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Özellikle kulaklıkla yapılan ölçümlerde, ses uyarısının sunulduğu anın doğru belirlenmesi, asistanın çocuğun tepkisini uygun zamanda pekiştirmesi açısından kritik önem taşır.

Davranışsal testlerde kulaklık ve kemik osilatörü ile uyaran gönderilebilir ve hoparlör aracılığıyla işitsel amplifikasyon da değerlendirilebilir. Test sırasında dar bant gürültü, warble ton, saf ses uyaranları ve konuşma uyaranları kullanılabilir (Widen, 1993).

Davranışsal Gözlem Odyometrisi

Bilişsel gelişimi 6 ay ve altında olan bebeklerde uygulanabilen davranışsal gözlem odyometrisi, bebeğin ses uyaranlarına verdiği istemsiz tepkilere dayanarak işitsel eşik tahmininin yapılmasını sağlayan bir değerlendirme yöntemidir. Bebeklerde işitme değerlendirilmesi amacıyla solunum değişikliği, göz kırpması, yüz buruşturması gibi çeşitli davranışlar kullanılsa da, emme refleksinin işitme eşiklerini saptamada en güvenilir yol olduğu bildirilmiştir (Trehub vd., 1980; Widen, 1993).

Emme refleksi; emzikle, anne memesiyle veya biberonla değerlendirilebilir. Değerlendirme sırasında bebeğin günlük yaşamında alışık olduğu beslenme şeklinin tercih edilmesi önerilir. Bebek, odyoloğun yüzünü kolaylıkla görebileceği şekilde, hoparlöre belirli bir mesafede ve ebeveynin kucağında oturtulmalıdır. Teste eşik üstü seviyeden başlanarak eşik taranır (Northern & Downs, 2002; Sabo, 1999; Sininger & Abdala, 1998). Tepkilerin geçerli kabul edilebilmesi için, bebeğin işitsel uyarana duyduğunda emme davranışını başlatması veya durdurması gereklidir. Uyaran sonrası uzun gecikmeli tepkiler ise şüpheli olarak değerlendirilir. Çalışmalar, 3 aylık bebeklerde davranışsal eşiklerin 250–4000 Hz aralığında genç yetişkin eşiklerinden yaklaşık 15–20 dB, 8000 Hz’de ise yaklaşık 30 dB daha yüksek elde edildiğini göstermiştir (Koch & Halpin, 1987; Nozza, 2006; Olsho, 1984;). Ayrıca konuşma uyaranlarıyla yapılan ölçümlerde /ba/ eşığının 0.5 kHz’e, /s/ eşığının 2 kHz’e ve /ɲ/ (ş) eşığının 3–4 kHz’e yakın değerler verdiği belirtilmiştir (Ling, 2002; Madell, 1995, 1998, 2008). Davranışsal gözlem odyometrisi ile elde edilen eşiklerin genellikle yetişkin eşiklerine yakın veya yalnızca biraz daha yüksek seviyelerde gözlenebilmesi, bu yöntemin özellikle erken dönem işitsel değerlendirmelerde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir (Northern & Downs, 2002; Widen, 1993).

Görsel Pekiştirme Odyometrisi

Bebekler 5–6 aylık olduğunda, sese tepki vermek için şartlandırılabilirlikleri için davranışsal testlerin uygulanması daha kolay hâle gelir. En yaygın kullanılan yöntem, bebeğin verilen ses uyarısı sonrasında sese doğru başını çevirerek bakmasının sağlanmasıdır. Bu yöntemde bebek, iki hoparlöre 90° açıyla ve yaklaşık birer metre mesafede olacak şekilde mama sandalyesine veya ebeveynin kucağına oturtulur. Bebeğin önündeki masada dikkatini

toplamasını sağlayacak oyuncaklar bulunmalıdır (Madell & Flexer, 2008; Widen vd., 2000; Widen vd., 2002)

Görsel Pekiştirmeli Odyometri (GPO) sırasında odyolog, eşik üstü seviyeden ses uyarısını sunduktan sonra bebek sesi algılasa sesi aramaya başlar. Bebek ses uyarısının geldiği yöne kendiliğinden bakabilir; sesi aradığı fark edilirse test asistanı bebeğin sesin geldiği yeri bulmasına yardımcı olabilir. Bebek sesi aramaya başladığında, odyolog görsel pekiştireci kısa süre etkinleştirir. Böylece bebek olumlu yönde pekiştirilmiş olur ve birkaç tekrardan sonra sesi duyduğunda pekiştirece doğru bakmayı öğrenir. Hoparlörlerin yanında bulunan görsel pekiştireçler hareket eden ışıklı oyuncaklar veya kısa video klipler olabilir (Madell & Flexer, 2008; Widen vd., 2000; Widen vd., 2002,).

Bebek sese doğru yöneldikten sonra testin sağlıklı biçimde devam edebilmesi için dikkatinin yeniden orta hatta çekilmesi gerekir. Bunun için masadaki oyuncaklar veya 0° açıda konumlandırılmış merkez görsel pekiştireç kullanılabilir. 6–36 aylık bebeklerin davranışsal değerlendirilmesinde GPO ve koşullu yönelim tepkisi (KYT) en sık kullanılan iki yöntemdir. GPO’nde yalnızca bir hoparlör kullanılırken, KYT’de ses iki hoparlörden sunulur ancak bebek yalnızca sesin geldiği hoparlöre doğru yöneldiğinde pekiştirilir (Madell & Flexer, 2008; Widen vd., 2000; Widen vd. 2002).

Oyun Odyometrisi

Oyun odyometrisi, bilişsel gelişim düzeyi 30 ay ve üzeri olan çocuklarda uygulanabilen davranışsal bir işitme değerlendirme yöntemidir (Madell & Flexer, 2013; Northern & Downs, 2002; Thompson & Thompson, 1972). Çocuğu teste vereceği tepkiye alıştırmak amacıyla, alıştırmaya sürecine genellikle 40–50 dB HL düzeyinden başlanır. Test, çocuğun duymadığı bir seviyeden başlatılırsa çocuk sessizliğe şartlanabilir; bu durum yanlış pozitif sonuçların artmasına ve çocuğun sınırlı dikkat süresinin verimsiz kullanılmasına yol açar (Roeser vd., 2000).

Test sırasında, çocuktan belirli bir oyuncuğu kulağına tutması ve sesi duyduğunda oyuncuğu önündeki sepete atması istenir. Alıştırma aşamasında test asistanı, çocuğa oyun yoluyla doğru tepkileri öğretir. Çocuk testi uygularken, doğru yanıtları alkış gibi ödüllere pekiştirmek, motivasyonu ve katılımı artırmak açısından büyük önem taşır (Northern & Downs, 2002).

Teste öncelikle serbest sahada değerlendirme ile başlanır. Eğer çocuk kulaklık takılmasına izin veriyorsa, teste adapte olduktan sonra kulaklıkla değerlendirme yapılır. Oyun odyometrisinde çocuğun bilişsel düzeyinin daha yüksek olması, daha fazla frekansta eşik taraması yapılabilmesine ve

kulaklıkla her iki kulağın ayrı ayrı değerlendirilmesine olanak sağlar (Roeser vd., 2000).

2.3.2. İşitme Değerlendirmesi İçin Kullanılan Objektif Test Bataryaları

2.3.2.1. Otoakustik Emisyon Testi

Otoakustik emisyon testi (OAE), dış kulak kanalına yerleştirilen bir mikrofon yardımıyla iç kulaktaki dış tüy hücrelerinin (DTH) fonksiyonunu değerlendiren bir testtir. Mikrofon, kulak kanalına uyumlu ve tam yerleşim sağlayan bir prob içine yerleştirilmiştir. Testin noninvaziv olması, hastanın öznel tepkisini gerektirmemesi, her kulak için ayrı değerlendirme yapılabilmesi, kısa sürmesi ve uygun maliyetli olması nedeniyle klinikte önemli bir tarama ve değerlendirme yöntemidir (Kemp, 1978).

Kokleadaki ses üretimi, Békésy ve Georg tarafından geliştirilen hareketli dalga teorisine ve bunun sonucunda tanımlanan koklear amplifikatör mekanizmasına dayanmaktadır. Hareketli dalga teorisine göre, stapesin hareketi koklear sıvının yer değiştirmesine yol açar ve bunun sonucunda baziler membranda bazaldan tepe noktasına kadar ilerleyen bir hareket oluşur. Uyarının frekansına bağlı olarak baziler membranın maksimum yer değiştirme gösterdiği bölge değişir; yüksek frekanslarda bazal, düşük frekanslarda ise apikal bölgede maksimum titreşim meydana gelir (Békésy, 1960).

David Kemp, koklear amplifikatör teorisinin gelişmesine öncülük etmiş ve DTH'nin aktif mekanizmasının varlığını kanıtlamıştır (Kemp, 1978). Koklear amplifikasyonda, gönderilen akustik uyarının frekansı ne ise baziler membran üzerinde o frekansa özgü bölgede maksimum titreşim oluşur. Bu hareketin temel kaynağı olan DTH, baziler membran hareketlerini güçlendirerek işitme sınırı aktivasyonunu artırır. Bu mekanizmanın bir yan ürünü olarak ortaya çıkan ve orta kulaktan geri geçerek aktarılan enerji, mikrofon tarafından kaydedilebilir hâle gelir. Bu sinyaller otoakustik emisyonlar olarak adlandırılır (Shera & Guinan, 1999). OAE testinde akustik uyarıyı üreten bir hoparlör ile koklea tarafından üretilen emisyonları ölçen bir mikrofon bulunur. Mikrofon ve hoparlör kulak kanalına uyumlu bir prob içine yerleştirilerek test uygulanır (Gorga vd., 1993). Test sırasında hastanın sessiz ve hareketsiz durması ve ortamın tamamen sessiz olması gerekmektedir. OAE testleri dış uyarı olmadan meydana gelen spontan OAE (SOAE) ve dış uyarı ile tetiklenen uyarılmış OAE (EOAE) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır.

Otoakustik Emisyon Türleri

Spontan OAE Spontan OAE, dışarıdan herhangi bir akustik uyarın olmaksızın DTH tarafından sürekli üretilen seslerdir. Dış kulak kanalına yerleştirilen mikrofon ile ölçülebilir. Genellikle normal işiten herkeste görülmemesi ve klinik olarak anlamlı bilgi sağlamaması nedeniyle klinik rutinde kullanılmaz (Bonfils, 1989).

Uyarılmış OAE. Uyarılmış OAE'ler; transient-evoked OAE (TEOAE), stimulus-frequency OAE ve distortion product OAE (DPOAE) olmak üzere üç tür uyarınla elde edilir. Klinik yorumlamada, tüm uyarılmış OAE'ler için en az üç frekans bandında yanıt amplitüdünün gürültü amplitüdünden ≥ 3 dB daha yüksek olması normal TEOAE olarak kabul edilir

Transient Evoked Otoakustik Emisyon (TEOAE). Klik veya tone burst gibi kısa süreli akustik uyarınlara bağı olarak ortaya çıkan kısa latanslı emisyon türüdür. Geniş frekans aralıklı klik uyarını kokleanın geniş bir bölümünü uyarır, bu nedenle özellikle 1–4 kHz aralığındaki işitmenin iyi bir göstergesi olarak kabul edilir (Prieve, 1993). Tone burst TEOAE'de dar bant tonal uyarınlar kullanılarak enerjinin baziler membranın belirli bir bölgesinde yoğunlaşması sağlanır ve daha frekansa özgü yanıtlar elde edilir (Kemp, 1990). Tone burst TEOAE kaydında senkronize averajlama gürültünün azaltılmasına yardımcı olur. Ayrıca akustik uyarının kanaldan geri yansıdığı süre kayıt başlangıcından çıkarıldığı için özellikle yüksek frekans bileşenlerinde kayıp görülebilir (Gorga vd., 1993).

Distortion Product Otoakustik Emisyon Testi. Eşzamanlı olarak iki ayrı saf ses uyarını (f_1 ve f_2) kullanılarak oluşturulan emisyon türüdür. Koklea doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğundan, gönderilen uyarınlar sırasında koklea boyunca çeşitli noktalarda distorsiyonlar meydana gelir. Yapılan araştırmalar, uyarın seviyelerinin iki saf ses arasındaki şiddet farkının 10 dB SPL olması (örneğin 55 ve 65 dB SPL) ve uyarınlar arasındaki frekans oranının $f_2/f_1 = 1.2$ olduğu durumda DPOAE'nin normal işiten kişiler ile işitme kayıplı hastaları ayırt etmede en yüksek doğruluğu sağladığını göstermiştir (Kemp, 1979; Gaskill & Brown, 1990). Ölçüm sırasında en büyük tepkinin, $2f_1 - f_2$ formülüyle hesaplanan frekansta meydana geldiği bilinmektedir. Örneğin $f_1 = 2000$ Hz ve $f_2 = 1640$ Hz olduğunda, oluşan DPOAE yanıtı basitçe $(2 \times 2000) - 1640 = 2360$ Hz'de ortaya çıkar. DPOAE'ler genellikle 1–6 kHz aralığında kaydedilir; bazı cihazlar 10–12 kHz'e kadar değerlendirme yapabilmektedir. Test sonucunda frekansa özgü DPOAE yanıtı sonuç ekranında görülür (Gorga vd., 1993; Dorn vd., 2001).

Stimulus-frequency Otoakustik Emisyon Testi. Tek frekanstaki saf ses uyararıyla ölçülen emisyon türüdür. Ancak emisyon yanıtı uyararı ile aynı frekansta bulunduğu için rezidüel uyararı enerjisinin ayrıştırılması güçtür. Bu nedenle klinikte kullanımı sınırlıdır (Abdala, 2001).

Otoakustik Emisyon Testinin Klinik Kullanımı

Çalışmalar, OAE'nin normal çalışan DTH tarafından üretildiğini ve yaklaşık ≥ 30 dB HL işitme kaybı olan bireylerde emisyonların kaybolduğunu göstermiştir. Bu nedenle TEOAE işitme kaybını tespit eder; ancak kaybın derecesini veya türünü belirleyemez. Klinikte tek başına işitme testi yerine kullanılmasa da çapraz doğrulamada vazgeçilmezdir. DPOAE ile yapılan çalışmalarda ise, yanıtların uyararı seviyesine bağlı olarak yaklaşık 50 dB HL işitme kayıplarında bile elde edilebildiği gösterilmiştir. Ayrıca DPOAE'de uyararı frekanslarının değiştirilmesiyle kokleanın bazalden apekse kadar daha frekansa özgü yanıtlar elde edilebilmektedir (Gorga vd., 1993). Çok hafif derecedeki kayıpların belirlenmesinde ise TEOAE'lerin, düşük işitme kayıplarında daha hızlı kaybolmaları nedeniyle daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Gorga vd., 1993; Gorga, 1997; Manuermann vd., 1999).

İşitsel nöropati spektrum bozukluğunda (INSB), DTH fonksiyonları normaldir; bozukluk iç tüy hücreleri, sinapslar veya işitme sinirindeki senkronizasyon kaybindan kaynaklanmaktadır. Normal DTH fonksiyonları, koklear mikrofonikler ve OAE'lerin varlığıyla doğrulanır. Bu nedenle OAE, INSB tanısında kritik öneme sahiptir. İlerleyen yaşla birlikte elde edilen emisyon frekanslarının azalabileceği veya tamamen kaybolabileceği bilinmektedir (Berlin vd., 2005; Madden vd., 2002; Rance & Starr, 2015; Starr vd., 1996). *Ototoksisite izleminde*, aminoglikozitler ve platin bazı kemoterapötik ilaçlar nedeniyle gelişen ototoksisiteyi izlemek için OAE kullanılabilir. Birçok çalışmada, odyogram etkilenmeden önce özellikle OAE amplitüdlerinin giderek azaldığı gösterilmiştir (Stavroulaki vd., 2001).

2.3.2.2. Konvansiyonel Akustik İmmütansmetri Testi

Akustik immitansmetri testi (AİT), orta kulak sisteminin basınç değişikliklerine ve ses enerjisine verdiği yanıtı değerlendiren temel odyolojik test bataryasıdır. Davranışsal tepki gerektirmemesi ve kısa sürede tamamlanabilmesi nedeniyle klinik değerlendirmede önemli yer taşır. Akustik impedans, orta kulağın akustik dalgaya karşı gösterdiği direnci; akustik admitans ise orta kulağın enerji akışına karşı geçirgenliğini ifade eder. "İmmütans" terimi, bu iki kavramın birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Standart AİT; timpanometri, akustik refleks değerlendirmesi ve östaki

fonksiyon değerlendirmesi alt testlerini içermektedir (Margolis & Hunter, 1999; Margolis & Hunter, 2000).

Timpanometri Değerlendirmesi

Normalde orta kulaktaki basınç seviyesi sürekli olarak atmosfer basıncıyla eşitlenir ve bu durum sesin iletimi için gereklidir. Orta kulak basıncının atmosfer basıncına kıyasla pozitif veya negatif yönde değiştirilmesiyle elde edilen grafik timpanogram olarak adlandırılır (Katz vd. 2015). Bu basınç değişiklikleri, dış kulak kanalına yerleştiren prob aracılığıyla oluşturulur. AİT probu içinde bir hoparlör, basınç pompası ve mikrofon yer alır. Timpanometri yetişkinlerde yaygın olarak 226 Hz, infantlarda ise 1000 Hz prob ton kullanılarak yapılır (Shanks & Lilly, 1981). Test sonucunda dış kulak kanalı hacmi, statik akustik admitans, timpanometrik tepe basıncı ve timpanik genişlik gibi parametreler elde edilir (Margolis & Hunter, 1999; Wei De, 2020). 226 Hz timpanogramların sınıflandırılması, genellikle Lidén (1969) ve Jerger (1970) tarafından yapılan, timpanogram tepe noktasının yüksekliği ve basınç aralığına dayanan tanımlamalara göre yapılır.

Tip A: Normal akustik admitans (0.3–1.5 mL) ve normal timpanometrik tepe basıncına (+/– 100 daPa) sahiptir. Orta kulak fonksiyonu normaldir.

Tip B: Akustik admitans belirgin şekilde düşüktür ve fark edilebilir bir tepe noktası yoktur. Kulak kanalı hacmi normaldir. Orta kulak efüzyonu veya kronik otitis media gibi durumlarda görülür.

Tip C: Timpanometrik tepe noktası -100 daPa'nın altında yani negatif basınç alanındadır. Genellikle östaki tüpü disfonksiyonuyla ilişkilidir.

Feldman (1976), bunlara ek olarak iki farklı timpanogram türü tanımlamıştır:

Tip Ad: Yüksek admitans (>1.5 mL) ve normal tepe basıncı (+/– 100 daPa) vardır. Hiper mobil timpanik membran veya ossiküler disartikülasyon gibi durumlarda görülür.

Tip As: Düşük admitans (<0.3–0.5 mL) ve normal tepe basıncı bulunur. Otoskleroz, timpanoskleroz veya malleus fiksasyonu gibi hareket kısıtlılığı yaratan patolojilerde tipiktir.

Akustik Refleks Değerlendirmesi

Akustik refleks (AR), yüksek şiddette akustik uyarana karşı stapedius kasının kasılmasıyla ortaya çıkan ve orta kulak sisteminin mekanik empedansını değiştiren koruyucu bir yanıttır (Schairer vd., 2013). AR testinde bir kulağa yüksek şiddette ses sunulur. Stapedius kasının kasılması

sonucunda bilateral orta kulaktan iç kulağa iletilen enerji azalır ve bu değişim, kulağa yerleştirilen prob aracılığıyla timpanometrik admitans değişimi olarak ölçülür. Geleneksel klinik uygulamada 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarında değerlendirilir. Test kulağının admitansı, uyarın sonrası belirli bir kriter kadar (örneğin 0.02–0.03 mmho) azalırsa refleksin mevcut olduğu kabul edilir (Margolis & Levine, 1997; Feeney & Keefe, 2001). Refleksin oluştuğu en düşük şiddet seviyesi AR eşiği olarak tanımlanır (Gelfand vd., 1990).

AR yanıtı ipsilateral ve kontralateral olarak ölçülebilir. İpsilateral refleks, uyarının verildiği kulaktan ölçülen yanıttır. İpsilateral refleks arkı; koklea → vestibulokoklear sinir (VIII) → koklear nukleus (KN) → superior olivar kompleks (SOK) → ipsilateral fasiyal sinir üzerinden stapedius kasına iletilir (Jerger vd., 1974). Kontralateral reflekste, uyarın bir kulaktan verilir, refleks karşı kulaktan ölçülür. Kontralateral refleks arkı; koklea, vestibulokoklear sinir (VIII), KN, SOK, kontralateral fasiyal sinir üzerinden stapedius kasına iletilir (Jerger vd., 1974). İpsilateral AR, aynı kulakta meydana gelen orta kulak patolojileri, koklear patolojiler ve fasiyal sinir lezyonları hakkında bilgi verirken; kontralateral AR arkı bunlara ek olarak beyin sapı düzeyindeki nöral bütünlüğü değerlendirmede daha fazla bilgi sağlar (Jerger vd., 1974).

2.3.2.3. İşitsel Beyin Sapı Cevapları

Elektrofizyolojik değerlendirmeler, akustik uyarın sonrası kokleadan başlayıp işitsel kortekse kadar uzanan nöral yolların oluşturduğu elektriksel aktivitenin ölçülmesini sağlayan yöntemlerdir. Akustik uyarın sonrası ortaya çıkan elektriksel yanıtlar, beyindeki voltaj değişikliklerine neden olur ve bu potansiyeller hacim iletimi yoluyla saçlı deriye taşınarak yüzeysel elektrotlar aracılığıyla kaydedilir. Bu tür ölçümler uzak alan potansiyelleri olarak adlandırılır. Klinik uygulamada özellikle işitsel eşik tahmini amacıyla İşitsel Beyin Sapı Cevapları (İBC) ve Auditory Steady-State Response (ASSR) testleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

İBC, akustik uyarın sonrası işitme sınırı ve beyin sapındaki elektriksel aktivitenin zaman domeninde dalga formu şeklinde kaydedilmesini sağlayan bir testtir. Elde edilen dalga tepkilerinin latans ve amplitüd özellikleri klinik yorumlamanın temelini oluşturur (Bargen, 2015). Akustik uyarını takiben yaklaşık 10–12 ms içinde ortaya çıkan yedi pozitif tepe dalgası bulunur ve bu dalgalar I–VII şeklinde Roma rakamlarıyla isimlendirilir (Jewett, 1971).

İşitsel Beyin Sapı Cevabı Dalgalarının Anatomik Kökenleri

Dalgaların kesin anatomik kaynakları hakkında çok fazla araştırma yapılmıştır. İlk başta her dalganın, tek bir anatomik yapıdan kaynaklandığı

düşünülmüştür ancak şimdi birkaç farklı yapıdan köken alabildiği bilinmektedir (Biacabe, 2001; Melcher JR, 1996; Rouillon, 2016). Dalgaların nöral kaynakları şu şekildedir; I. dalga işitme sinirinin distalinden köken alır, mutlak latansı yaklaşık 1.5 ms'n'dir. II. dalga işitme sinirinin proksimalinden kaynaklanır, mutlak latansı yaklaşık 2.5 ms'n'dir. III. dalga KN ve SOK'den köken alır, 3.5 ms'n'lik mutlak latansa sahiptir. IV. dalga SOK ve lateral lemnisküsten köken alır, mutlak latansı yaklaşık 4.5 ms'n'lik mutlak latansa sahiptir. V. dalga lateral lemnisküs ve inferior kollikulustan köken alır, mutlak latansı yaklaşık 5.5 ms'n'dir (Biacabe, 2001; Melcher JR, 1996; Rouillon, 2016).

Teste Hazırlık ve Elektrot Yerleşimi

Test sırasındaki kas veya hareket artefaktları testi etkilemektedir. Bebeklerde İBC değerlendirmesi, bebek uykudayken yapılmaktadır, yetişkinlerde hastaların test sırasında sırtüstü pozisyonda sessiz ve rahat olmaları yeterlidir. Teste hazırlık sürecinde elektrot yerleştirilecek yerlerin jel veya alkolle temizlenir. Uluslararası 10-20 yüzey elektrot yerleşim sistemine göre elektrotlar yerleştirilir. İpsilateral yerleşimde pozitif elektrot vertex veya saç köküne, ground elektrot alına veya iki kaş ortasına, negatif elektrot ise bir kulak memesi veya mastoide yerleştirilir. Kontralateral yerleşimde bunlara ek olarak diğer kulak memesi veya mastoide de elektrot yerleştirilir. Elektrotlar yerleştirildikten sonra mutlaka impedans kontrolü yapılmalıdır. İmpedansların 5 k Ω 'dan düşük olması gereklidir. Elektrot yerleşimi ve impedans kontrolünden sonra kulaklık yerleştirilip teste başlanır (Bergen, 2015; Felix, 2018).

İşitsel Beyin Sapı Cevapları Ölçüm Parametreleri

Klinik İBC kayıtlarında insert kulaklık, supraaural kulaklık ve kemik vibratör olmak üzere üç farklı transduser kullanılmaktadır. Insert kulaklıklar; yüksek IA sağlaması, özellikle bebeklerde dış kulak kanalı çökmesi riskini azaltması, uyarının prob aracılığıyla kafatasına iletilen artefaktını düşürmesi gibi avantajları nedeniyle klinikte en sık tercih edilen transduser türüdür (Gorga vd., 1985; Cone-Wesson & Ramirez, 1997).

İBC'de kullanılan akustik uyarılar çeşitlilik göstermektedir. *Klik uyarı*, geniş bantlı, kısa süreli ve ani başlangıçlıdır. Bu özellikleri, çok sayıda nöronun senkronize biçimde ateşlenmesini sağlar. Ancak kokleanın tonotopik organizasyonu nedeniyle hareketli dalganın apeks bölgesine ulaşması zaman aldığından, klik ABR yanıtı özellikle 2–4 kHz frekans aralığındaki saf ses eşikleri ile yüksek korelasyon gösterir (Stapells, 2000). Daha sonra geliştirilen *chirp uyarı* ise kokleanın tonotopik gecikmesini dengeleyecek şekilde

tasarlanmıştır. Alçak frekanslı bileşenler yüksek frekanslılardan daha erken gönderilir; böylece kokleanın tüm frekans bölgeleri eşzamanlı olarak uyarılır. Bu durum nöral senkronizasyonu artırarak V. dalga amplitüdünü anlamlı derecede yükseltir ve test süresini kısaltır (Elberling & Don, 2008). *Tone burst uyaran* ise belirli bir frekans bölgesini hedef alacak şekilde tasarlandığından, klinikte frekans-spesifik işitsel eşik tahmini için kullanılmaktadır.

İşitsel Beyin Sapı Cevapları Kullanım Alanları

İBC, davranışsal odyometriye uyum sağlayamayan bireylerde işitme eşiklerinin tahmini, koklear ve retrokoklear patolojilerin ayrımı, nöral senkronizasyon bozukluklarının değerlendirilmesi gibi birçok klinik durumda yaygın olarak kullanılan bir elektrofizyolojik yöntemdir. Özellikle yenidoğan işitme taramasından kalan bebeklerde işitme eşiklerinin belirlenmesi için klinikte temel testlerden biridir.

İBC, yalnızca eşik tayininde değil, aynı zamanda akustik nörinom, demiyelinizan hastalıklar, INSB, beyin sapı lezyonları gibi nöral iletimi etkileyen patolojilerin tanısında da kritik rol oynamaktadır. Bu durum, İBC'nin beyin sapı düzeyindeki nöral senkronizasyonu objektif biçimde değerlendirebilmesinden kaynaklanmaktadır (Hall, 2007).

İşitme Taraması: Tarama İBC, yenidoğan işitme tarama programlarında kullanılan *otomatik ve hızlı* bir test protokolüdür. Test sırasında yalnızca 35 dB HL düzeyinde klik uyaran verilir. Cihaz yanıtları gerçek zamanlı olarak analiz ederek “geçti” veya “kaldı” şeklinde sonuç üretir (Stapells, 2010; Hall, 2007).

İşitme Eşiği Tayini: İBC, yenidoğanlar, bebekler, gelişimsel gecikmesi olan bireyler ve fonksiyonel işitme kaybı şüphesi bulunan hastalarda işitme eşiklerinin belirlenmesi amacıyla klinik rutinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Klinik kayıtlarda özellikle ilk beş dalga analiz edilir; yapılan çalışmalar I, III ve V. dalgaların normal işitsel sistemde en belirgin dalgalar olduğunu göstermiştir (Starr & Hamilton, 1976). Eşik tayininde klinik olarak en önemli dalga V. dalgadır, çünkü uyaran şiddeti azaltıldıkça en son kaybolan ve en güvenilir şekilde takip edilebilen dalga V. dalgadır. İBC; işitsel sinir liflerinin senkronize aktivitesine bağlı bir yanıt ürettiğinden, elde edilen eşik değerleri davranışsal testlere göre genellikle daha yüksek bulunur. Bu farklılığı dengelemek için 500–4000 Hz arasındaki frekanslarda frekans-spesifik düzeltme faktörleri geliştirilmiştir. Bu düzeltmeler sayesinde İBC eşikleri davranışsal saf ses odyometrisi ile yüksek uyum gösterir ve klinik tanı sürecinde güvenle kullanılabilir (Gorga vd., 2006; Stapells, 2000).

İşitme Kaybı Türünün Saptanması: Klik uyaran sunumuyla elde edilen İBC yanıtlarında mutlak dalga latansları, interpike latans (IPL) değerleri, dalga amplitüd oranları ve kulaklararası latans değerleri işitme kaybının türünün belirlenmesi için kullanılan parametrelerdir. İletim tipi işitme kaybında, I, III ve V. dalga mutlak latanslarında uzama görülür. I-III, III-V ve I-V IPL normal sınırlardadır. Hastalarda hava yolu eşikleri normal sınırlardan daha yüksek elde edilirken, tanı koymak için mutlaka kemik ABR ile kemik yolu eşikleri saptanmalıdır. İTİK'nda kemik yolu eşiklerinin normal sınırlarda olması beklenmektedir (Hall, 2007; Katz, 2015).

Retrokoklear Patoloji Değerlendirmesi: Retrokoklear patolojilerde, bozuk morfoloji, III ve V. dalganın elde edilmemesi veya mutlak latanslarının uzaması, I-III veya I-V IPL uzaması, V. dalga mutlak latans değerlerinin kulaklararası farkının 0.4 ms'n'den fazla olması ve V/I amplitüdünün azalması görülebilir (Hall, 2007).

2.3.2.4. Auditory Steady-State Response

Auditory Steady State Response (ASSR), amplitüdü veya frekansı modüle edilmiş ve sürekli olarak sunulan akustik uyaranlara karşı işitsel sistemin oluşturduğu elektrofizyolojik yanıtlardır. Klinikte belirli frekanslarda işitme eşiklerinin tahmini için kullanılan objektif yöntemlerden birisidir. ASSR testi, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz frekanslarında ve 0-120 dB HL şiddet aralığında işitme eşliğini tayin etmek için kullanılmaktadır (Picton, 2003).

ASSR Uyaran Parametreleri

ASSR teste hazırlık süreci, kullanılan transducer türleri ve elektrot yerleşimi ABR testi ile aynıdır. ASSR, klik, gürültü ve chirp gibi geniş bant uyaranlar ya da frekansa özgü yanıtların elde edilmesinde kullanılan filtrelenmiş uyaranlar ve saf sesler aracılığıyla kaydedilebilir (Lins & Picton, 1995; Picton vd., 2003). ASSR'de uyaran tipini anlayabilmek için aşağıdaki kavramların ayırt edilmesi önemlidir.

Taşıyıcı Frekans: Modülasyonun uygulandığı temel frekans taşıyıcı frekans olarak adlandırılır. 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz olmak üzere ASSR'de kullanılan 4 adet taşıyıcı frekans mevcuttur (Picton vd., 2003).

Modülasyon Frekansı: Taşıyıcı frekansı şiddet veya frekansının hangi hızda dalgalanacağını belirleyen hızdır. Modülasyon frekansı, yanıtın anatomik kaynağını belirler ve Hz cinsinden ifade edilir (Picton vd., 2003).

Frekans Modülasyonu: Taşıyıcı frekansının belirli bir modülasyonda ve belirli bir aralıkta değiştirilmesine verilen isimdir. Örneğin, 2000 Hz taşıyıcı

frekansı, sürekli olarak ± 30 Hz frekans aralığında 85 kez (85 modülasyon frekansı ile) dalgalanır (John vd., 2001).

Amplitüd Modülasyonu: Saf sesin şiddetinin belirli modülasyona göre artıp azaltılmasına verilen isimdir. Örneğin, 2000 Hz taşıyıcı frekansı, sürekli olarak %100 amplitüd modülasyonu (amplitüdün maksimumdan minimuma doğru sürekli değişmesiyle) 85 kez (85 modülasyon frekansı ile) dalgalanır (John vd., 2001; Lins & Picton, 1995).

Mixed Modülasyon: Saf sesin hem frekans hem de amplitüdünün belirli bir aralıkta değiştirilmesine verilen isimdir. Daha güçlü ve güvenilir yanıtlar ortaya çıkardığı için günümüzde en sık kullanılan uyaran türüdür (John ve Picton, 2000).

ASSR değerlendirmesi sırasında, her bir taşıyıcı frekans farklı modülasyon frekansında (örneğin 500 Hz 23 Hz ile, 1000 Hz 45 Hz ile, 2000 Hz 52 Hz, 4000 Hz taşıyıcı frekansı 85 Hz modülasyon frekansı ile) modüle edilir. Bu yöntemle birlikte, her taşıyıcı frekans işitsel yollarda farklı ritimle kodlanır. İşitme sistemine sürekli olarak modüle edilmiş ses uyarını gönderildiğinde, sistemdeki nöronlar bu ritmik uyarıya senkronize yanıt oluşturur. Bu yanıtlar da, kafa derisine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla Fourier dönüşümü ile frekans spektrumunda analiz edilir ve istatistiksel olarak tespit edilmiş olur. Böylece her bir kulakta 4 frekans olmak üzere, toplamda 8 taşıyıcı frekans için anda ölçüm yapmak mümkün hale gelmektedir (John, 2002; Rance, 2008; Stapells, 2010).

ASSR Nöral Kaynakları

ASSR testinde kullanılan modülasyon frekanslarının farklılaşmasıyla, ASSR'nin köken aldığı anatomik yapılar da farklılık göstermektedir. Özellikle 20 Hz ve altı modülasyon frekanslarıyla uyarı yapıldığında, ASSR yanıtlarının primer işitsel korteks, Heschl girus ve temporal lobtan kaynaklandığı bilinmektedir. 20-60 Hz arası modülasyon frekansları ile uyarımda, hem talamus ve işitsel orta beyin, hem de primer işitsel korteksten köken alan ASSR yanıtları oluşur. 60 Hz ve üzeri uyarımlarda superior olivari kompleks, inferior kollikulus ve koklear nukleustan köken almaktadır (Herdmann, 2002; Korczak, 2012). Yapılan çalışmalarda, uyanık yetişkinlerde işitme eşiğine yakın yerlerde bile 40 Hz ASSR yanıtlarının daha güçlü yanıtlar oluşturduğu görülmüştür, bu nedenle klinik rutinde yetişkinler için 40 Hz ASSR kullanılmaktadır. Bebek ve çocuklarda ise, uyku veya sedasyondan etkilenmediği yapılan çalışmalarda kanıtlanan 80 Hz ASSR kullanılmalıdır (Korczak, 2012; Stapells, 2010).

ASSR Kullanım Alanları

ASSR, davranışsal testlere uyum sağlayamayan yetişkinlerde, bebeklerde, çocuklarda, tepkisiz veya komadaki hastalarda ve mental retardasyonlu bireylerde işitme eşiği tayini için kullanılan objektif bir değerlendirme yöntemidir. Bu özellikleri nedeniyle ASSR, özellikle kapsamlı işitme değerlendirmesi gerektiren klinik popülasyonlarda önemli bir tamamlayıcı test olarak kabul edilmektedir.

ASSR eşiklerinin davranışsal saf ses odyometrisi ile ilişkisi, kullanılan cihaz türü, uyarının modülasyon özellikleri, eşik belirleme algoritmaları ve değerlendirilen yaş grubu gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Normal işiten yetişkinlerde yapılan bir çalışmada Vander Werff ve Brown (2005), ASSR eşiklerinin davranışsal eşiklere kıyasla 500 Hz'de 20–30 dB, 1000 Hz'de 15–20 dB, 2000–4000 Hz'de 10–15 dB daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Buna karşılık François vd. (2016), bazı uyaran parametrelerinde ASSR eşiklerinin davranışsal eşiklerden 8–15 dB daha düşük olabileceğini göstermiştir. Çalışmalar arasındaki bu farklılıklar, ASSR ölçümünde kullanılan teknik protokollerin ve analiz yaklaşımlarının klinik sonuçlar üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı popülasyonlarda yürütülen çalışmalar, ASSR'nin frekans-spesifik eşik tahmini için güvenilir bir yöntem olduğunu desteklemektedir (Dimitrijevic vd., 2002; Herdman & Stapells, 2001, 2003; Perez-Abalo vd., 2001; Rance & Rickards, 2002). Bu çalışmaların ortak sonuçlarına göre, işitme kaybı derecesi arttıkça ASSR eşiklerinin davranışsal eşiklerle uyumu güçlenmektedir. Özellikle orta ve ileri derecedeki işitme kayıplarında ASSR'nin yüksek doğrulukla eşik tahmini sağlayabildiği gösterilmiştir. Bu bulgular, ASSR'nin klinik karar verme süreçlerinde değerli bir tanısal araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç

İşitme kaybının doğru ve zamanında tanınması, bireyin yaşam boyu iletişim ve öğrenme becerilerini doğrudan etkileyen bir süreçtir. Bu süreçte tek bir test sonucuna dayanmak tanısal hatalara yol açabileceğinden, davranışsal ve objektif odyolojik değerlendirmelerin bir arada kullanılması zorunludur. Saf ses odyometrisi ve konuşma testleri, bireyin işitsel algısına ilişkin kapsamlı bilgi sağlarken; OAE, timpanometri, akustik refleksler, ABR ve ASSR gibi objektif testler işitme sisteminin nörofizyolojik işleyişine ışık tutar. Özellikle bebekler ve davranışsal yanıtı uygun olmayan bireylerde elektrofizyolojik yöntemler tanının temel bileşenidir. Çapraz kontrol ilkesi doğrultusunda elde edilen tüm bulguların birbiriyle karşılaştırılması, tanısal doğruluğu artırmakta ve uygun müdahale planının oluşturulmasına katkı

sağlamaktadır. Bu bölüm, işitme taraması sonrası tanı sürecinde kullanılan testleri sistematik olarak ele alarak klinisyenlere kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

Kaynakça

- Abdala, C., & Visser-Dumont, L. (2001). Distortion product otoacoustic emissions: a tool for hearing assessment and scientific study. *The Volta Review*, 103(4), 281. PMID: PMC3614374; PMID: 23559685
- American National Standards Institute. (2004). *American National Standard Specification for Audiometers* (ANSI S3.21-2004, R2019). ANSI.
- American Speech-Language-Hearing Association. (1988). *Guidelines for determining threshold level for speech*. ASHA.
- American Speech-Language-Hearing Association. (1990). *Guidelines for audiometric symbols*. ASHA.
- ANSI. (2019). *ANSI S3.6–2018 (R2023): Specification for audiometers*. American National Standards Institute.
- Bargen, G. A. (2015). Chirp-evoked auditory brainstem response in children: a review. *American journal of audiology*, 24(4), 573-583. https://doi.org/10.1044/2015_AJA-15-0016
- Berlin, C. I., Hood, L. J., Morlet, T., Wilensky, D., Li, L., Mattingly, K. R., ... & Frisch, S. A. (2010). Multi-site diagnosis and management of 260 patients with auditory neuropathy/dys-synchrony (auditory neuropathy spectrum disorder*). *International journal of audiology*, 49(1), 30-43. <https://doi.org/10.3109/14992020903160892>
- Biacabe, B., Chevallier, J. M., Avan, P., & Bonfils, P. (2001). Functional anatomy of auditory brainstem nuclei: application to the anatomical basis of brainstem auditory evoked potentials. *Auris Nasus Larynx*, 28(1), 85-94. [https://doi.org/10.1016/S0385-8146\(00\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0385-8146(00)00080-8)
- Bonfils, P. (1989). Spontaneous otoacoustic emissions: clinical interest. *The Laryngoscope*, 99(7), 752-756.
- Carhart, R., & Jerger, J. (1959). Preferred method for clinical determination of pure-tone thresholds. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 24(4), 330-345. <https://doi.org/10.1044/jshd.2404.330>
- Cone-Wesson, B., & Ramirez, G. M. (1997). Hearing sensitivity in newborns estimated from ABRs to bone-conducted sounds. *Journal of the American Academy of Audiology*, 8(5). PMID: 9328891
- Cone-Wesson, B., Rickards, F., Poulis, C., Praker, J., Tan, L., & Pollard, J. (2002). The auditory steady-state response: clinical observations and applications in infants and children. *Journal of the American Academy of Audiology*, 13(05), 270-282. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715970>
- Cox, R. M., & McDaniel, D. M. (1986). Reference equivalent threshold levels for pure tones and 1/3-oct noise bands: Insert earphone and TDH-49 earphone. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 79(2), 443-446. <https://doi.org/10.1121/1.393531>

- Dorn, P. A., Konrad-Martin, D., Neely, S. T., Keefe, D. H., Cyr, E., & Gorga, M. P. (2001). Distortion product otoacoustic emission input/output functions in normal-hearing and hearing-impaired human ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *110*(6), 3119-3131. <https://doi.org/10.1121/1.1417524>
- Elberling, C., & Don, M. (2008). Auditory brainstem responses to a chirp stimulus designed from derived-band latencies in normal-hearing subjects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *124*(5), 3022-3037. <https://doi.org/10.1121/1.2990709>
- Feeney, M. P., & Keefe, D. H. (2001). Estimating the acoustic reflex threshold from wideband measures of reflectance, admittance, and power. *Ear and hearing*, *22*(4), 316-332. DOI: 10.1097/00003446-200108000-00006
- Feldman, A. S. (1976). *Tympanometry: application and interpretation*. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, *85*(2 Suppl 25 Pt 2), 202-208. <https://doi.org/10.1177/00034894760850S238>
- Felix II, R. A., Gourévitch, B., & Portfors, C. V. (2018). Subcortical pathways: Towards a better understanding of auditory disorders. *Hearing research*, *362*, 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.01.008>
- Gaskill, S. A., & Brown, A. M. (1990). The behavior of the acoustic distortion product, $2f_1 - f_2$, from the human ear and its relation to auditory sensitivity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *88*(2), 821-839. <https://doi.org/10.1121/1.399732>
- Gelfand, S. A., Schwander, T., & Silman, S. (1990). Acoustic reflex thresholds in normal and cochlear-impaired ears: effects of no-response rates on 90th percentiles in a large sample. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *55*(2), 198-205. <https://doi.org/10.1044/jshd.5502.198>
- Gorga, M. P., Johnson, T. A., Kaminski, J. R., Beauchaine, K. L., Garner, C. A., & Neely, S. T. (2006). Using a combination of click-and tone burst-evoked auditory brain stem response measurements to estimate pure-tone thresholds. *Ear and hearing*, *27*(1), 60-74. <https://doi.org/10.1097/01.aud.0000194511.14740.9c>
- Gorga, M. P., Kaminski, J. R., Beauchaine, K. A., & Jesteadt, W. (1988). Auditory brainstem responses to tone bursts in normally hearing subjects. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *31*(1), 87-97. <https://doi.org/10.1044/jshr.3101.87>
- Gorga, M. P., Kaminski, J. R., Beauchaine, K. L., Jesteadt, W., & Neely, S. T. (1989). Auditory brainstem responses from children three months to three years of age: normal patterns of response II. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *32*(2), 281-288. <https://doi.org/10.1044/jshr.3202.281>

- Gorga, M. P., Neely, S. T., Bergman, B., Beauchaine, K. L., Kaminski, J. R., Peters, J., & Jesteadt, W. (1993). Otoacoustic emissions from normal-hearing and hearing-impaired subjects: distortion product responses. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *93*(4), 2050-2060. <https://doi.org/10.1121/1.406691>
- Gorga, M. P., Neely, S. T., Ohlrich, B., Hoover, B., Redner, J., & Peters, J. O. (1997). From laboratory to clinic: A large scale study of distortion product otoacoustic emissions in ears with normal hearing and ears with hearing loss. *Ear and hearing*, *18*(6), 440-455.
- Hall, J. W. (2007). *New Handbook of Auditory Evoked Responses*. Pearson.
- Herdman, A. T., Picton, T. W., & Stapells, D. R. (2002). Place specificity of multiple auditory steady-state responses. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *112*(4), 1569-1582. <https://doi.org/10.1121/1.1506367>
- Hirsh, I. J., Davis, H., Silverman, S. R., Reynolds, E. G., Eldert, E., & Benson, R. W. (1952). Development of materials for speech audiometry. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *17*(3), 321-337. <https://doi.org/10.1044/jshd.1703.32>
- Hughson, W. A. I. T. E. R., & Westlake, H. (1944). Manual for program outline for rehabilitation of aural casualties both military and civilian. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*, *48*(Suppl), 1-15.
- Jerger, J. (1970). Clinical experience with impedance audiometry. *Archives of otolaryngology*, *92*(4), 311-324. <https://doi.org/10.1001/archotol.1970.04310040005002>
- Jerger, J. F., & Hayes, D. (1976). The cross-check principle in pediatric audiometry. *Archives of otolaryngology*, *102*(10), 614-620. <https://doi.org/10.1001/archotol.1976.00780150082006>
- Jerger, J., Burney, P., Mauldin, L., & Crump, B. (1974). Predicting hearing loss from the acoustic reflex. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *39*(1), 11-22. <https://doi.org/10.1044/jshd.3901.11>
- John, M. S., & Picton, T. W. (2000). Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hearing research*, *141*(1-2), 57-79. [https://doi.org/10.1016/S0378-5955\(99\)00209-9](https://doi.org/10.1016/S0378-5955(99)00209-9)
- John, M. S., Dimitrijevic, A., van Roon, P., & Picton, T. W. (2001). Multiple auditory steady-state responses to AM and FM stimuli. *Audiology and Neurotology*, *6*(1), 12-27. <https://doi.org/10.1159/000046805>
- John, M. S., Lins, O. G., Boucher, B. L., & Picton, T. W. (1998). Multiple auditory steady-state responses (MASTER): stimulus and recording parameters. *Audiology*, *37*(2), 59-82. <https://doi.org/10.3109/00206099809072962>
- Kanji, A., Khoza-Shangase, K., & Moroe, N. (2018). Newborn hearing screening protocols and their outcomes: A systematic review. *International*

- journal of pediatric otorhinolaryngology, 115, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.09.026>
- Katz, J., Chasin, M., English, K., Hood, L., & Tillery, K. (2015). *Handbook of Clinical Audiology* (7th ed.). Wolters Kluwer.
- Kei, J., Allison-Levick, J., Dockray, J., Harrys, R., Kirkegard, C., Wong, J., ... & Tudehope, D. (2003). High-frequency (1000 Hz) tympanometry in normal neonates. *Journal of the American Academy of Audiology*, 14(01), 020-028. <https://doi.org/10.3766/jaaa.14.1.4>
- Kemp, D. T. (1978). Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64(5), 1386-1391. <https://doi.org/10.1121/1.382104>
- Kemp, D. T. (1979). Evidence of mechanical nonlinearity and frequency selective wave amplification in the cochlea. *Archives of oto-rhino-laryngology*, 224(1), 37-45. <https://doi.org/10.1007/BF00455222>
- Kemp, D. T. (1986). Otoacoustic emissions, travelling waves and cochlear mechanisms. *Hearing research*, 22(1-3), 95-104. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(86\)90087-0](https://doi.org/10.1016/0378-5955(86)90087-0)
- Korczak, P., Smart, J., Delgado, R., Strobel, T. M., & Bradford, C. (2012). Auditory steady-state responses. *Journal of the American Academy of Audiology*, 23(03), 146-170. <https://doi.org/10.3766/jaaa.23.3.3>
- Lidén, G. (1969). The scope and application of current audiometric tests. *The Journal of Laryngology & Otology*, 83(6), 507-520. <https://doi.org/10.1017/S0022215100070651>
- Lieu, J. E., Kenna, M., Anne, S., & Davidson, L. (2020). Hearing loss in children: a review. *Jama*, 324(21), 2195-2205. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.17647>
- Ling, D. (2002). *Speech and the hearing-impaired child: Theory and practice* (2nd ed.). Washington, DC: Alexander Graham Bell Association for the Deaf and Hard of Hearing.
- Lins, O. G., & Picton, T. W. (1995). Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 96(5), 420-432. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(95\)00048-W](https://doi.org/10.1016/0168-5597(95)00048-W)
- Madden, C., Rutter, M., Hilbert, L., Greinwald Jr, J. H., & Choo, D. I. (2002). Clinical and audiological features in auditory neuropathy. *Archives of otolaryngology-head & neck surgery*, 128(9), 1026-1030. <https://doi.org/10.1001/archotol.128.9.1026>
- Madell, J. R., & Flexer, C. A. (2008). Pediatric audiology: Diagnosis, technology, and management. (No Title). Lidén, G., & Kankkunen, A. (1969). Visual Reinforcement Audiometry. *Acta Oto-Laryngologica*, 67(2-6), 281-292. <https://doi.org/10.3109/00016486909125453>.

- Madell, J. R. (1995). Speech audiometry for children. In S. E. Gerber (Ed.), *Pediatric audiology* (pp. 84-103). Washington, DC: Gallaudet University Press.
- Madell, J. R. (1998). Behavioral evaluation of hearing in infants and young children. New York, NY: Thieme.
- Margolis, R. H., & Hunter, L. L. (1999). *Tympanometry: Basic principles and clinical applications*. *American Journal of Audiology*, 8(2), 17-27.
- Margolis, R. H., & Levine, S. C. (1991). Acoustic reflex measures in audiologic evaluation. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 24(2), 329-347.
- Martin, F. N., & Clark, J. G. (2003). *Introduction to audiology*. Pearson.
- Melcher, J. R., Guinan Jr, J. J., Knudson, I. M., & Kiang, N. Y. (1996). Generators of the brainstem auditory evoked potential in cat. II. Correlating lesion sites with waveform changes. *Hearing research*, 93(1-2), 28-51. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(95\)00179-4](https://doi.org/10.1016/0378-5955(95)00179-4)
- Northern, J. L., & Downs, M. P. (2002). *Hearing in children*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Nozza, R. (2006). Developmental psychoacoustics: auditory function in infants and children. Paper presented at the 4th Widex Congress of Paediatric Audiology, Ottawa, Canada, May 19-21, 2006.
- Olsho, L. W. (1984). Infant frequency discrimination. *Infant Behavior and Development*, 7, 27-35. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(84\)80020-X](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(84)80020-X)
- Olsho, L. W., Koch, E. G., Halpin, C. F., & Carter, E. A. (1987). An observer-based psychoacoustic procedure for use with young infants. *Developmental Psychology*, 23(5), 627.
- Picton, T. W., Dimitrijevic, A., Perez-Abalo, M. C., & Van Roon, P. (2005). Estimating audiometric thresholds using auditory steady-state responses. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(03), 140-156.
- Rance, G., & Starr, A. (2015). Pathophysiological mechanisms and functional hearing consequences of auditory neuropathy. *Brain*, 138(11), 3141-3158.
- Roeser, R. J., Valente, M., & Hosford-Dunn, H. (2000). *Audiology: diagnosis*. (No Title).
- Rouillon, I., Parodi, M., Denoyelle, F., & Loundon, N. (2016). How to perform ABR in young children. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*, 133(6), 431-435.
- Sabo, D. L. (1999). The audiologic assessment of the young pediatric patient: the clinic. *Trends in amplification*, 4(2), 51-60.
- Schairer, K. S., Feeney, M. P., & Sanford, C. A. (2013). Acoustic reflex measurement. *Ear and hearing*, 34, 43s-47s.

- Shera, C. A., & Guinan Jr, J. J. (1999). Evoked otoacoustic emissions arise by two fundamentally different mechanisms: a taxonomy for mammalian OAEs. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(2), 782-798. <https://doi.org/10.1121/1.426948>.
- Stapells, D. R. (2000). Threshold estimation by the tone-evoked auditory brainstem response: A literature meta-analysis. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 24, 74-83.
- Stapells, D.R. 2011. Frequency-specific threshold assessment in young infants using the transient ABR and the brainstem ASSR. In R.C. Seewald and A.M. Tharpe (eds.), *Comprehensive handbook of pediatric Audiology*
- Starr, A., & Hamilton, A. E. (1976). Correlation between confirmed sites of neurological lesions and abnormalities of the auditory brainstem response. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 41(6), 595-608.
- Starr, A., Picton, T. W., Sininger, Y., Hood, L. J., & Berlin, C. I. (1996). Auditory neuropathy. *Brain*, 119(3), 741-753.
- Stavroulaki, P., Vossinakis, I. C., Dinopoulou, D., Doudounakis, S., Adamopoulos, G., & Apostolopoulos, N. (2002). Otoacoustic emissions for monitoring aminoglycoside-induced ototoxicity in children with cystic fibrosis. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 128(2), 150-155. <https://doi.org/10.1001/archotol.128.2.150>.
- Suzuki, T., & Ogiba, Y. (1960). A technique of pure-tone audiometry for children under three years of age: Conditioned orientation reflex (COR) audiometry. *Revue de Laryngologie*, 81, 3-43.
- Thornton, A. R., & Raffin, M. J. (1978). Speech-discrimination scores modeled as a binomial variable. *Journal of speech and hearing research*, 21(3), 507-518.
- Trehub, S. E., Schneider, B. A., & Henderson, J. L. (1995). Gap detection in infants, children, and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 98(5), 2532-2541.
- Von Békésy, G. (1960). Experiments in hearing.
- Widen, J. E., Folsom, R. C., Cone-Wesson, B., Carty, L., Dunnell, J. J., Kobesell, K., ... & Norton, S. J. (2000). Identification of neonatal hearing impairment: hearing status at 8 to 12 months corrected age using a visual reinforcement audiometry protocol. *Ear and hearing*, 21(5), 471-487.
- Widen, Judith E.; O'Grady, Gwendolyn M. (2002). Using visual reinforcement audiometry in the assessment of hearing in infants. *The Hearing Journal* 55(11):p 28-36. | DOI: 10.1097/01.HJ.0000324169.66607.69.