

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
KULAK BURUN BOĞAZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI

**İŞİTSEL UYARILMIŞ DURGUN DURUM YANITLARIYLA (ASSR)
FREKANS ÖZGÜ UYARAN KULLANILARAK ÖLÇÜLEN İŞİTSEL
BEYİN SAPI YANITLARI (TONE-BURST ABR) ÖLÇÜM
SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

TEZ YÖNETİCİSİ
Doç. Dr. Mehmet Akif KILIÇ

Dr. Hüseyin Öztarakçı
UZMANLIK TEZİ

KAHRAMANMARAŞ/2009

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER	I
TEŞEKKÜR	III
TABLO LİSTESİ	IV
RESİM LİSTESİ	V
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. İşitme Yollarının Anatomisi	2
2.1.1. Kulak anatomisi	2
2.1.2. Santral işitme yolları	8
2.2. İşitme Fizyolojisi	11
2.3. İşitme Fonksiyonunun Değerlendirilmesi	14
2.3.1. İmmitansmetrik değerlendirme	14
2.3.2. Odyometri	15
2.3.3. Otoakustik emisyon	16
2.3.4. İşitsel uyarılmış potansiyeller	18
2.3.4.1. Klik ABR	19
2.3.4.2. Tone-burst ABR	20
2.3.4.3. ASSR testi	22
3. MATERYAL VE METOT	26

4. BULGULAR	29
5. TARTIŞMA	32
6. SONUÇ	35
7. KAYNAKLAR	36

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, yanında yetişmekten gurur duyduğum, tezimin planlanmasında ve verilerin değerlendirilmesinde büyük katkıları olan değerli hocam, Anabilim Dalı Başkanımız Sayın Doç. Dr. M. Akif KILIÇ'a, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, asistanlık eğitimimde büyük katkıları olan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Anabilim Dalı Öğretim Üyesi, değerli hocam Sayın Doç. Dr. İlhami YILDIRIM'a sevgi ve saygılarımı sunar, teşekkürü her zaman bir borç bilirim.

Ayrıca, uzmanlık eğitimim boyunca birlikte çalıştığımız, pek çok şey paylaştığımız asistan arkadaşlarıma ve klinik çalışanlarına yürekten teşekkürlerimi sunuyorum.

Bugünlere gelmemi sağlayan ve desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme teşekkür ediyorum.

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. American Speech and Hearing Association (ASHA) kriterlerine göre belirlenen işitme kaybı dereceleri

Tablo 2. Tone-burst ABR ölçüm tekniği

Tablo 3. ASSR ölçüm tekniği

Tablo 4. Klik ABR, tone-burst ABR ve ASSR eşikleri arasındaki korelasyon katsayıları

Tablo 5. Testlerde elde edilen eşik değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları

RESİM LİSTESİ

Resim 1. Kemik labirent içerisinde membranöz labirent

Resim 2. Kokleanın transvers kesiti

Resim 3. Santral işitme yolları

Resim 4. Von Bekesy'nin ilerleyen dalga teorisi

Resim 5. ABR'de oluşan dalgalar

Resim 6. 500 Hz tone-burst ve klik uyarıların frekans spektrumları

Resim 7. Tone-burst uyarı pencereleri

Resim 8. Taşıyıcı frekans ve amplitüt modülasyonu uygulanması

Resim 9. Frekans modülasyonu örneği (A: modülasyonsuz, B: modülasyonlu)

Resim 10. Uyarılmış potansiyel uyarıların amplitüt spektrumları. İlk iki sütunda farklı şekillerde pencerelemiş tone-burst uyarıların, 3. ve 4. sütunlarda AM ve AM/FM ASSR uyarıların spektrumları görülmektedir.

ÖZET

İşitme kayıplı hastaların cihazlandırılması ve rehabilitasyonu için frekansa özgü işitme eşiklerinin bilinmesi son derece önemlidir. Bu amaçla saf ses odyometrisi, ayrıca tone-burst ABR (auditory brainstem response) ve son zamanlarda tone-burst ABR'ye alternatif olarak kabul edilen işitsel durgun durum yanıtları (auditory steady-state response, ASSR) yöntemi kullanılabilir. Çalışmamızın amacı tone-burst ABR ve ASSR yöntemleri ile elde edilen işitme eşikleri arasındaki korelasyonu araştırmaktır.

Çalışmamıza yaşları 2 ay ile 53 yıl arasında değişen ileri ve çok ileri derecede sensörinöral işitme kaybı olan 30 hasta alındı. Bu hastalara timpanometri ve otoakustik emisyon testleri uygulandıktan sonra, her bir hasta dört farklı frekansta tone-burst ABR ve ASSR, ayrıca klik ABR ile değerlendirildi. Tone-burst ABR ve ASSR eşikleri arasındaki ilişki istatistiksel metotlarla araştırıldı.

Tone-burst ABR ve ASSR eşikleri arasında iyi derecede bir korelasyon olduğu gözlemlendi. Klik ABR ile tone-burst ABR arasında korelasyon çok iyi derecedeydi. Ayrıca, klik ABR ile ASSR arasında iyi derecede korelasyon bulundu ($p<0,01$). Tone-burst ABR ile ASSR eşikleri arasındaki korelasyon beklenenden daha az bulunmuştur, çünkü yanıt alınamayan olgularda eşik değeri olarak maksimum çıkış değerini kabul ettik.

Hastaların işitme kayıplarının düzeyini ve konfigürasyonunu ortaya koymak için tone-burst ABR ve ASSR dahil bütün odyolojik testler bir arada yapılmalıdır. Frekansa özgü bilgi elde etmede, ileri ve çok ileri derecedeki işitme kayıplarında ASSR, daha az düzeydeki işitme kayıplarında tone-burst ABR tercih edilmelidir.

Anahtar sözcükler: Sensorinöral işitme kaybı, işitsel uyarılmış potansiyeller, tone-burst ABR, ASSR

A COMPARISON OF THE RESULTS MEASURED BY AUDITORY STEADY STATE RESPONSES (ASSR) AND USING FREQUENCY-SPECIFIC EVOKED AUDITORY BRAINSTEM RESPONSE (TONE-BURST ABR)

ABSTRACT

For amplification and aural rehabilitation of hearing-impaired patients, estimation of frequency-specific hearing thresholds is very important. Therefore, frequency-specific assessment could be done by pure-tone audiometry, also tone-burst ABR (auditory brainstem response) and ASSR (auditory steady-state response) which has been proposed as an alternative to tone-burst ABR recently. The aim of this study is to investigate the correlations between hearing thresholds obtained by tone-burst ABR and ASSR.

We enrolled 30 patients with severe and profound sensorineural hearing loss, age 2 months to 53 years. After performing tympanometry and otoacoustic emission tests, each subject was examined by tone-burst ABR and ASSR in four different frequencies and also with click ABR. The relationship between tone-burst ABR and ASSR thresholds were investigated by using statistical methods.

We observed strong correlations between tone-burst ABR and ASSR thresholds. Correlations between click ABR and tone-burst ABR were very strong. Also, correlations between click ABR and ASSR were found strong ($p < 0.01$). The correlations between tone-burst ABR and ASSR thresholds were lesser magnitude than we expected, because we accepted maximum output levels as the thresholds in patients who had no response.

To evaluate the hearing level and configuration of the patients, all audiologic tests should be done including tone-burst ABR and ASSR. To obtain frequency specific information, ASSR should be preferred in severe and profound hearing impairments and tone-burst ABR in lesser degrees.

Key words: Sensorineural hearing loss, auditory evoked potentials, tone-burst ABR, ASSR

1.GİRİŞ VE AMAÇ

İşitme, çevreyle iletişimde en önemli duydur. İşitme kaybının mümkün olduğunca erken tanınması ve rehabilitasyonu dil gelişimi açısından son derece önemlidir. Saf ses odyometri işitme eşiği hakkında bilgi veren, yaygın kullanılan bir testtir. Ancak yenidoğan, küçük çocuklar ve bazı yetişkinlerde kooperasyon eksikliği nedeniyle uygulanamamaktadır. Bu durumda, hasta katılımı gerektirmeyen akustik refleks, ABR (İşitsel Beyinsapı Cevabı, *Auditory Brainstem Response*), OAE (otoakustik emisyon) gibi alternatif testler kullanılır.

Alternatif işitme testleri içinde en önemlisi ABR'dir. Bu testin temeli, ses dalgalarının iç kulakta ve işitme yollarında oluşturduğu aksiyon potansiyeline dayanır. İşitme yollarında oluşan aksiyon potansiyelleri EEG yöntemiyle kaydedilebilir. ABR testinde klik ve tone-burst başta olmak üzere çeşitli uyaranlar kullanılabilir. Bu uyaranların frekans özgüllüğü değişiklik gösterir. Klik ABR'yle elde edilen yanıtlar kokleadaki bütün frekansları içermekle birlikte daha çok 2 ila 4 kHz bölgeleriyle uyumludur. Bu nedenle, klik uyaranla yapılan ABR testi düşük frekans alanlarıyla ilgili sınırlı bilgi verir (1, 2). Dolayısıyla klik ABR'yle elde edilen işitme eşikleri tüm frekansları kapsamadığından işitme eşiği eğrisini doğru bir şekilde yansıtmaz. İşitme kaybı konfigürasyonunun doğru olarak elde edilmesi işitme kaybının rehabilitasyonu açısından son derece önemlidir. Bu da frekansa özgü uyaran kullanmak suretiyle frekansa özgü yanıt elde edilmesiyle mümkündür. Frekans özgüllüğünü artırmak için, filtre edilmiş veya çentikli gürültülerle karıştırılmış klik uyaranlar, tone-pip uyaranlar ve tone-burst uyaranlar kullanılmaktadır. Bunların içinde en sık kullanılan tone-burst uyaranlardır.

Frekansa özgü yanıt elde etmek amacıyla, uyarılmış işitsel potansiyel ölçüm yöntemlerinde başka çeşitli uyaranlar da geliştirilmiştir. Kuwada ve ark. (3) tarafından 1986 yılında tarif edilen, amplitüt ve/veya frekans modülasyonu yoluyla frekans özgüllüğü artırılmış sinüzoidal uyaranlarla ölçüm yapılan ASSR (İşitsel Uyarılmış Durgun Durum Yanıtları, *Auditory Steady State Responses*) yönteminde de frekansa özgü yanıt elde edilir. ASSR, temel olarak EEG dalgaları ve işitsel uyarılar arasındaki bağlantıya dayanarak ölçüm yapan bir yöntemdir. Son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan ASSR yönteminde aynı anda birden fazla frekans için eşik araştırması yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, tone-burst ABR ile ASSR testleri arasındaki uyumu ortaya koymak amacıyla ileri-çok ileri derecede sensörinöral işitme kaybı olan hastalarda elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırdık.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İşitme Yollarının Anatomisi

2.1.1. Kulak anatomisi

Kulak, işitme ve dengenin periferik organı olup temporal kemik içine yerleşmiştir. Yapıları ve fonksiyonları birbirinden farklı üç kısımdan oluşur.

- Dış kulak
- Orta kulak
- İç kulak

Dış kulak; kulak kepçesi, dış kulak yolu (DKY) ve kulak zarından oluşur. Kulak kepçesi deriyle örtülü olup kas ve ligamanlar yardımıyla yerinde tutulan ince elastik bir kıkırdaktır. Üzerinde heliks ve antiheliks adı verilen kıvrımlarla tragus ve antitragus adı verilen çıkıntılar vardır. Tragus ve antitragusla sınırlanan ve meatusa doğru uzanan çukurluğa konka adı verilir. Kulak kepçesinin işitmedeki rolü, ses dalgalarının toplanmasına ve sesin yönünü tayin etmeye yardımcı olmaktır. DKY, konkadan kulak zarına uzanan hafif 'S' şeklinde bir borudur. DKY'nin 1/3 dış kısmı fibroelastik kıkırdaktan, 2/3 iç kısmı kemik yapıdan oluşur. DKY'nin kıkırdak kısmını örten deri, altındaki dokuya gevşekçe tutunmuştur ve çok sayıda kıl folikülleri, serumen ve yağ bezleri içerir. DKY'nin kemik kısmının uzunluğu 3 cm, çapı ise (vertikal olarak daha fazla olmak üzere) 7–9 mm civarındadır. Kemik kısımdaki deri, altındaki dokuya sıkıca yapışık ve özellikle sütürler bölgesinde bu durum daha belirgindir.

Kulak zarı üç tabakadan oluşur: DKY'yi medyalden sınırlayan skuamöz tabaka, orta kulağı lateralinden sınırlayan mukoza tabakası ve bu ikisinin arasında yer alan fibröz tabaka. Fibröz tabaka hem dairesel hem de radyal şekilde uzanan lifler içerir, zara şeklini verir ve sağlamlık kazandırır. Fibröz tabaka kulak zarının periferinde kalınlaşarak *anulus fibrosis*'i (Gerlach halkası) oluşturur. Kulak zarı timpanik kemikteki *sulcus tympanicus*'a *anulus fibrosis* ile tutunur. Kulak zarındaki en belirgin noktalar *manubrium mallei* ve umbodur.

Kulak zarının timpanik kemik içinde kalan parçası gergindir, bu parçaya *pars tensa* denir. *Pars tensa*, kulak zarının büyük bir kısmını oluşturur ve ses dalgalarıyla bu kısım titreşir. Timpanik oluğa oturan fibröz anulus kulak zarının üst kısmında, ön ve arka malleoler plikalar arasında devam etmez. Rivinus çentiğini dolduran ve fibröz anulusun kesintiye uğradığı kulak zarının bu gevşek bölümüne *pars flaccida* (Shrapnell zarı) denir. *Pars tensa*'da bulunan fibröz tabaka, *pars flaccida*'da yoktur.

Orta kulak, kulak zarıyla kemik labirent arasında bulunan mukozayla örtülü boşluktur. Orta kulakta, sesin iç kulağa iletimini sağlayan kemikçiklerle bu kemikçiklere bağlı kaslar ve ligamanlar bulunur. Orta kulağın ayrıca östaki borusu ve mastoit hava hücreleri gibi ekleri vardır. Kemikçik sistemi malleus, inkus ve stapesten oluşur. Kemikçik sistemi, *manubrium mallei* ile kulak zarına, *ligamentum annulare* ile de oval pencereye bağlanır. Kemikçikler inküdomalleolar ve inküdoştapedyal eklemlerle birbiriyle ilişki halindedir.

Orta kulak boşluğunun altı duvarı vardır:

- 1- Üst duvar (*tegmen tympani*): Epiteimpanumun tavanını oluşturur ve orta kranyal fossa durası ile komşudur.
- 2- Alt duvar: Hipotimpanumun tabanıdır ve jugüler bulbusla komşudur.
- 3- Arka duvar: Mastoit antrum ve hava hücreleriyle ilişkilidir.
- 4- Ön duvar: İnternal karotis arterin yaptığı çıkıntı, östaki borusu ve tensör timpani kası bu duvarda bulunur.
- 5- İç duvar: Promontoryum bu duvarda bulunur ve iç kulakla komşuluk gösterir.
- 6- Dış duvar: Skutum, kulak zarı ve hipotimpanum tarafından oluşturulur.

Orta kulak; kulak zarının en üst ve en alt noktalarına göre epiteimpanum (attik bölge), mezotimpanum ve hipotimpanum şeklinde üç bölgeye ayrılır. Kulak zarının alt sınırının altında kalan bölüm hipotimpanum olarak adlandırılır ve jugüler bulbustan ince bir kemikle ayrılır. Bazen jugüler bulbus hipotimpanum tabanında üzeri sadece mukozayla örtülü olarak gözlenebilir. Mezotimpanum, kulak zarı hizasındaki bölümdür ve orta kulaktaki önemli yapıları içerir. Sesin iletiminde rol oynayan kemikçik sistemi ve bu sisteme katkı sağlayan stapes ve tensör timpani kasları mezotimpanumda yer alır. Mezotimpanum iç yanda kokleanın bazal kıvrımının yaptığı çıkıntı olan promontoryumla sınırlanır. Promontoryumun hemen arkasında oval ve yuvarlak pencereler bulunur. Mezotimpanumun arka duvarını fasiyal sinirin inen kısmının üzerini örten kemik tabaka oluşturur ve bu duvarda üstte stapes kasının yer aldığı *eminentia pyramidalis* adı verilen kabarıklık vardır. *Eminentia pyramidalis*, fasiyal

sinirin ikinci parçasıyla çok yakın komşuluk gösterir ve hemen dış yanından *chorda tympani* sinirinin orta kulak boşluğuna girdiği delik bulunur. Piramidal çıkıntının dış yanında ayrıca klinik açıdan önemli olan fasiyal reses ve *sinus tympani* adı verilen oluşumlar bulunur. Mezoimpanumun ön duvarında östaki borusu ağzı ve bunun altında internal karotis arterini örten kemik tabaka bulunur. Epiimpanumun tavanı tegmen timpani tarafından oluşturulur. Bu bölümde malleus başı, inkusun gövdesi ve kısa kolu bulunur. Epiimpanumda klinik açıdan önemli olan, dış yanda kulak zarı, ön ve içte lateral malleoler ligaman tarafından sınırlanan Prussak boşluğu bulunur.

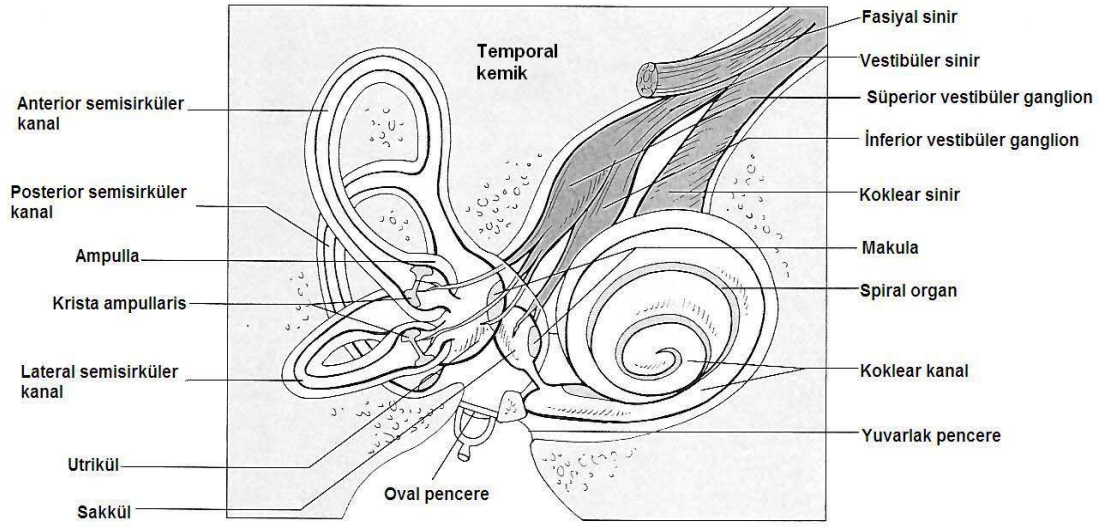
İç kulak, temporal kemiğin petröz parçası içerisinde yerleşmiş olup ileri derecede girintili çıkıntılı yapısı nedeniyle labirent olarak da adlandırılır. Labirent, kemik ve zar olmak üzere iki kısımdan oluşur. Zar labirentin etrafını kemik labirent sarar ve ikisi arasında perilemf bulunur. Zar labirentin içi endolenfle doludur. Zar ve kemik labirentlerde koklear ve vestibüler kısımlar bulunur. İç kulak, işlevsel olarak koklea ve vestibül şeklinde iki kısımdan oluşur. Yuvarlak ve oval pencereler yoluyla orta kulakla, koklear ve vestibüler akuaduktuslar yoluyla da kafa içiyle bağlantılıdır.

Kemik labirent: Kemik labirent iki parçadan oluşur;

- Koklear kısım
- Vestibüler kısım

Vestibüler sistem arka-yukarıda yerleşmiş üç semisirküler kanalla (süperiyor, posteriyor ve lateral) vestibülün içindeki utrikül ve sakkülden oluşur. Semisirküler kanalların her biri yaklaşık 2/3'lük çember oluşturur. Semisirküler kanalların birer ucunda bulunan ve vestibüler duyu hücrelerini içeren genişlemelere ampulla adı verilir.

Zar (membranöz) labirent: Kemik labirent içerisine yerleşmiş olup kemik labirenti tamamen doldurmaz. İkisi arasında sodyumdan zengin perilemf, zar labirentin içinde ise potasyumdan zengin endolenf bulunur. Zar labirentin koklear kısmı işitmeye ilgilidir. Vestibüler kısım, dengeyle ilgili olup vestibüle açılan otolit organları (utrikül ve sakkül), yarım daire kanallarını, endolenfatik kanal ve keseyi içerir. (Resim 1)



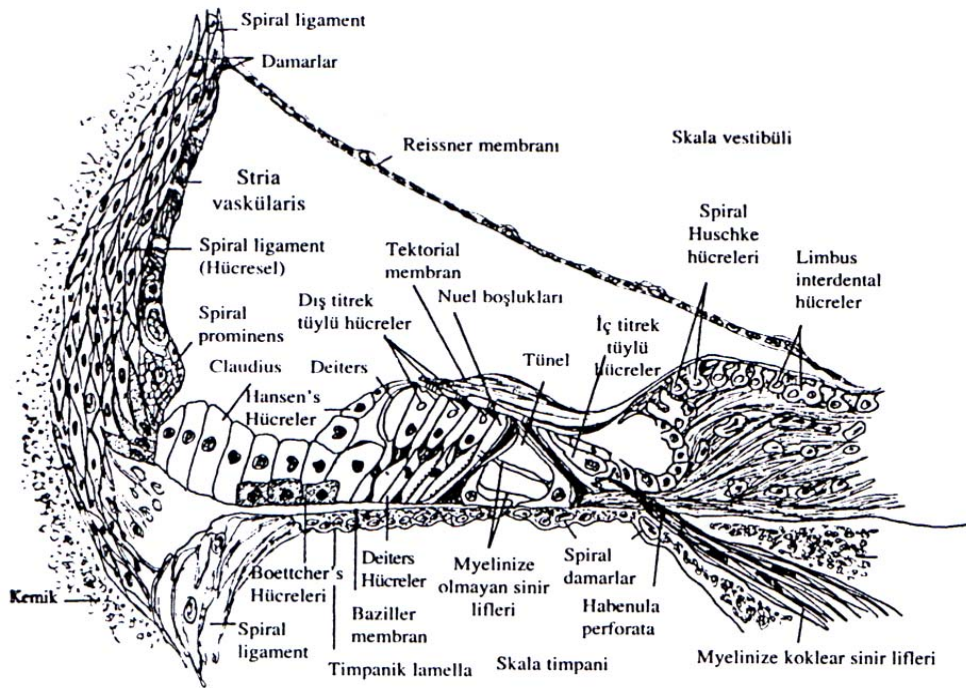
Resim 1: Kemik labirent içerisinde membranöz labirent (Human Anatomy, E.N. Marieb ve J. Mallatt, 2. baskıdan alınmıştır.)

Koklea: *Modiolus* denilen koni şeklinde bir yapı etrafında 2,5 kez dönüş yapan bir kanaldır. *Modiolus* kokleanın eksenini oluşturur ve kemik labirentin geri kalan kısmına septalarla bağlanmıştır. İçinde sekizinci kranyal sinirin koklear dalı ve koklear damarlar yer alır. *Modiolus* içerisinde seyreden işitme siniri lifleri koklear kanalın iç yan duvarında bulunan küçük kanallardan geçerek iç saçlı hücrelerde sonlanır. Kemik kokleanın transvers kesitinde üç kompartman vardır. Bu kompartmanlar; *scala vestibuli*, *scala media* ve *scala tympani*'dir. *Scala media* (koklear kanal) ortada bulunan kesiti üçgen şeklinde olan kanaldır, kokleanın özelleşmiş hücre ve dokuların yerleştiği kısımdır. *Scala media*'nın üstünde kalan kısma *scala vestibuli*, altında kalan kısma *scala tympani* adı verilir. *Scala vestibuli* vestibüle açılır, *scala tympani* de *fenestra cochlea* aracılığıyla orta kulakla ilişkidir. *Scala tympani* ve *scala vestibuli* kokleanın apeksinde birbiriyle bağlantılıdır. Bu bağlantı yerine helikotrema adı verilir. Koklear kanal, *ductus reuniens* aracılığıyla sakküle bağlanır.

Scala media ve *scala vestibuli* arasındaki sınırı Reissner membranı oluşturur. Reissner membranı bir bazal laminayla ayrılan iki hücre tabakasından oluşur. Her iki tarafa iyon ve su geçişine izin veren bu membran, endolenfatik aralığa büyük moleküllerin geçişine izin vermez. Kokleanın iç yan duvarında *modiolus*'tan başlayan, içerisinden Corti organındaki hücrelere giden sinir lifleri ve damarların geçtiği kemik spiral lamina, kokleanın dış yan duvarına doğru serbest bir kenar şeklinde sonlanır. Bu serbest kenarla spiral lamina arasında

Corti organının üzerinde bulunduğu baziler membran uzanır. Baziler membran ise *scala media* ve *scala tympani*'yi birbirinden ayırır. Baziler membran üzerinde dıştan içe doğru Claudius, Boettcher hücreleri ve Corti organı bulunur. (Resim 2)

Koklear kanalın dış yan duvarının büyük kısmını spiral ligaman oluşturur. Spiral ligamanın iç yanında *stria vascularis* ve spiral çıkıntı bulunur. *Stria vascularis* endolenfin potasyum kaynağıdır. Spiral çıkıntı; *stria vascularis* ve baziler membran üzerindeki hücreler arasındaki sınırdır. Baziler membranda, Cladius hücreleri'yle spiral çıkıntı arasında oluşan oluğa dış sulkus denir. (Resim 2)



Resim 2: Kokleanın transver kesiti (Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi, N. AKYILDIZ, Cilt I'den alınmıştır.)

Kokleanın frekans özgülüğü: Fibröz bir yapıya sahip olan baziler membran yaklaşık 20 000–30 000 kadar baziler lif içermektedir. Bu liflerin kalınlığı bazalden apikale doğru gidildikçe azalır ve boyu uzar. Baziler membranın da genişliği ve kalınlığı bazalden apikale doğru değişiklik gösterir. Bazal kısımdan apikal kısma doğru gidildikçe kalınlığının azalmasına karşın genişliği artar. Bu değişen özellikler sayesinde baziler membranın farklı bölgeleri farklı frekanslarda titreşim yapar. Her bir ses frekansıyla baziler membranda oluşan dalga başlangıçta zayıf olmasına rağmen o ses frekansına eşit olan doğal rezonans frekansa sahip baziler membran bölümünde en yüksek şiddete ulaşmaktadır (4).

Corti organı da kendisini destekleyen baziler membranla birlikte bazal turdan apikal tura doğru tüm uzunluğu boyunca bazı değişiklikler gösterir. Corti organında bulunan iç ve dış saçlı hücrelerin uzunlukları, bu hücrelerin sterosilyalarının uzunlukları, Corti organının genişliği ve Hensen hücrelerinin yüksekliği bazalden apikale doğru giderek artar (5). Baziler membranla Corti organında olan bu değişiklikler frekansa özgü titreşimden ve ilerleyen dalga oluşumundan sorumludur (6, 7).

Corti organı: Corti organı işitme fonksiyonunda görev alan en önemli yapıdır. Baziler membran üzerine yerleşir ve üç kısımdan oluşur. Bunlar; destek hücreleri, saçlı (duysal) hücreler ve jelatinimsi bir yapıda olan tektoryal membrandır. Destek hücreleri; Hensen hücreleri, Deiters hücreleri (dış falengeal hücreler), dış ve iç pillar hücreler, iç falengeal hücreler ve iç sınır hücreleridir. Corti organının lateral sınırını Hensen hücreleri, medial sınırını ise iç sınır hücreleri oluşturur. Hensen hücreleriyle dış saçlı hücreler arasında dış Corti tüneli bulunur. Deiters hücreleri, dış saçlı hücrelerin çevresini saran destek hücreleridir ve dış saçlı hücrelerin sadece tabanında oluşturdukları açıklıktan sinir lifleri geçer. Buradan geçen efferent ve aferent sinir lifleri dış saçlı hücrelere ulaşırlar. Pillar hücreler, dış ve iç olmak üzere iki tiptir. Pillar hücrelerin parmaksı çıkıntıları, hem dış saçlı ve hem de iç saçlı hücreleri yanlardan destekler. İç falengeal hücreler, iç saçlı hücreleri tabandan ve yanlardan destekleyen hücrelerdir (5, 6).

Corti organının duysal hücreleri tek sıra halinde olan iç saçlı hücreler ve 3 ila 5 sıra halinde dış saçlı hücrelerden oluşur. Her iki duysal hücrenin apikal kısmında gerçek silya olmayan sterosilyalar bulunur. Dış saçlı hücrelerin sterosilyaları V ya da W şeklinde dizilmiştir ve her bir hücrede 6–7 adet sterosilya vardır. Dış saçlı hücredeki sterosilyaların en uzun tektoryal membranın alt yüzü ile temas halindedir. İç saçlı hücrelerin sterosilyaları ise tektoryal membranla doğrudan ilişki kurmazlar (8).

Dış saçlı hücreler Corti organı içinde, apikal ya da bazal uçlarından Deiters hücrelerine ve bunların parmaksı çıkıntılarına bağlı olarak bulunurlar. Sayıları insanda 13 400 olarak kabul edilmektedir. İç saçlı hücrelerin sayısı yaklaşık 3 500'dür. Dış ve iç saçlı hücreler; mekanik bir enerji olan akustik enerjiyi elektriksel enerjiye dönüştürürler. Her iki hücrede de hem aferent hem de efferent sinir sonlanmaları olmasına rağmen morfolojik olarak inervasyonları belirgin farklılık gösterir. Kokleadaki iç ve dış saçlı hücrelere gelen sinir lifleri, hücre gövdeleri spiral ganglionda bulunan nöronların dentritleridir ve aferent sinir lifleri olarak adlandırılır. Tip I nöron olarak da adlandırılan aferent sinir liflerinin yaklaşık %

90–95'i iç saçlı hücrelerle sinaps yapar. Her bir iç saçlı hücre yaklaşık 15–20 tip I nöron tarafından inerve edilir (9). Geri kalan % 5–10 aferent sinir lifi ise dış saçlı hücrelerle sinaps yapar ve bu sinirlere de tip II nöron adı verilir. Her bir tip II nöron yaklaşık 10 kadar dış saçlı hücreyi inerve eder. Tip I lifler miyelinli, tip II lifler ise miyelinsizdir. Ayrıca tip I lifler bipolar, tip II lifler ünipolardır. Tip I nöronların spiral ganglionda bulunan gövdelerinden çıkan dentritleri iç saçlı hücrelere, aksonları ise süperior oliver komplekse ulaşır (8).

Spiral ganglion: İç ve dış saçlı hücreleri innerve eden dentritlerin nöron gövdeleri spiral ganglionda bulunur. Spiral gangliondaki bu nöronlar Corti organındaki duysal hücrelerden gelen sinir liflerini koklear nükleusa bağlayan primer işitme nöronlarıdır. Spiral ganglionun santral aksonları işitme sinirinin distal bölümünü oluşturur. Spiral ganglion nöronlarının yaklaşık % 90–95'i tip I nöron, geriye kalan yaklaşık % 5–10'u tip II nöronudur. Bu hücreleri içeren kemik kanal spiral biçimde koklea apeksine doğru gider ve Rosenthal kanalı olarak adlandırılır (10, 11).

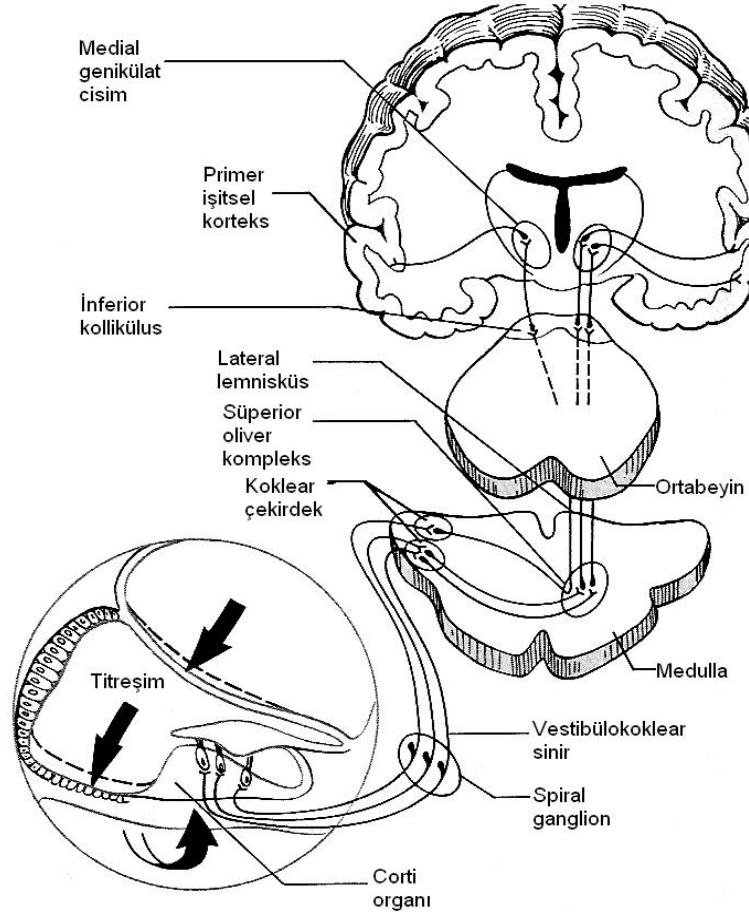
İç kulağın kanlanması: Dış kulağın ve orta kulak kanlanmasıyla iç kulağın kanlanması birbirinden bağımsız iki farklı sistem tarafından olur. İki sistem arasında hiçbir bağlantı yoktur. Dış kulak büyük çoğunlukta süperfisiyal temporal arterin aurikülotemporal dalıyla ve eksternal karotis arterin posteriyor auriküler dalıyla kanlanır.

Orta kulağın kanlanması ise fasiyal arter, internal karotis arter ve süperior meningeal arterin her birinden gelen timpanik dalların oluşturduğu geniş bir anastomoz yapısıyla kanlanır. Ayrıca orta kulağa aşağıdan gelen asendan faringeal arterin timpanik dalı da kanlanmaya katkıda bulunur. Bu dal orta kulakta oluşan glomus tümörlerinde tümörü besleyen en önemli damardır.

İç kulağın kan akımını anteroinferiyor serebellar arterin bir dalı olan labirentin arter (*a. auditiva interna*) sağlar. Ancak labirentin arter direkt olarak baziler arter veya vertebral arterden de kaynaklanabilir. Sekizinci kranial sinirle birlikte iç kulak yoluna girer (5, 12, 13)

2.1.2.Santral işitme yolları:

Santral işitme yolları; kokleada hücre gövdeleri spiral ganglionda bulunan nöronların dentritleriyle iç saçlı hücreler arasında oluşan sinapslardan başlar ve kortekse kadar uzanır. Bu yol üzerinde çeşitli işitsel merkezler vardır. (Resim 3)



Resim 3: Santral işitme yolları (Human Anatomy, E.N. Marieb ve J. Mallatt, 2. baskıdan alınmıştır.)

Vestibülokoklear sinir: Süperiyor vestibüler sinir, sakküler sinir, inferiyor vestibüler sinir ve koklear sinirin birleşmesiyle oluşur. Bu sinirler kemik labirenti farklı kanallardan geçerek iç kulak yoluna girer. İç kulak yolunda fasiyal sinir ve intermedius siniriyle birleşerek ilerler. Koklear ve vestibüler sinirlerin arasında fasiyal sinir yerleşmektedir. Sekizinci kranial sinir pontomedüller bileşkeden beyin sapına girmeden önce serebellar pedikül nedeniyle iki parçaya ayrılır ve beyin sapına bu şekilde girer. Burada koklear sinirin her bir dalı inen ve çıkan dallar olmak üzere iki kısma ayrılır. İnen dallar posteroventral ve dorzal koklear çekirdeklere, çıkan dallar ise anteroventral koklear çekirdeklere ulaşır (6).

Koklear çekirdekler: Koklear çekirdekler bütün aferent işitme sinir lifleri için ilk duraktır ve bütün işitme siniri lifleri için ilk sinaps yeridir. Çekirdekler pontomedüller bileşkede simetrik olarak yerleşir. Ventral ve dorzal koklear çekirdekler olmak üzere iki büyük alt gruba ayrılır. Koklear çekirdeklerdeki liflerin dağılımı da kokleadaki hücreler gibi frekansa özgü

kokleotopik bir dağılım gösterir. Kokleanın bazal bölgesinden kaynaklanan yüksek frekansları ileten lifler dorzal koklear çekirdek grubuna, apikal bölgesinden kaynaklanan düşük frekansları ileten lifler ventral koklear çekirdek grubuna dağılır. Her bir nöron için en duyarlı olduğu genellikle tek bir frekans vardır (8). Koklear çekirdeklerden çıkan ikinci nöronların aksonları akustik striayı oluşturan üç ayrı sinir lifi grubu oluşturur. Bunlar; ventral, dorzal ve ara akustik strialar olarak adlandırılır. Ventral akustik stria; süperiyor oliver kompleks, trapezoid cisim ve inferiyor kolikülusta sonlanır. Dorzal akustik stria; lateral lemnisküs ve inferiyor kolikülusta sonlanır. Ara akustik stria; her iki taraf trapezoid cisim, lateral lemnisküs ve inferiyor kolikülusta sonlanır.

Süperiyor oliver kompleks: Koklear nükleuslardan çıkan ikinci nöron lifleri karşı tarafa geçip süperiyor oliver komplekste sonlanırlar, işitme yollarında çaprazlaşma olan ilk noktadır. Süperiyor oliver kompleks ponsun alt kısmında yerleşmiştir ve işitsel uyarımlarla gelen bilgilerin entegrasyonunda önemli rol oynar. Süperiyor oliver kompleks; gruplar halinde lokalize olan küçük işitsel çekirdeklerden oluşur. Bunlar; süperiyor oliver çekirdeğin medyal ve lateral grubu, trapezoid cismin medyal çekirdeği ve perioliver çekirdektir. Buradan çıkan aksonların büyük kısmı aynı taraf lateral lemnisküs yoluyla orta beyine gider. Süperiyor oliver kompleksin farklı nöronları, alçak ve yüksek frekans analizini, şiddet farkını ve işitsel yollarda ilk çaprazlaşma yeri olmasından dolayı iki kulağa aynı anda gelen ses arasındaki zaman farkını kodlar. İşitme sinirinin aferent liflerine ek olarak Corti organındaki saçlı hücrelere olivokoklear demetle giden eferent lifler süperiyor oliver kompleksten kaynaklanır. Olivokoklear demet lateral ve medyal olarak iki grup sinir lifi içerir. Medyal olivokoklear demeti oluşturan sinir lifleri miyelinlidir ve karşı taraftaki Corti organının dış saçlı hücrelerine gider. Lateral oliver kompleks demetinde bulunan sinir lifleri miyelinsizdir ve aynı tarafın iç saçlı hücrelerini inerve ederler (5, 7).

Lateral lemnisküs: Koklear çekirdekleri ve süperiyor oliver kompleksi inferiyor kolikülusa bağlar (6). Lateral lemnisküse lifler hem koklear çekirdeğin bazı hücrelerinden hem de süperiyor oliver kompleksin bazı bölgelerinden ipsilateral ve kontralateral olarak gelir. Lateral lemnisküs beyin sapının yan tarafındadır ve ventral, dorzal ve ara adı verilen üç nükleusu vardır. Kokleadan gelen alçak frekanslar dorzal nükleusa, yüksek frekanslar ise ventral çekirdeğine gider. Lateral lemnisküsten çıkan liflerin büyük kısmı inferiyor kolikülusta sonlanmasına rağmen, bir kısmı direkt olarak talamustaki medyal genikülat cisiminde sonlanır (8).

İnferiyor kolikulus: Mezensefalonda yerleşmiştir. İnferyor kolikulusun santral çekirdeği, beyin sapındaki işitme yollarının en büyük çekirdeğidir. İşitsel refleks aktivitelerde rol oynadığı düşünülmektedir. Gelen akustik bilgileri işleyerek ön beyindeki medyal genikülat cisme ve işitme korteksine ulaştırır.

Medyal genikülat cisim: Talamusta bulunur. İnferyor kolikulusla işitme korteksi arasında bir ara istasyondur. Buradan çıkan üçüncü nöron aksonları temporal lobta bulunan primer işitme korteksinde sonlanır.

İşitme korteksi: İşitsel uyarıların merkezde ulaştığı son noktadır. İşitme korteksi esas olarak süperiyor temporal girusun supratemporal planında yer almakla birlikte temporal lobun dış yan kısmına, insular korteksin büyük bölümüne ve paryetal operkulumuna doğru yayılmaktadır. Primer işitme korteksi ve ilişkili alanlar olmak üzere iki kısma ayrılır. Serebral kortekste 41 ve 42. Brodmann alanları primer işitme merkezleridir (10, 14).

Primer işitme korteksi ve ilişkili alanlarda en az altı adet tonotopik bölge varlığı bulunmuştur. Yani tüm frekanslar tarafından uyarılan baziler membrandan işitme sinirine frekansa özgü olarak aktarılan uyarılar, koklear çekirdeklerde olduğu gibi işitme korteksinde de tonotopik olarak temsil edilir. İşitme korteksinde özellikle işitme korteksiyle ilişkili alanlarda bulunan nöronların farklı ses frekanslarının birbiriyle bağlantısını sağladığı ve ses bilgisini korteksin diğer duysal alanlardan gelen bilgilerle birleştirdiği düşünülmektedir (4).

2.2. İŞİTME FİZYOLOJİSİ

İşitme kulak kepçesinde ses dalgalarının toplanmasıyla başlar ve buradan DKY'ye geçen bu dalgalar kulak zarına iletilir. Kulak kepçesi sesi iletirken aynı zamanda sesin şiddetini de yaklaşık 6 dB artırır. DKY de hem ses şiddetini 15–20 dB artırır, hem de sesleri ana konuşma frekansları olan 2–3 kHz civarında toplar (15).

Kulak zarı, DKY'den gelen ses dalgalarını basınca dönüştürerek orta kulaktaki kemikçik zincire iletir. Ses, bir yandan kulak zarı ve kemikçik zincir yoluyla oval pencereye iletilirken, bir yandan da orta kulak boşluğu yoluyla yuvarlak pencereye iletilir. Sesin kemikçikler yoluyla oval pencereye iletimi daha hızlı olduğu için oval ve yuvarlak pencereler arasında bir faz farkı ortaya çıkar. Ses dalgaları hava ortamdan sıvı ortama geçerken iki ortam arasındaki direnç farkından dolayı yaklaşık 30 dB azalır. Diğer taraftan ses enerjisi kulak

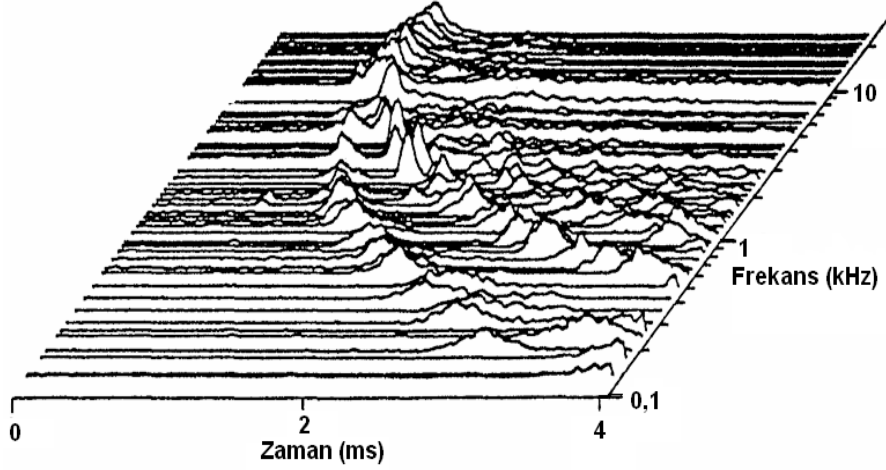
zarıyla stapes tabanı yüzeyleri arasındaki oran nedeniyle 17 kat, inkudomalleolar eklem özelliği nedeniyle 1,3 kat olmak üzere toplam 22 kat artarak perilenfe iletilir.

Oval ve yuvarlak pencerele kulak zarından faz farkıyla iletilen ses enerjisi perilenfte bir hareketlenme meydana getirir. Bu hareketlenme stapes tabanının *scala vestibuli*'ye doğru ilerlemesiyle ortaya çıkar ve perilenfte oluşan bir dalgalanmadır (15). Dalga hareketi *scala vestibuli*'den, *scala tympani*'ye doğru ilerler ve yuvarlak pencerede bulunan membranda orta kulağa doğru bombeleşmeye neden olarak *scala tympani*'de aynı miktarda bir hacim değişikliğine neden olur. Bu hacim değişikliği *scala media*'da bir dalgalanma hareketi meydana getirir. Bu dalgalanma hareketi baziler membran boyunca helikotremaya kadar ilerler. George Von Bekesy, bazal turdan apikal tura kadar olan bu dalga hareketine ilerleyen dalga adını vermiştir. (Resim 4)

Bu şekilde *scala media*'da bir ilerleyen dalga oluşumuyla koklea iki temel fonksiyonundan birisi olan iletim fonksiyonunu yerine getirmiş olur. İletim fonksiyonuyla kokleaya gelen ses dalgaları Corti organındaki dış saçlı hücrelere kadar taşınır. Kokleanın diğer temel fonksiyonu ise dış saçlı hücrelere kadar gelen ses enerjisinin bir seri kimyasal ve elektriksel olaylarla aksiyon potansiyeline çevrilerek santral işitsel yollara iletilmesidir. Bu dönüşüm, sesin frekansı, tınısı ve şiddeti gibi özellikleri korunarak olur. Kokleada farklı bölgeler farklı frekanslara karşılık gelecek şekilde frekans özgüllüğü gösterir ve buna kokleanın tonotopik organizasyonu denir. Kokleanın stapes tabanına yakın kısımları (bazal bölge) daha çok yüksek frekanslı seslere, helikotremaya yakın kısımları (apikal bölge) ise daha çok düşük frekanslı seslere duyarlıdır. Kokleada ilgili frekanstaki saçlı hücrelerde meydana gelen elektriksel potansiyeller tonotopik organizasyon sayesinde koklear sinir ve santral işitsel yollar tarafından frekans özgüllüğü korunarak tonotopik bir şekilde santral işitme merkezlerine iletilir (4).

Kokleanın frekans özgüllüğü; Helmholtz, Ewald, Rutherford ve von Bekesy gibi araştırmacılar tarafından bildirilen teorilerle açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak, bugün için en fazla kabul göreni von Bekesy'nin ilerleyen dalga teorisidir. Buna göre kokleadaki skalalarda oluşan titreşimler baziler membranda da yer değişimleri oluşturan titreşimle bir dalga hareketi meydana getirir. Bu dalga hareketi baziler membranın bazal kısmından başlayarak apikal kısmına doğru ilerler ve dalganın yayılımı baziler membranda hem boyuna hem de enine doğru olmaktadır. Her bir frekansın baziler membranda kendine ait yüksek özgüllük gösterdiği bir bölge vardır. Bu bölge o frekanstaki uyarının baziler membranda en fazla titreşim yaptığı,

baziler membranda oluşan ilerleyen dalganın en yüksek amplitüde ulaştığı noktadır. (Resim 4). İlerleyen dalganın en yüksek amplitüde olduğu noktada tektoryal membranla baziler membran arasında bir yaklaşma ortaya çıkar. Burada bulunan saçlı hücreler stereosilyalarının tektoryal membranla teması sonucu uyarılır. Bu uyarılma Corti organında ana frekans noktasında ortaya çıkar ve ses frekansa özgü bir şekilde analiz edilerek santral işitsel yollara iletilir (16).



Resim 4: Von Bekesy'nin ilerleyen dalga teorisi (Kiang 1975'ten alınmıştır.)

Kokleanın dönüşüm fonksiyonu Corti organındaki saçlı hücreler tarafından gerçekleştirilir. Baziler membran hareketleriyle tektoryal membranla saçlı hücreler arasında meydana gelen temas sonucu saçlı hücrelerde bulunan silyaların bir yöne eğilmesine neden olur ve çeşitli elektriksel potansiyeller ortaya çıkar. Bu potansiyel farkları 200–300 adet katyon iletici kanalın açılmasını sağlar ve yüksek potasyum konsantrasyonu içeren endolenf sıvısından saçlı hücrelerin içerisine doğru pozitif yüklü potasyum iyonları geçer. Bu pozitif yük saçlı hücrelerin depolarizasyonuna neden olur. Depolarizasyon sonucu kalsiyum kanalları açılarak, hücre içersine kalsiyum girişi olur. Baziler zarın aşağı doğru hareketiyle de silyalar ters yönde bükülür ve hücre hiperpolarize olur. Bu sayede saçlı hücrelerde değişken bir reseptör potansiyeli oluşur ve reseptör potansiyeli eşik değeri geçer geçmez bir aksiyon potansiyeli oluşturur. Oluşan aksiyon potansiyeli de saçlı hücrelerin taban kısmında sinaps yapan spiral ganglion hücrelerine iletilir. Böylece saçlı hücreler mekanik enerjiyi nöral sinyallere dönüştürürler.

Sonuçta ses uyarısıyla oluşan baziler membran hareketleri, Corti organında sesin frekansı, şiddeti, tınısı korunarak tonotopik bir şekilde kodlanarak elektriksel akıma dönüşmüş olur ve bu akım santral işitsel yollara iletilir (4, 17).

2.3.İŞİTME FONKSİYONUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.3.1. İmmitansmetrik değerlendirme

İmmitansmetrik değerlendirme yöntemleri, orta kulak sisteminin ve alt beyinsapından geçen nöral refleks arkının bütünlüğü hakkında bilgi verir. Kulak zarının mobilitesi, orta kulak basıncı, östaki tüp fonksiyonu ve akustik refleks immitansmetrik değerlendirme yöntemleriyle ölçülebilir.

Timpanometri:

Bu testte, düşük frekansta (226Hz) ve 85 dB ses basıncı düzeyinde (SPL) ses enerjisi bir prob yoluyla DKY'ye verilir. Değişik basınç seviyelerinde kulak zarından proba tekrar geri yansıyan ve iletilen enerji miktarları ölçülür. Timpanometri orta kulak fonksiyonları ve kulak zarı bütünlüğü hakkında oldukça önemli bilgiler veren bir testtir. Hasta uyumu gerektirmemesi ve kısa sürede yapılabilmesi gibi avantajları vardır. DKY basıncı orta kulak basıncına eşit olduğu zaman, kulak zarı kompliyansı en yüksek durumdadır ve gelen enerjiyi en fazla miktarda alır. Böylece gelen enerjiyi yansıtmak yerine çoğunu absorbe eder.

DKY'yle orta kulak basıncı eşit olduğu zaman kulak zarı ve orta kulakta bulunan yapılar en fazla düzeyde mobilite kazanır. Kulak zarı kompliyansının en üst seviyeye ulaştığı bu anda akustik enerjinin büyük kısmı orta kulağa geçer ve timpanometrik eğride bir tepe noktası oluşur. Östaki fonksiyonu normal ise basınç zirvesi 0 daPa civarında olacaktır. Tepe noktasının basınç seviyesine ve amplitüdüne göre beş tip timpanogram eğrisi vardır: Tip A, tip B, tip C, tip As ve tip Ad.

Timpanometrik ölçümlerde orta kulak basıncı, kulak zarının kompliyansı ve orta kulak hacmi gibi değerler elde edilir. Bu değerler;

- Kulak zarının durumu; kulak zarı yapısındaki anormallikler veya perforasyon
- Orta kulak fonksiyonları; orta kulakta efüzyon, orta kulak havalanması ve kemikçik zincirin durumu hakkında bilgi verir.

Akustik refleks ölçümü:

Odyolojik değerlendirmenin en önemli testlerinden birisidir. Akustik refleks, yüksek şiddetteki akustik uyarana karşı bir tepki olarak stapes kasının kasılmasıdır. İşitme eşiğinin 70–90 dB (genellikle 75 dB) üzerinde ortaya çıkar. Refleks arkının afferent yolunu 8. kraniyal sinir, efferent yolunu 7. kraniyal sinir oluşturur. Akustik refleks arkının santral sinir sistemindeki merkezleri ise ventral koklear nükleus, trapezoid cisim, medyal süperiyor oliver kompleks ve fasiyal motor nükleustur. Eğer uyaran ve ölçüm aynı kulaktan yapılıyorsa ipsilateral, uyaran ve ölçüm farklı kulaklardan yapılıyorsa kontralateral ölçüm söz konusudur. İpsilateral ölçümle aynı taraftaki aferent işitsel yollarla aynı taraftaki eferent yol, kontralateral ölçümle aynı tarafın afferent işitsel yolları, çaprazlaşan işitsel yollar ve karşı tarafın eferent yolu değerlendirilir.

Akustik refleks; iletim tipi işitme kayıplarında, ileri-çok ileri derecede sensörinöral işitme kayıplarında, 8. kraniyal sinir lezyonlarında, beyin sapı lezyonlarında ve ayrıca fasiyal paralizde lezyonun yerini araştırmada önemli bilgiler veren bir testtir. Hasta katılımı gerektirmeden ölçüm yapılabilen objektif bir yöntem olması önemini artırır.

2.3.2. Odyometri

Saf ses ve konuşma odyometrisi olarak iki ana gruba ayrılır. Gerek saf ses odyometrisinin ve gerekse konuşma odyometrisinin her ikisi de tamamen subjektif testlerdir. Saf ses odyometrisi işitme eşiğini belirlemede; konuşma odyometrisi ise hem işitme eşiğini belirlemede (konuşmayı anlama-alma eşiği, konuşmayı fark etme eşiği) hem de konuşmayı ayırt etme oranlarını belirlemede kullanılır.

Saf ses odyometrisiyle her bir frekansta işitme eşiklerini gösteren ve odyogram adı verilen bir grafik elde edilir. Herhangi bir frekansta duyulan en düşük ses şiddet seviyesine o frekans için işitme eşiği denir. Test edilen frekanslar konuşmanın anlaşılmasında önemli olan 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 ve 8000 Hz frekanslarını kapsar. Bu frekanslardan 500; 1000 ve 2000 Hz’te elde edilen hava yolu eşiklerinin ortalamasına saf ses ortalaması denir. Ancak saf ses eşik ortalaması, ortalama bir değer olduğundan hastanın işitme kaybının şekli hakkında kesin bir bilgi vermez.

İşitme kaybının şekli sensörinöral, iletim ve mikst olmak üzere üç farklı tipte olabilir. Sensorinöral işitme kaybında hastanın hava yolu eşikleri 250–8000 Hz frekans aralığında her

hangi bir frekansta 25 dB'in üzerindedir ve hava-kemik yolu eşikleri arasındaki fark 10 dB'den azdır. İletim tipi işitme kaybında hastalarda kemik yolu eşikleri 500–4000 Hz aralığında 20 dB veya daha az, hava yolu eşikleri ise 25 dB'den daha fazladır. Eğer kemik yolu eşikleri herhangi bir frekansta 20 dB'in üstüne çıkmışsa ve hava yolu eşiği ile arasında 10 dB veya daha fazla fark varsa mikst tip işitme kaybı vardır.

Hastalar odyometride elde edilen saf ses eşik ortalamalarına göre Tablo 1'de olduğu gibi sınıflandırılır:

Tablo 1: American Speech and Hearing Association (ASHA) kriterlerine göre belirlenen işitme kaybı dereceleri. <http://www.asha.org/public/hearing/disorders/types.htm> adresinden alınmıştır (erişim tarihi: 08.05.2009).

İşitme kaybı aralığı	İşitme kaybı derecesi
-10-15 dB HL	Normal işitme
16-25 dB HL	Çok hafif derecede
26-40 dB HL	Hafif derecede
41-55 dB HL	Orta derecede
56-70 dB HL	Orta-ileri derecede
71-90 dB HL	İleri derecede
91 dB HL ve üzeri	Çok ileri derecede

2.3.3. Otoakustik emisyon

OAE, normal veya normale yakın işiten bir kulakta, kendiliğinden veya verilen akustik uyarana karşı bir yanıt olarak oluşan, DKY'den ölçülebilen ses enerjisidir (18). İlk kez Kemp tarafından tarif edilmiştir (16). Kulağa gelen akustik uyarılar baziler membranı titreştirerek iç ve dış saçlı hücrelerin steryosilyalarında bükülmeye yol açarak bu hücrelerde reseptör potansiyeli oluşturur. Dış saçlı hücrelerde oluşan reseptör potansiyeli, bu hücrelerde bulunan aktin ve miyozin yapılarının kasılmasına yol açar. Kasılma olayıyla bir akustik enerji ortaya çıkar, ortaya çıkan bu enerji sırasıyla stapes tabanına, kemikçiklere, kulak zarına ve dış kulak yoluna geçer, burada bir mikروفon yardımıyla kaydedilebilir.

OAE'ler, spontan ve uyartılmış olmak üzere iki farklı şekilde ortaya çıkabilir;

Spontan otoakustik emisyonlar (SOAE), uyarı olmadan DKY'den kayıt edilen düşük şiddetli akustik enerjilerdir. İşitmesi normal olan insanların %40–50'sinde saptanabilir (18). SOAE'ler mevcutsa emisyonun ortaya çıktığı frekans bölgesinde hastanın işitmesinin normale yakın olduğu söylenebilir. Bütün insanlarda SOAE'ler alınmadığı için klinik uygulamalarda kullanılmamaktadır.

Uyarılmış otoakustik emisyonlar (EOAE) ise sesli bir uyarana yanıt olarak ortaya çıkar. Uyarının tipine göre üçe ayrılır:

- **TEOAE:** Kısa süreli bir akustik uyarıdan sonra kaydedilen geçici uyarılmış (*transient evoked*) otoakustik emisyon
- **DPOAE:** İki farklı saf ses uyarını sonrası ortaya çıkan distorsiyon ürünü (*distortion product*) otoakustik emisyon
- **SFOAE:** Tek bir saf ses uyarını sonrası kayıt edilen otoakustik emisyonlar ise stimulus frekans otoakustik emisyon olarak adlandırılırlar.

TEOAE'ler klik ses gibi kısa süreli bir akustik uyarandan 4–20 ms sonra kaydedilir. Amplitüdü ve frekansı değişken olmakla birlikte, kokleası sağlam olan tüm insanlarda elde edilir. TEOAE'lerin çeşitli derecedelerdeki işitme durumlarında elde edilme oranları; eşğin 0–10 dB olması durumunda % 100, 10–20 dB olmadı durumunda % 99, 20–30 dB olması durumunda % 11, 30–35 dB olması durumunda % 8'dir. Eşik 40 dB'in üzerinde ise TEOAE saptanamaz (19). TEOAE özellikle kısa süren, objektif ve kolay uygulanan bir metot olarak koklear fonksiyonların değerlendirilmesini sağlar. Tarama testlerinde doğruluğu ve kısa sürede sonuç vermesi gibi faydalarını gösteren birçok çalışma vardır (20).

DPOAE'ler, iki farklı frekansta (f_1 ve f_2) ve şiddette (L_1 ve L_2) saf ses uyarının aynı anda kokleaya verilmesiyle elde edilir. İnsanlarda DPOAE ölçümü yapılırken f_2/f_1 oranının 1,22 ve L_1 'in L_2 'den 10 dB daha fazla olduğu uyarı kullanıldığında çok daha belirgin bir yanıt elde edildiği bildirilmiştir (21). DPOAE'ler iki farklı saf ses uyarınının iki farklı ilerleyen dalga oluşturmasına bağlı olarak bu dalgaların üst üste bindiği koklea bölgelerinde ortaya çıkar. İki frekansın verilmesiyle elde edilen yanıt, $2f_1-f_2$ frekansında en belirgindir, yani yanıt amplitüdü en yüksektir (22, 23). DPOAE'ler 500–8000 Hz arasında güvenilir olarak kaydedilebilir ve frekansa özgü ölçüm sağlar. TEOAE'lerin aksine 40 dB'den daha fazla sensörinöral işitme kaybı olan hastalarda da saptanabilirler, ancak 50 dB'in üzerinde

saptanamaz (24, 25). DPOAE'ler, ototoksik ilaçlar, akustik travma gibi Corti organının zarar gördüğü durumlarda diğer otoakustik emisyonlara göre daha geç etkilenir.

TEOAE ve DPOAE başta olmak üzere OAE ölçümü klinikte yaygın olarak kullanılır. OAE'ler; yenidoğan işitme taramalarında, ototoksik ilaçların kullanımı sırasında oluşabilecek ototoksitenin takibinde, kooperasyon kurulamayan hastaların işitme taramasında, gürültüye bağlı işitme kaybı açısından risk taşıyan gruplarda tarama testi amaçlı kullanılabilir (19). OAE'ların tek başına ölçülmesiyle klinik bir karar verilemez. Saf ses odyometrisi, timpanometri, akustik refleks ölçümü ve gerekirse ABR yapılarak işitme durumu değerlendirilmelidir.

2.3.4. İşitsel uyarılmış potansiyeller

Akustik refleks testi ve OAE, periferik işitme mekanizmalarının bütünlüğü hakkında değerli bilgiler verse de işitme eşiği hakkında net bir bilgi vermez (26). İşitsel uyarılmış potansiyeller ise işitsel sistemi etkili bir biçimde değerlendiren elektrofizyolojik testlerdir. Bu testler 8. kranial sinirden kortekse kadar işitsel uyarana yanıtta nöral aktiviteyi temsil eden birleşmiş elektriksel potansiyellerdir.

İşitsel sistemde ses uyarana yanıt olarak kokleadan başlayıp işitme korteksine kadar çeşitli merkezlerde elektriksel potansiyeller oluşur. Bu potansiyeller, EEG benzeri yöntemlerle kaydedilebilir ve özel yazılımlar vasıtasıyla diğer potansiyellerden ayrıştırılarak incelenebilir. İşitsel uyarılmış potansiyeller, dalgaların ortaya çıkış zamanlarına (latanslarına) göre; erken, orta ve geç yanıtlar şeklinde sınıflandırılır.

Erken latans yanıtları uyarımdan sonraki ilk 10 ms'de, orta latans yanıtları (MLR) 10–80 ms arasında, geç latans yanıtları (LLR) ise 80–600 ms arasında ortaya çıkar. Erken, orta ve geç latans yanıtları sırasıyla iç kulak-beyinsapı, talamus-korteks ve kortekste bulunan üretici merkezlerde oluşan potansiyellerle uyumludur. MLR ve LLR, mezensefalon ve yukarıdaki işitsel aktiviteleri gösterir (20).

Akustik uyarandan sonraki 2–12 ms içinde ortaya çıkan yanıtlara hızlı latans yanıtları adı da verilir ve bu yanıtların bir bölümü erken latans yanıtlarıyla çakışır (20). Hızlı latans yanıtları işitme siniriyle birlikte beyinsapındaki merkezlerde oluşan uyarılmış potansiyeller sonucunda oluşur. Bu yanıtlar ABR ölçüm tekniğinde Jewett'in tanımladığı bir dizi dalga oluşumuyla temsil edilir. ABR, işitsel uyarılmış potansiyel ölçüm yöntemleri içerisinde

klirikte en yaygın kullanılanıdır. ABR ölçümü için klik, tone-burst ve tone-pip gibi kısa süreli uyanlar kullanılır.

İşitsel uyarılmış potansiyellerin ölçümünde kullanılan diğeri bir yöntem de ASSR'dir. İlk kez 1980'li yılların ortalarında tarif edilen ASSR'de aynı anda kokleanın farklı bölgeleri uyarılabilmekte ve alınan yanıtlar ayrı ayrı değerlendirilebilmektedir.

İşitsel bir uyan karşısında, ABR ölçüm teniğinde işitme yollarında yedi farklı dalga oluşur, bu dalgalar averajlama tekniğiyle belirgin hale getirilerek incelenir. Resim 5'te ABR ölçümünde oluşan dalgalar görülmektedir.

Bu dalgaların köken aldıkları lokalizasyonlar:

I. Dalga: Sekizinci sinirin distali

II. Dalga: Sekizinci sinirin proksimali

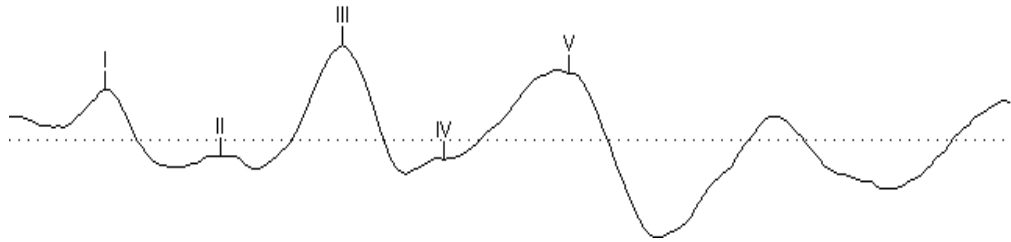
III. Dalga: Koklear nükleus

IV. Dalga: Süperiyor oliver kompleks

V. Dalga: Lateral lemnisküs

VI. Dalga: İnferyor kolikülüs

VII. Dalga: İnferyor kolikülüs-medyal genikülat cisim (27).



Resim 5: ABR'de oluşan dalgalar

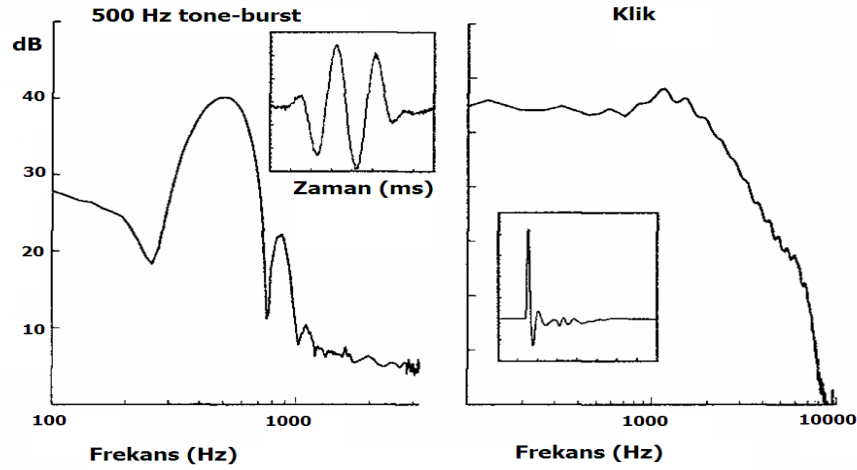
Kullanılan işitsel uyanara göre iki farklı ABR yöntemi vardır: Klik ABR ve tone-burst ABR.

2.3.4.1. Klik ABR

Kare ya da dikdörtgen şeklinde ve 0,1 ms süreli uyan kullanılarak ölçülür. Klik uyan üretmek için kullanılan elektrik dalgasının pozitif veya negatif olmasına göre üç tip klik

uyaran tanımlanmıştır. Seyrelme (*Rarefaction*) kliği negatif bir elektrik dalgasıyla, sıkışma (*condensation*) kliği pozitif bir elektrik dalgasıyla, alternan (*alternant*) klik ise seyrelme ve sıkışma kliklerinin peşpeşe uygulanmasıyla elde edilir. ABR ölçümünde en çok kullanılan klik alternan olandır. Alternan klikte artefaktların bir bölümü elimine olduğu ve daha net bir yanıt ortaya çıktığı bildirilmiştir.

Klik uyarının geniş bir frekans bandı vardır ve kokleanın bütün frekans alanlarını aynı anda uyarır. İç kulağa ulaşan klik uyarının kokleayı tabandan tepeye kadar tüm baziler membran boyunca uyarılmasıyla işitsel yollardaki tüm nöronlar senkronize bir şekilde uyarılmış olur. Bu nedenle klik ABR özellikle düşük frekanslar başta olmak üzere işitme eşikleri hakkında yeterli bilgi vermez. Resim 6'da 500 Hz tone-burst uyarınla klik uyarının amplitüt spektrumları görülmektedir. Bir işitme testinin en doğru biçimde işitme hakkında bilgi sağlanması frekans özgüllüğünün yüksek olmasıyla ilgilidir. Frekans özgüllüğü de, ölçümün yapıldığı frekansta diğer frekans alanlarının, oluşan yanıt üzerine etkisi olmamasına bağlıdır. Frekans ve yer özgüllüğünü artırmak amacıyla çeşitli uyarın şekilleri üretilmiştir. Bunlar arasında filtre edilmiş klikler, çentikli gürültüyle karıştırılmış klikler, tone-pip ve tone-burst uyarınlar sayılabilir (28, 29, 30).



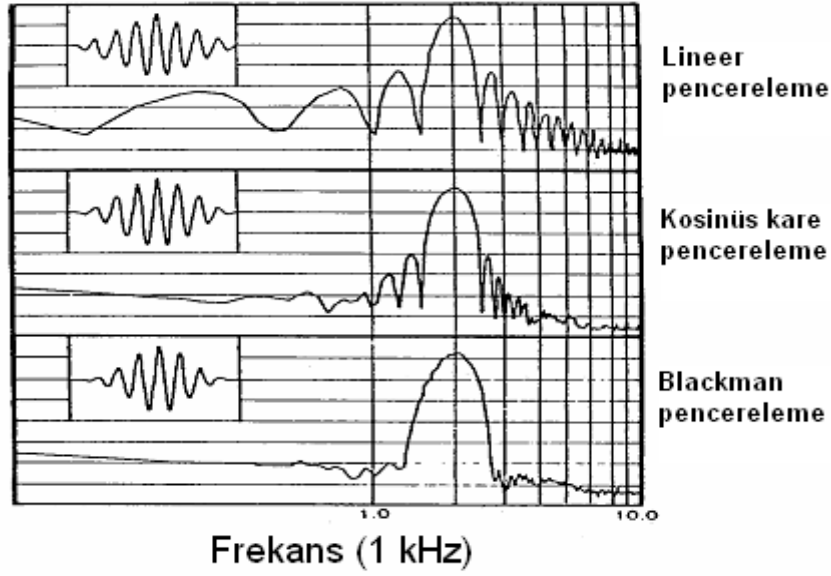
Resim 6: 500 Hz tone-burst ve klik uyarınlarının frekans spektrumları (Sininger 1995'ten alınmıştır.)

2.3.4.2. Tone-burst ABR:

Frekansa özgü yanıt elde etmek kokleada sadece istenen frekans bölgesinin uyarılmasıyla mümkündür. Tone-burst, ABR’de frekansa özgü kayıt yapabilmek için geliştirilmiş kısa süreli tonal uyarandır. Bir akustik uyarının frekans özgüllüğünün yüksek olması için her amplitütte enerjisini koruması ve sıklık sayısının yeterli olması gerekir.

Tone-burst uyarıları frekansa daha özgü hale getirmek için değişik pencereleme yöntemleri kullanılır (28). Bu amaçla en sık kullanılan pencere tipleri Bartlett (lineer), kosinüs kare ve Blackman’dır. Pencerelemiş bir tone-burst uyarının çıkış-plato-iniş olmak üzere üç evresi vardır. Plato evresi içermeyen Blackman pencereleme fonksiyonlu uyaranda sıklık sayısı daha fazladır ve frekansa özgü oluşan nörosenkronizasyon daha yüksektir. Blackman pencerelemeli uyarının klasik lineer pencerelemeli uyarandan daha fazla frekansa özgü olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (31). Resim 7’de çeşitli pencereleme yöntemleri uygulanan tone-burst uyarıların ana frekans lokalizasyonu ve yan loblara dağılımları izlenmektedir. Günümüzde en sık kullanılan pencereleme yöntemi Blackman’dır. Blackman pencerelemeli uyarının akustik spektrumu lineer pencerelemedekinden farklıdır. Bu farklılıkları şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1- Blackman pencereleme uygulanmış uyarının yan loblarında lokalize olan akustik enerji, ana lobun pik enerjisinin yaklaşık olarak 68 dB altındadır, lineer pencerelemeli uyarı için bu değer yaklaşık 27 dB’dir.
- 2- Ana enerji lobunun frekans aralığı Blackman pencereleme uygulanmış uyaranda daha geniştir.
- 3- Ana enerji lobundan yan loblara geçerken enerji azalma hızı Blackman pencereleme uygulanmış uyaranda 18 dB/oktav, lineer pencerelemeli uyaranda 6 dB/oktav’dır (31, 32).



Resim 7: Tone-burst uyaran pencereleri (Gorga & Thornton 1989'den alınmıştır.)

ABR, günümüzde işitme eşiklerinin tahmininde ve periferden santrale kadar uzanan işitme yolları boyunca oluşan patolojilerin belirlenmesinde kullanılan objektif bir yöntemdir. ABR'yi hem nörootolojik hem de odyolojik değerlendirmelerde uygulama imkanı vardır (33, 34). ABR daha sık olarak işitme eşiklerini araştırmada kullanılmasına rağmen gerçek anlamda bir işitme testi değildir. ABR testinin klinikte uygulama alanlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

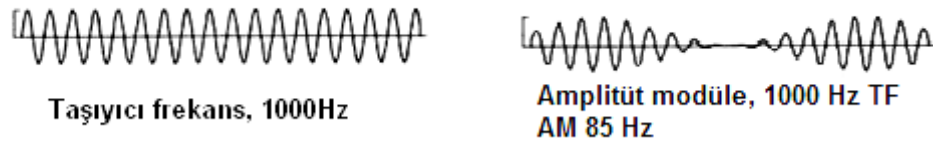
- Bazı hastalıkların tanısında:
 - VIII. sinir ve alt beyin sapı lezyonları
 - Koklear işitme kayıpları
 - İletim tipi işitme kayıpları
 - Multiple skleroz gibi nörolojik dejeneratif hastalıklar
- Koma ve beyin ölümü tespiti
- Cerrahi girişim sırasında monitörizasyon amaçlı
- Çocuklarda konjenital işitme kaybı taramaları

2.3.4.3. ASSR testi:

ASSR, geçici bir akustik uyaran yerine sürekli uyaran kullanılan alternatif bir işitsel uyarılmış potansiyel (AEP) tekniğidir. ASSR'de kullanılan uyaran, amplitüdü ve/veya frekansı modüle edilmiş sürekli bir saf sestir (35, 36). Frekansı 500–8000 Hz arası standart odyometrik

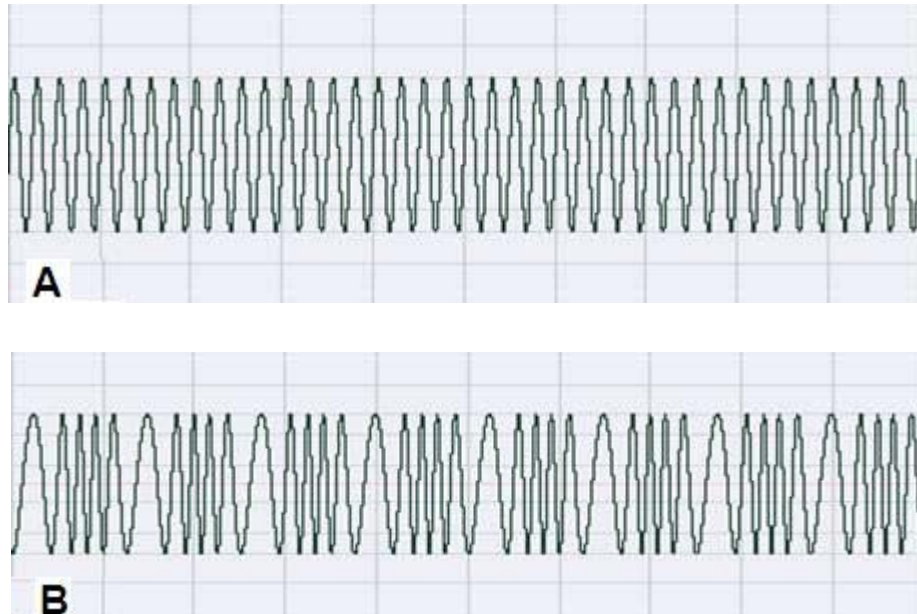
frekanslarda olan bu saf sese taşıyıcı frekans (TF) adı verilir (37). ABR’de yanıt alınamayan ileri ve çok ileri derecede işitme kayıplarında eşik tespiti amacıyla son ASSR testi ile tespit edilebilir (38, 39, 40).

TF’nin sadece amplitüdü veya frekansı modüle edilebildiği gibi ikisi aynı anda da modüle edilebilir (41). TF şiddetinin saniyede belirli bir sayıda artırılıp azaltılmasına amplitüt modülasyonu (AM) adı verilir. (Resim 8). %100’lük amplitüt modülasyonunda uyarının şiddeti 0 dB’e iner ve tekrar gerçek şiddetine ulaşır. 1 s’deki değişim sayısına modülasyon oranı adı verilir.



Resim 8: Taşıyıcı frekans ve amplitüt modülasyonu uygulanması

Frekans modülasyonunda (FM) ise uyarının frekansında değişiklik yapılır. Örneğin; 2000 Hz’lik TF’ye % 20’lik frekans modülasyonu uygulanırsa, TF, 1 s’de modülasyon hızıyla belirlenen sayıda 1800 Hz ile 2200 Hz arasında gider gelir. Resim 9’da FM uygulanan bir TF görülmektedir. FM çoğunlukla AM ile birlikte uygulanır, bu şekilde oluşan uyarana mikst modülasyonlu uyarın adı verilir.



Resim 9: Frekans modülasyonu örneği (A: modülasyonsuz, B: modülasyonlu)

Galambos ve ark. (42), yanıt amplitüdünün daha büyük olduğunu saptadıkları için 40 Hz modülasyon frekansının (MF) ASSR yöntemi için en uygun seçenek olduğunu bildirmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda, 40 Hz MF uygulanan uyarana yanıtın bilinç durumu, anestezi ve uyku gibi durumlardan etkilenerek eşik araştırmasında problemlere neden olduğu bildirilmiştir (43,44). Bu araştırmalarda 70–110 Hz MF'nin eşik tahmini için daha elverişli olduğu bildirilmiştir (45). Ayrıca uyarılmış potansiyellerin kaynaklandığı yer MF'ye bağlıdır. MF>70 Hz bir uyarana karşı oluşan ASSR, ABR sonuçlarıyla en uyumludur. Bu modülasyon frekansına yanıtın orijini beyin sapıdır ve yaklaşık olarak 10 ms latansı vardır. Bu MF oranının uyuyan çocuk ve yetişkinde en uygun olduğu bildirilmiştir (46, 47). 20–70 Hz MF, orta beyin orjinlidir ve yaklaşık olarak 30 ms latansı vardır. MF<20 Hz ise işitsel korteks kaynaklıdır ve 100 ms civarında latansı vardır (46, 48).

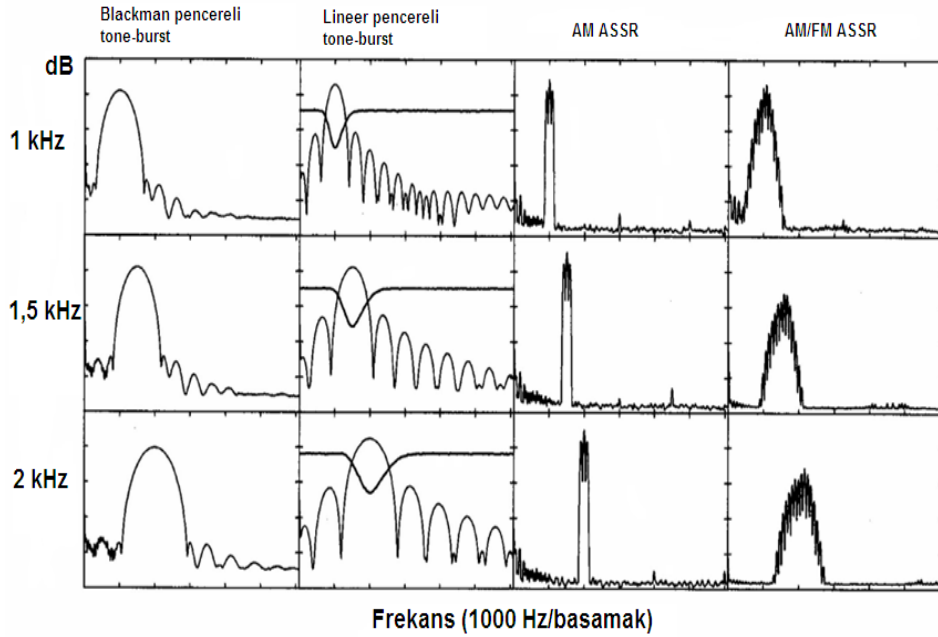
ASSR uyararı üzerindeki daha sonraki tartışmalar amplitüt ve frekans modülasyonlarının çeşitli kombinasyonlarda uygulanması üzerine yoğunlaşmaktadır. Cohen ve ark. (44), AM/FM tonların sadece AM tonlardan daha büyük amplitütlü bir yanıt ortaya çıkardığını bildirmiştir. Çünkü hem amplitüt hem de frekans modüle edilmiş tonlar baziler membranın daha geniş bir bölümünün uyarılmasına ve daha büyük bir yanıt oluşumuna neden olur. ASSR uyarısında amplitüt ve frekans modülasyonunun kombinasyonu multipl modülasyon (MM) olarak adlandırılır (49). MM'li bir tonla, sadece amplitüt modüle bir tona göre daha hızlı ve daha büyük bir yanıt elde edildiği bildirilmiştir (50). Son yıllarda ASSR ölçümlerinde AM için üssel (*exponential-AM²*) modülasyon kullanılmaktadır. Üssel modülasyon kullanımı, özellikle düşük ve yüksek frekanslarda oluşan yanıtın amplitüdünü artırarak gerçek eşiklere daha yakın yanıt elde edilmesini sağlar (47).

Modüle edilmiş saf sesler durgun durum yanıtı elde etmek için en uygun ve en yaygın kullanılan uyarılardır. Bu uyarılar klik veya tone-burst uyarılar gibi ilişkili frekanslarda spektral bozulma problemlerinden etkilenmez. (Resim 10). Bu nedenle ASSR uyarısının frekans özgüllüğü kısa süreli uyarılardan daha fazladır (36, 45).

Modülasyon EEG kaydında değişikliklere neden olur ve istatistiksel yöntemlerle bu değişikliklerin ne kadarının modülasyondan kaynaklandığı hesaplanabilir. Verilen TF ve modülasyon frekansının algılanması, test edilen TF'nin frekansında ve şiddetinde işitmenin olduğu anlamına gelir (36, 51, 52).

Ayrıca, ASSR yönteminde çeşitli uyarı veriliş şekilleri mevcuttur. Bunlar test

süresini kısaltarak uygulama kolaylığı getirir ve yüksek şiddetlerde eşik araştırmasına olanak sağlar. Tek TF'nin bir kulağa veya her iki kulağa aynı anda uygulanmasına tekli (*single*) uyaran yöntemi, birden çok frekansın farklı modülasyon oranlarıyla eş zamanlı uygulanmasına çoklu uyaran (*multipl*) yöntemi adı verilir. Tekli veya çoklu uyaranın her iki kulağı aynı anda test etmek amacıyla her iki kulağa eş zamanlı olarak verilmesine ise dikotik ASSR yöntemi adı verilir.



Resim 10: Uyarılmış potansiyel uyaranlarının amplitüt spektrumları. İlk iki sütunda farklı şekillerde pencerelenmiş tone-burst uyaranların, 3. ve 4. sütunlarda AM ve AM/FM ASSR uyaranlarının spektrumları görülmektedir. (Tiffany ve Johnson 2005'ten alınmıştır.)

ASSR yanıtları temel olarak; koklear nükleus, süperiyor oliver kompleks ve inferiyor kolikulus gibi beyinsapı yapılarından alınır (48, 54). Yani ABR'deki II.-V. dalgalarla aynı bölgelerde oluşan potansiyellerden kaynaklanır.

ASSR yanıtlarının ABR'de olduğu gibi görsel olarak araştırılması, üzerinde latans, amplitüt gibi ölçümler yapılması gerekmez. ASSR ölçümleri, ABR'de olduğu gibi zaman tabanlı olmayıp frekans tabanlıdır (45).

EEG yoluyla kaydedilen ASSR dalgaları faz uyumu (*phase coherence*) ve F testi yöntemleriyle araştırılır. Faz uyumu yönteminde, her bir EEG örneğinde modülasyon frekansıyla uyumlu elektriksel aktivitenin fazı kutupsal koordinat sisteminde vektör olarak görünür ve nicelenir. EEG örnekleri aynı fazdaysa, diğer bir deyimle fazlar uyumluysa

vektörler yaklaşık açılarla bir araya toplanır ve bu durum bir yanıtın olduğunu gösterir (53).

Lins ve Picton (43) tarafından bildirilen F testi yönteminde, ASSR uyarısına yanıt olarak oluşan zaman tabanlı kompleks dalga formları, hızlı Fourier dönüşümü (*Fast Fourier Transform*, FFT) yoluyla frekans tabanlı hale dönüştürülür. Yanıtların daha güvenilir bir hale getirilmesi için, komşu frekanslardaki gürültülerden istatistiksel yöntemler kullanılarak ayrıştırılır (52). F testi yöntemi, hem faza hem de amplitüde dayalı bir araştırma yaptığından, sadece faza dayalı olarak araştırma yapan faz-koherens protokolünden daha etkilidir (49).

3. MATERYAL VE METOT:

3.1. Hastalar:

Odyolojik değerlendirmeler, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tıp Fakültesi KBB Hastalıkları Anabilim Dalı Odyoloji Laboratuvarında, yaşları 2 ay ile 53 yıl arasında değişen, ileri-çok ileri derecede sensörinöral işitme kaybı olan, 30 kişilik hasta grubunun toplam 60 kulağında yapıldı. Bu değerlendirmelerin öncesinde hastalar tam bir KBB muayenesinden geçirildi. Çalışmaya alınan bütün hastaların otoskopik muayeneleri normal olarak değerlendirildi. Muayene sonrası bütün hastalara Interacustics Impedans Audiometer (AZ 26) cihazı ile timpanogram ve akustik refleks ölçümü, Otodynamics DP Echoport cihazı ile otoakustik emisyon (DPOAE ve TEOAE) testleri yapıldı. Daha sonraki bir seansta Navigator PRO cihazı (Bio-logic Inc, Mundelein, IL, ABD) ile AEP ve MASTER programları kullanılarak klik ABR, 500; 1000; 2000 ve 4000 Hz'lerde tone-burst ABR ve ASSR eşikleri ölçüldü.

3.2. Metotlar:

ABR ve ASSR kayıtlarının elde edilmesinde yüzeysel elektrotlar kullanıldı. Test yapılırken aktif elektrot alnın üst kısmına, referans elektrot ipsilateral mastoit korteks üzerine ve toprak elektrodu karşı taraf mastoit korteks üzerine yerleştirildi. Elektrot empedanslarının 5 K Ω 'un altına olmasına dikkat edildi (tüm kayıtlarımızda elektrot empedansı 1 K Ω 'du). Kayıt sırasında tüm olgularda sedasyon uygulandı. Hastalara sedasyon sağlamak amacıyla öncelikli olarak 2 mg/kg oral hidroklorid verildi. Bu şekilde fizyolojik uyku sağlanamayan hastalara daha sonraki seansta 0,1 mg/kg intranasal midazolam verildi. Midazolamla da başarısız olunan olgularda bir sonraki seansta genel anestezi uygulandı.

Klik ve tone-burst ABR ölçümleri için AEP programı kullanıldı. Her iki testte de uyaran alternan polariteli olacak şekilde ayarlandı. Öncelikle klik ABR testiyle hastaların işitme eşikleri belirlendi. Daha sonra sırasıyla tone-burst ABR ve ASSR testleri yapıldı. Hastalarımızın işitme kaybı ileri-çok ileri derecede olduğundan, teste genellikle cihazın maksimum çıkış düzeyinde uyaran kullanılarak başlandı. (Tablo 2). Bu düzeyde yanıt alınan olgularda 10 dB nHL'lik basamaklar halinde düşülerek tone-burst ABR eşikleri araştırıldı. Hiç yanıt alınamaması durumunda cihazın maksimum çıkış düzeyi o frekans için eşik seviyesi olarak kabul edildi.

Tablo 2: Tone-burst ABR ölçüm tekniği

Uyaran	Tone-burst
Pencereleme	Blackman
Uyaran oranı	27,7/ s
Maskeleme	Yok
Polarite	Bütün frekanslarda alternan
Çevirici	<i>Insert earphones</i>
Filtreleme	30 – 1500 Hz
Averajlama	2000
Elektrot yerleşimi	Her iki mastoit bölge ve alnın üst bölgesi
Maksimum uyaran şiddeti	500 Hz'te 95 dB nHL 1000 Hz'te 105 dB nHL 2000 Hz'te 105 dB nHL 4000 Hz'te 100 dB nHL

ASSR ölçümleri için MASTER programı kullanıldı. İleri derecede işitme kaybı olan hastalarda, dikotik multipl frekans tekniğiyle her iki kulağada eş zamanlı uyaran verilerek 0,5; 1; 2 ve 4 kHz'lerde ölçüm yapıldı. Çok ileri derecede işitme kayıplı hastalarda ise multipl frekans ASSR tekniğinde cihazın maksimum çıkış seviyesinin sınırlı (80 dB HL≤ şiddet düzeyi) olmasından dolayı tek frekans ASSR tekniği kullanıldı. Her iki kulağa eş zamanlı

olarak tekli frekans verilerek ölçüm yapıldı. AM/FM modülasyon frekansı tüm frekanslarda sol kulak için 67 Hz, sağ kulak için 69 Hz olacak şekilde uygulandı. Çoklu frekans ASSR tekniğinde ise 0,5; 1; 2 ve 4 kHz’te sağ kulak için sırasıyla 82; 84; 87 ve 89 Hz, sol kulak için sırasıyla 91; 94; 96 ve 99 Hz MF kullanıldı. Çevirici (*transducer*) olarak Bio-logic *insert earphones* kullanıldı. (Tablo 3)

Cihazın maksimum çıkışı 500; 2000 ve 4000 Hz için 115 dB HL, 1000 Hz için 120 dB HL idi. Çok ileri derecede işitme kayıplı hastalarda teste bu seviyelerden başlanıp, 10 dB HL düşülerek eşik seviyesi araştırıldı. Klik ve tone-burst ABR testlerinde olduğu gibi hiçbir yanıt alınamayan ölçümlerde cihazın maksimum ses şiddeti çıkış düzeyi eşik olarak kabul edildi. Yanıtın varlığı F testi yoluyla araştırıldı.

Tablo 3: ASSR ölçüm tekniği

Uyaran veriliş şekli	Dikotik, tekli veya çoklu frekans
Modülasyon	AM ² ve FM
AM/FM modülasyon oranı	Tek frekans ASSR tekniğinde; sol kulak için 67 Hz, sağ kulak için 69 Hz Çoklu frekans ASSR tekniğinde sırasıyla 0,5; 1; 2 ve 4 kHz’lerde sağ kulak için 82; 84; 87 ve 89 Hz, sol kulak için 91; 94; 96 ve 99 Hz
Çevirici	<i>Insert earphones</i>
Yanıt analizi	F testi
Maksimum uyaran şiddeti	500 Hz’te 115 dB HL 1000 Hz’te 120 dB HL 2000 Hz’te 115 dB HL 4000 Hz’te 115 dB HL

3.3. İstatistiksel analiz:

İstatistiksel analizler *SPSS 13.0 for Windows* bilgisayar programıyla yapıldı. Verilerin analizinde Spearman korelasyon testi kullanıldı. *P* değerinin 0,01’in altındaki sonuçlar

istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Klik ABR, dört frekansta (500; 1000; 2000 ve 4000 Hz) ölçülen tone-burst ABR ve ASSR eşikleri arasındaki korelasyon Spearman korelasyon katsayısı (r değeri) hesaplanarak saptandı. Spearman katsayısı 0–0,25 arasında ise korelasyon yok veya çok zayıf; 0,25–0,50 arasında ise zayıf-orta derecede korelasyon; 0,50–0,75 arasında ise iyi derecede korelasyon; 0,75–1,00 arasında ise çok iyi derecede korelasyon olduğu kabul edildi.

4. BULGULAR

Tone-burst ABR ve ASSR eşikleri arasında iyi bir korelasyon olduğu gözlemlendi. Spearman korelasyon katsayıları 500; 1000; 2000 ve 4000 Hz'ler için sırasıyla 0,612; 0,563; 0,564 ve 0,548 olarak bulundu ($p<0,01$). Klik ABR ile tüm frekanslardaki tone-burst ABR arasındaki korelasyon çok iyi derecedeydi. Klik ABR ile dört frekanstaki ASSR eşikleri arasındaki korelasyon ise iyi derecedeydi. (Tablo 4)

Toplam otuz hastanın altmış kulağında yapılan ölçümlerde yanıt alınamaması durumunda cihazın maksimum çıkış düzeyi eşik değeri olarak kabul edildi. Elde edilen eşik değeri ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 4: Klik ABR, tone-burst ABR ve ASSR eşikleri arasındaki korelasyon katsayıları

Uyaran	ASSR (500 Hz)	ASSR (1000 Hz)	ASSR (2000 Hz)	ASSR (4000 Hz)	Klik
Tone-burst (500 Hz)	0,612	0,614	0,708	0,658	0,999
Tone-burst (1000 Hz)	0,628	0,563	0,612	0,560	0,907
Tone-burst (2000 Hz)	0,557	0,562	0,564	0,588	0,875
Tone-burst (4000 Hz)	0,486	0,556	0,601	0,548	0,910
Klik	0,612	0,614	0,706	0,658	1,000

Tablo 4'te görülen sonuçları biraz açacak olursak: 500 Hz'te tone-burst ABR ile ASSR eşikleri arasındaki r değeri 0,612; tone-burst ABR ile klik ABR arasındaki r değeri 0,999 olarak bulundu. Ayrıca bu frekansta ASSR eşikleriyle klik ABR eşikleri arasındaki r değeri 0,612 olarak bulundu.

1000 Hz'te tone-burst ABR ile ASSR eşikleri arasındaki r değeri 0,563 olarak bulundu. Bu frekanstaki tone-burst ABR ile klik ABR arasındaki r değeri 0,907; 1000 Hz ASSR eşikleriyle klik ABR eşikleri arasındaki r değeri 0,614 olarak bulundu.

2000 Hz'te tone-burst ABR ile ASSR eşikleri arasındaki r değeri 0,564; bu frekanstaki tone-burst ABR ile klik ABR arasındaki r değeri 0,875 olarak bulundu. Ayrıca 2000 Hz ASSR eşikleriyle klik ABR eşikleri arasındaki r değeri 0,706 olarak bulundu.

4000 Hz'te tone-burst ABR ile ASSR eşikleri arasındaki r değeri 0,548 olarak bulundu. Ayrıca 4000 Hz tone-burst ABR eşikleriyle klik ABR eşikleri arasındaki r değeri 0,910, 4000 Hz ASSR eşikleriyle klik ABR eşikleri arasındaki r değeri 0,658 olarak bulundu.

Elde edilen bu sonuçlar; tüm frekanslarda tone-burst ABR eşikleriyle klik ABR eşikleri arasında çok iyi derecede, tüm frekanslarda ASSR ile klik ABR arasında iyi derecede ve tüm frekanslarda tone-burst ABR eşikleriyle yine tüm frekanslarda ASSR eşikleri arasında iyi derecede bir korelasyon olduğunu göstermektedir.

Tablo 5: Testlerde elde edilen eşik değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları (birim: klik ve tone-burst ABR için dB nHL, ASSR için dB HL)

	Ortalama	Alt ve üst sınırlar	Standart sapma
Tone-burst ABR (500 Hz)	92	70 – 95	7,9
Tone-burst ABR (1000 Hz)	100	70 – 105	12,1
Tone-burst ABR (2000 Hz)	102	70 – 105	9,3
Tone-burst ABR (4000 Hz)	97	60 – 100	8,8
ASSR (500 Hz)	107	80 – 115	12,2
ASSR (1000 Hz)	110	70 – 120	13,9
ASSR (2000 Hz)	109	80 – 115	11,6
ASSR (4000 Hz)	109	70 – 115	11,6
Klik ABR	92	89 – 94	8,9

5. TARTIŞMA

Klasik odyometri testleri, hastanın verdiği yanıtlarla yapıldığı için subjektiftir. Bu nedenle yenidoğanlarda, küçük çocuklarda, kooperasyon kurulamayan hastalarda ve simülasyon yapanlarda bu yöntemle geçerli ve güvenilir bir sonuç elde edilemez. Stapes refleksi, OAE ve çeşitli işitsel uyarılmış yanıtlar gibi testler ise işitmenin objektif olarak değerlendirilmesine olanak tanır.

Klasik yöntemlerle işitmesi değerlendirilemeyen hastalar içerisinde en önemli grubu yenidoğanlar ve küçük çocuklar oluşturmaktadır. Bu yaş grubundaki işitme kayıplarının rehabilitasyonunda erken müdahale çok önemlidir. Dil gelişiminin başarılı bir şekilde tamamlanması işitme fonksiyonunun yeterli olmasına bağlıdır. Normal gelişim gösteren bir bebekte işitme yollarının matürasyonu ilk 4 ay içinde tamamlanır ve takip eden aylarda dil yeteneği gelişmeye başlar (45, 55). Bu nedenle işitme durumunun ilk 6 ay içinde doğru bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. İşitme kayıplı çocuklarda işitme kaybı tipinin, derecesinin ve konfigürasyonunun belirlenmesi büyük önem taşır (56). Bu da ancak, işitme eşiklerinin frekansa özgü olarak elde edilmesiyle sağlanabilir.

Frekansa özgü eşik bilgilerini elde etmenin en kestirme yolu frekansa özgü uyaran kullanmaktır. Bu amaçla tek bir saf ses içeren uyanlarla yapılan tone-burst ABR testi kullanılabilir. Ayrıca, frekans özgüllüğü daha yüksek olan ve aynı anda birden fazla frekansı test etme imkanı veren ASSR yöntemi de kullanılabilir. ASSR yönteminde amplitüdü ve/veya frekansı modüle edilmiş saf sesler kullanılır. Tone-burst ABR ve ASSR testlerinde kullanılan uyanlar son derece farklıdır. Rob ve ark. (57) klik, tone-burst ABR ve ASSR ölçümünde kullanılan çeşitli uyanların özelliklerini karşılaştırdığı çalışmada, ASSR ölçümünde kullanılan modüle edilmiş sürekli sinüzoid seslerde spektral saçılma problemi olmadığı için frekans özgüllüğünün tone-burst uyarandan daha fazla olduğu bildirmiştir. Bu nedenle, ASSR yöntemi tone-burst ABR'ye göre daha frekansa özgüdür.

Tone-burst ABR'nin normal işiten bireylerde, çeşitli frekanslarda eşik belirlemedeki doğruluğunu araştırmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Stapells (33) yaptığı metaanalizde tone-burst ABR eşik düzeylerini; 500 Hz için 13 (\pm 11) dB nHL, 1000 Hz için 10 (\pm 12) dB nHL, 2000 Hz için 8 (\pm 10) dB nHL ve 4000 Hz için 5 (\pm 13) dB nHL olarak bildirmiştir. İşitmesi normal veya normale yakın olan kişilerde tone-burst ABR yöntemi kullanılarak çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, çok ileri derecede işitme kaybı

olanlarda bu yöntemle yapılan çalışmalar kısıtlıdır. İşitme bozukluğu olan yetişkinlerde tone-burst ABR yöntemiyle yapılan eşik tahmininde, davranışsal eşiklere göre 15 dB nHL civarında bir sapma olabileceği bildirilmiştir (58, 59, 60). Bu sapma, yenidoğanlarda ve küçük çocuklarda yaklaşık 10 dB nHL daha fazladır. Ayrıca bazı çalışmalarda, düşük frekanslarda tone-burst ABR'yle frekansa özgü eşik tahmininin güvenilirliğinin daha az olduğu bildirilmiştir (58, 59, 60).

Tone-burst ABR'ye alternatif, frekansa özgü bilgi veren diğer bir yöntem ise ASSR testidir. ASSR'de frekans özgülüğünü artırmak ve test yöntemini kolaylaştırmak amacıyla uyararla ilgili farklı modülasyon uygulamaları ve veriliş şekilleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi, tekli/çoklu uyarın kullanılmasıdır. Tekli uyarında TF olarak, 500; 1000; 2000 ve 4000 Hz uyarılardan biri verilir. Çoklu uyarında ise, dört TF farklı modülasyon oranlarıyla aynı anda verilir. Diğer gelişme ise iki kulağın aynı anda değerlendirilmesini sağlayan dikotik test yöntemidir. Tekli veya çoklu olarak uygulanabilen dikotik ASSR yönteminde, aynı frekanstaki TF (veya TF'ler), farklı modülasyon oranlarıyla iki kulağa aynı anda verilir, bu şekilde sağ ve sol kulaklara ait durgun durum yanıtları aynı anda değerlendirilebilir. Lins ve Picton (43) tarafından tanımlanan dikotik çoklu ASSR yönteminde, aynı anda her iki kulağın dört ayrı frekanstaki davranışı test edilebilir. Dikotik çoklu uyarın ASSR tekniğinin en önemli avantajı test süresini oldukça kısaltmasıdır (61).

Dikotik çoklu uyarın kullanılarak yapılan ASSR testi, çok ileri işitme kayıplarında uygun değildir (38, 41). Bu hastalarda, koklear implant adaylarındaki rezidüel işitmeyi değerlendirebilmek için geliştirilen tekli uyarın tekniği kullanılmalıdır (26). Rance ve ark. (62), çok ileri derecede işitme kayıplı çocuklarda, ASSR eşikleri ile saf ses eşikleri arasındaki sapmanın 10 ile 20 dB HL arasında olduğunu bildirmişlerdir. Biz çalışmamızda çok ileri derecede işitme kayıplı hastalarımızda tekli uyarın ASSR tekniğini, ileri derecede işitme kaybı bulunan hastalarda çoklu uyarın ASSR tekniğini kullandık.

ASSR tekniğinin, büyük çocuklarda ve yetişkinlerde saf ses eşiklerinin tahmininde güvenilir bir yöntem olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (63, 64). Rance ve ark. (46), normal işiten yetişkinlerde saf ses eşikleri ile ASSR eşikleri arasındaki korelasyonun çok iyi derecede olduğunu bildirmişlerdir. Herdman ve Stapells (65), normal işiten yetişkinlerde ASSR eşiklerini 500 Hz için 16 dB HL, 1000 Hz için 19 dB HL, 2000 Hz için 15 dB HL, 4000 Hz için 14 dB HL olarak saptamıştır. Lins ve ark. (45), normal işiten yetişkinlerde ortalama ASSR eşiklerini; 500 Hz için 14 (± 11) dB HL, 1000 Hz için 12 (± 11) dB HL, 2000

Hz için 11 (± 8) dB HL, 4000 Hz için 13 (± 11) dB HL rapor etmiştir.

Yeni doğanlarda işitme eşikleri hem ABR hemde ASSR uygulanarak tahmin edilebilir. Rickards ve ark. (26)'nın infantlarda yaptığı bir çalışmada; 337 yenidoğana 70–100 Hz AM ve FM uygulanan üç frekansta ASSR'nin ortalama eşiklerini belirlemişlerdir. Klik ABR ve ASSR eşikleri arasında çok iyi derecede korelasyon olduğunu bulmuşlardır. Stapells ve ark. (66) normal yenidoğanlarda ortalama ASSR eşiklerini; 500 Hz için 36 dB HL, 1000 Hz için 30 dB HL, 2000 Hz için 24 dB HL, 4000 Hz için 14 dB HL bulduklarını bildirmişlerdir. Lins ve ark. (26) normal yenidoğanlarda; 500 Hz için 34 dB HL, 1000 Hz için 20 dB HL, 2000 Hz için 18 dB HL ve 4000 Hz için 24 dB HL ortalama ASSR eşiklerini bildirmişlerdir (45). Ancak bu ASSR eşikleri işitmesinin normal olduğu düşünülen yenidoğanlarda normal değerlerin üzerindedir. Bunun sebebi yenidoğanlarda nöral matürasyonun eksik olmasına bağlanmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, ASSR ölçümünde güvenilirliğin işitme kaybının konfigürasyonundan etkilenmediği gösterilmiştir (67, 68, 69). Bununla birlikte ASSR testinin, işitme kayıplı kişilerin eşik tahmininde, saf ses odyogramın yerini alabilecek kadar güvenilir olduğunu gösteren çalışmalar oldukça azdır. Bazı çalışmalarda, işitme kaybı derecesi azaldıkça ASSR ve saf ses eşikler arasında 4–34 dB HL gibi daha geniş aralıkta sapma tespit edilmiştir (61, 70). Bu sonuçlardaki farklılıklar normal işiten kişilerdeki fizyolojik rekrütmana bağlanmıştır. İşitme kayıplı kişilerde ASSR eşiklerinin davranışsal eşiklere çok daha yakın olması bunu desteklemektedir (71). Özellikle 60 dB ve üzerindeki eşikler için ASSR eşikleriyle davranışsal eşikler arasındaki uyumun arttığı bazı çalışmalarda bildirilmiştir (45, 69). Bu çalışmalarda ileri ve çok ileri derecede işitme kayıplı kişilerde ASSR eşikleriyle davranışsal eşikler arasındaki fark 2–8 dB HL kadar düşük bulunmuştur (45). Ayrıca 500 Hz'te davranışsal eşiklerle ASSR eşikleri arasındaki farklılık yüksek frekanslara göre daha fazladır (45, 69, 70, 71). Çalışmamızda, hastalarımızın çoğunda çeşitli nedenlerle saf ses odyometrisi yapılamadığı için, gerek tone-burst ABR eşikleriyle ve gerekse ASSR eşikleriyle saf ses eşikleri arasında karşılaştırma yapılmamıştır. Klik ABR eşikleriyle tüm frekanslarda tone-burst ABR arasındaki uyumu çok iyi derecede bulmamıza karşın, klik ABR eşikleriyle tüm frekanslarda ASSR eşikleri arasındaki uyumu iyi derecede bulduk. Bunu, yanıt alınamayan frekanslarda eşik değeri olarak cihazın en yüksek çıkış gücünün kabul edilmesine ve çıkış gücünün ASSR yönteminde daha yüksek olmasına bağlıyoruz.

Çeşitli yaş gruplarını kapsayan yetişkinler ve çocuklarda ASSR'yle klik ABR

eşiklerini karşılaştırarak her iki testte elde edilen eşiklerin yüksek derecede uyumlu olduğunu gösteren birçok çalışma vardır (32, 37, 45, 72). Rance ve Rickards (64), normal işiten yenidoğanlarda ASSR eşiklerinin ortalama 30–40 dB HL arasında olduğunu bildirmiştir. John ve ark. (73) tarafından yapılan bir başka çalışmada, hayatın ilk birkaç gününde 500 Hz stimülüs için ortalama ASSR eşığının yaklaşık 40 dB HL olduğu, diğer üç frekans için ortalama eşiklerin 10–15 dB HL daha iyi olduğu bildirilmiştir.

Özellikle işitme kayıplı hastalarda, ASSR ve tone-burst ABR eşiklerini karşılaştıran çalışma sayısı sınırlıdır. Johnson ve Brown (40), işitme kayıplı erişkinlerde tone-burst ABR eşikleriyle ASSR eşiklerini karşılaştırmış, 500; 1000 ve 2000 Hz’lerde tone-burst ABR ve ASSR eşikleri arasında çok iyi derecede korelasyon elde ettiklerini bildirmişlerdir. Aoyagi ve ark. (74)’nın, 3–15 yaş arasındaki 125 çocuk üzerinde yaptığı çalışmada; 1000 Hz’te ASSR, tone-burst ABR ve davranış odyometrisi eşiklerini karşılaştırmışlar, ASSR eşikleriyle davranışsal eşikler arasındaki korelasyonu, tone-burst ABR’yle davranışsal eşikler arasındaki korelasyondan yüksek bulmuşlardır. Çalışmamızda, ASSR ve tone-burst ABR testlerinde elde edilen eşik düzeyleri arasında iyi derecede bir korelasyon olduğunu gözledik. Her iki test arasındaki korelasyonun çok iyi derecede olması gerekirken testlerin maksimum çıkışlarının farklı olması ve yanıt alınamayan hastalarda eşik değeri olarak maksimum çıkış gücünün alınması nedeniyle korelasyonun beklenenden daha düşük çıkmasına yol açtığını düşünüyoruz.

6. SONUÇ

İşitme engelli çocuklarda uygulanan rehabilitasyon çalışmasının başarılı olması için işitme kaybı konfigürasyonunun doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu da tone-burst ABR veya ASSR testi gibi yöntemler kullanılarak frekansa özgü eşik belirlenmesiyle mümkün olur. Tone-burst ABR’de maksimum şiddet çıkışı sınırlı olduğu için çok ileri derecede işitme kaybında rezidüel işitme varlığı araştırılmaz, bu hastalarda ASSR testi çok daha yararlıdır.

İşitme kayıplarının düzeyini ve konfigürasyonunu ortaya koymak için odyolojik testlerin hiç biri tek başına kullanılmamalıdır. Tüm odyolojik testler bir batarya oluşturur, birinin eksikliğini diğeri tamamlar. Bu nedenle mümkünse tone-burst ABR ve ASSR dahil bütün testler bir arada yapılmalıdır. Frekansa özgü bilgi elde ederken test süresini kısaltmak da amaçlanıyorsa, ileri ve çok ileri derecedeki işitme kayıplarında ASSR, daha az düzeydeki işitme kayıplarında tone-burst ABR tercih edilmelidir.

7. KAYNAKLAR

1. Stapells DR, Picton TW, Durieux-Smith A. Electrophysiologic measures of frequency-specific auditory function. (Eds Jacobson JT). Principles and applications in auditory evoked potentials, 1994, pp. 251–283.
2. Brookhouser PE, Gorga MP, Kelly WJ. Auditory brainstem response results as predictors of behavioral auditory thresholds in severe and profound hearing impairment. Laryngoscope 1990; 10: 803–10.
3. Kuwada S, Batra R, Maher VL. Scalp potentials of normal and hearing-impaired subjects in response to sinusoidally amplitude-modulated tones. Hear Res 1986; 21: 179–192.
4. Guyton & Hall: Tıbbi Fizyoloji, 11. basım, Nobel tıp kitabevi, İstanbul, 2006, 652–660.
5. Santi PA, Mancini P: Cochlear anatomy and central auditory pathways. (Eds Cummings CW). Otolaryngology-Head and Neck Surgery Vol.4, St. Louis Missouri, Mosby Year Book Inc. 1993: 2497–2524.
6. Wiederhold ML. Physiology of the Olivocochlear System. (Eds Altschuler RA, Hoffman DW, Bobbin RP). Neurobiology of Hearing: The Cochlea. Raven Press, New York, 1986, pp 349–368.
7. Bohmer A. Hydrostatic Pressure in the Inner Ear Fluid Compartments and its Effects on Inner Ear Function. Acta Otolaryngol (Stockh) 1993: 507; 3–24.
8. Brownell WE. Outer Hair Cell Electromotility and Otoacoustic Emissions. Ear Hear 1990;11: 82–92.
9. Schwartz AM. Auditory Nerve and Spiral Ganglion Cells: Morphology and Organization. (Eds Altschular DW, Hoffman DW, Bobbin RP). Neurobiology of Hearing: The Cochlea, Raven Press, New York, 1986, pp 271–280.
10. John HM, Waren YA: Anatomy and physiology of hearing. (Eds Bailey BJ). Otolaryngology-Head and Neck Surgery. Vol.2, Philadelphia, J.B. Lippincott Company, 1993: 1441–1461.
11. Wright A: Anatomy and ultrastructure of the human ear. (Eds In: Kerr AG, Gleeson M). Scott-Brown's Otolaryngology 6th ed. Vol.1 London: Butterworth-Heinemann Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1997: ch.1, 1–50.
12. Donaldson JA, Duckert LG : Anatomy of the ears. (Eds Paparella MM, Shumrick DA) Otolaryngology Vol 1, Philadelphia: WB. Saunders Company, 1991: ch 2, 23–58.
13. O. Kuran: Sistemik Anatomi. İstanbul, Filiz Kitabevi, 1983: 759–788.

14. Akyıldız AN: Kulak Hastalıkları ve Mikro Cerrahisi I.cilt, Ankara, Bilimsel Tıp Yayınevi, 1998.
15. Aslan A, Belgin E. Kulak anatomisi ve işitme fizyolojisi. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi. (Eds Koç C). Ankara, Güneş Kitabevi, 2004; 45–71.
16. Kemp DT. Stimulated Acoustic Emissions from Within the Human Auditory System. *Journal of Acoustic Society of America* 1978; 64: 1386–1391.
17. Austin DF. Kulağın anatomisi. Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi. (Eds Ballenger JJ, Snow JB), (ç.ed Hafız G). Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul, 2000; 838–857.
18. Lonsbury-Martin BL. İntroduction to Otoacoustic Emissions. *American Journal of Otology*. 1994; 15: Suppl 1: 1–3.
19. Probst R. Harris FP. Hauser R. Clinical Monitoring Using Otoacoustic Emissions. *British Journal of Audiology*. 1993; 27, 85–90.
20. Kraus N, McGee T. Electrophysiology of the human auditory system. (Eds Popper AN, Fay RR). *The mammalian auditory pathway: neurophysiology*. Springer, New York, pp 335–403, 1992.
21. Harris FP, Lonsbury-Martin BL, Stegner BB, Coats AC, Martin GK. Acoustic Distortion Products in Humans: Systemic Changes in Amplitudes as a function of f2/f1 Ratio. *Journal of Acoustic Society of America*. 1989; 85: 220–298.
22. Leonard G, Smurzynski J, Jung MD, Kim DO. Evaluation of distortion product otoacoustic emissions as a basis for the objective clinical assessment of cochlear function. *Adv Audiol* 1990; 7: 139–148.
23. Probst R, Hauser R. Distortion product otoacoustic emissions in normal and hearing impaired ears. *Am J Otolaryngol*. 1990. 11: 236–243.
24. Stenklev NC, Laukli E. Transient Evoked Otoacoustic Emissions in the Elderly. *Int. J. Audiology*. 2003; 4: 87–94.
25. Norton SJ. Cochlear Function and Otoacoustic Emissions. *Semin. Hearing*. 1992; 13: 1–14.
26. Rickards FW, Tan LE, Cohen, LT, Wilson OJ, Drew JH, Clark GM. Auditory steady state evoked potentials in newborns. *British Journal of Audiology*. 1994; 28: 327–337.
27. Muş N. İşitsel Beyinsapı Cevapları “Temel Bilgiler ve Klinik Uygulamaları” ODTÜ matbaası, Ankara, 1996.
28. Gorga MP, Reiland JK, Beauchaine KA and Jesteadt W. Auditory brainstem responses to tone bursts in normal-hearing subjects. *Journal of Speech and Hearing Research* . 1988; 31: 87–97.

29. Gorga MP, Thornton AR. The choice of stimuli for ABR measurements. *Ear and Hearing* 1989; 10: 217–230.
30. Burkhard MD, Sachs RM. Anthropometric maniking for acoustic research. *Journal of Acoustical Society of America* 1975; 58, 214–222.
31. Purdy SC, Abbas PJ. Auditory brainstem response audiometry using linearly and Blackman-gated tonebursts. *ASHA*. (1989); 31: 115–116.
32. Stapells DR. Frequency-specific evoked potential audiometry in infants. (Eds Seewald RC). *A sound foundation through early amplification: Proceedings of an international conference*. Stäfa, Switzerland: Phonak AG. 2000: pp. 13–31)
33. Stapells DR. Treshold estimation by tone-evoked auditory brainstem response: a literature metaanalysis. *J Speech Lang Pathol Audiol*. 2000; 24: 74–83.
34. Hall JW, Hackett T, Clymer M. *Diagnostic Audiology and Hearing Aids*. (Eds Ballenger JJ). *Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*. 15.th edition, pp 953–73.
35. John MS, Picton TW. MASTER: a Windows program for recording multiple auditory steady-state responses. *Computer Methods and Programs in Biomed*. 2000a; 61, 125–50.
36. Tiffany A. Johnson and Carolyn J. Brown. Threshold Prediction Using the Auditory Steady-State Response and the Tone Burst Auditory Brain Stem Response: A Within-Subject Comparison. *Ear & Hearing* 2005; 26: 559–576.
37. Cone-Wesson B, Dowell RC, Tomlin D, Rance G, Ming WJ. The auditory steady-state response: Comparisons with the auditory brainstem response. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2002; 13, 173–187.
38. Rance G, Rickards FW, Briggs R, Cone-Wesson B. Assessment of Hearing in Infants with Moderate-Profound Impairment: the University of Melbourne Experience with Steady-State Evoked Potentials. Presented at the 17th Biennial Symposium of the International Evoked Response Audiometry Study Group, University of British Columbia, Vancouver, BC, July, 2001.
39. Vander Werff KR, Rickards FW, Tan LE, Cohen LT et al. ASSR and ABR Thresholds/Auditory steady-state evoked potentials in newborns. *Br J Audiol*. 1994; 28: 327–337.
40. Johnson TA, Brown CJ. Threshold prediction using the auditory steady-state response and the tone burst auditory brain stem response: a within-subject comparison. *Ear Hear*. 2005; 26: 559-76.
41. Perez-Abalo MC, Savio G, Torres A, Martin V, Rodriguez E, Galan L. Steady state responses to multiple amplitude-modulated tones: an optimized method to test frequency-

specific thresholds in hearing-impaired children and normal-hearing subjects. *Ear and Hearing*. 2001; 22: 200–211.

42. Galambos R, Makeig S, Talmachoff PJ. A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp. 1981; 78;4: 2643–47.

43. Lins OG, Picton TW. Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1995; 96: 420–432.

44. Cohen LT, Rickards FW, Clark GM. A comparison of steady-state evoked potentials to modulated tones in awake and sleeping humans. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1991; 90, 2467–2479.

45. Lins OG, Picton TW, Boucher BL, Durieux-Smith A, Champagne SC, Moran LM, Perez-Abalo MC, Martin V, Savio G. Frequency-specific audiometry using steady state responses. *Ear & Hearing*. 1996; 17: 81–96.

46. Rance G, Rickards FW, Cohen LT, De Vidi S, Clark GM. Automated prediction of hearing thresholds in sleeping subjects using auditory steady-state evoked potentials. *Ear & Hearing*. 1995; 16: 499–507.

47. M. Sasha John, Andrew Dimitrijevic, Terence W. Picton. Auditory Steady-State Responses to Exponential Modulation Envelopes. *Ear and Hearing*. 2002; 23: 106–117.

48. Herdman AT, Picton TW, Stapells DR 2001: Place specificity of auditory steady state responses. Poster presentation. International Evoked Response Audiometry Study Group (IERASG), Vancouver, 2001.

49. Aoyagi M, Kiren, T, Furuse H, Fuse T, Suzuki Y, Yokota S, Koike Y. Pure-tone threshold prediction by 80-Hz amplitude-modulation following response. *Acta Oto-Laryngologica Supplementum*. 1994; 511: 7–14.

50. John MS, Lins OG, Boucher BL, Picton TW. Multiple Auditory steady-state Responses (MASTER): Stimulus and recording parameters. *Audiology*. 1998; 37: 59–82.

51. John MS, Purcell DW, Dimitrijevic A, Picton TW. Advantages and caveats when recording steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. *J Am Acad Audiol*. 2002; 13: 246–59.

52. John MS, Picton TW. Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phase and latency measurements. *Hearing Research*. 2000; 141: 57–79.

53. Sininger YS, Cone-Wesson B. Threshold prediction using auditory brainstem response and steady-state evoked potentials with infants and young children. (Eds Katz J). *Handbook of Clinical Audiology*. 5th Edition, Lippincott, Williams and Wilkins, United States of America: Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2002, pp. 298–322.

- 54.** Kuwada S, Anderson JS, Batra R, Fitzpatrick DC, Teissier N, D'Angelo WR: Sources of the scalp-recorded amplitude-modulation following response. *J Am Acad Audiol* 2002; 13: 188–204.
- 55.** LJ Hood. *Clinical Applications of the Auditory Brainstem Response*, Singular Publishing Group Inc., San Diego, London, 1998; pp. 112–142.
- 56.** Collet L, Gallego S, Durrant JD, Truy E. Electrically evoked multiple auditory steady-state responses recorded in digisonic cochlear-implanted patients. Oral presentation. International Evoked Response Audiometry Study Group (IERASG). Vancouver, 2001
- 57.** Rob B, Borgmann C, Draganova R, Roberts LE and Pantev C. High-precision magnetoencephalographic study of human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones. *Journal of the Acoustic Society of America*. 2000; 108(2): 679–691.
- 58.** Gorga MP, Kaminski JR, Beauchaine KA, Jesteadt W. Auditory brainstem responses to tone bursts in normally hearing subjects. *J Speech Hear Res*. (1988); 31: 87–97.
- 59.** Levi EC, Folsom RC, Dobie RA. Coherence analysis of envelope-following responses (EFRs) and frequency-following responses (FFRs) in infants and adults. *Hear Res*. 1995; 89: 21–27.
- 60.** Munnerley GM, Anne Graville K, Purdy C. Suzanne, Keith WJ. Frequency-specific Brainstem responses Relationship to Behavioural Treshold in Cohlear-Ímpaired Adults. *Audiology* 1991; 30: 25–32.
- 61.** Dimitrijevic A, John MS, Van Roon P, Purcell DW, Adamonist J, Ostroff J, Nedzelski JM, Picton TW. Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol*. 2002; 13: 205–224.
- 62.** Rance G, Dowell RC, Rickards FW et al. Steady state evoked potential and behavioral hearing thresholds in a group of children with absent click-evoked auditory brain stem response. *Ear Hear*. 1998; 19: 48–61.
- 63.** Dimitrijevic A, John MS, Van Roon P and Picton TW. Human auditory steady-state responses to tones independently modulated in both frequency and amplitude. *Ear & Hearing*. 2001; 22(2): 100–111.
- 64.** Rance G, Rickards FW. Prediction of hearing threshold in infants using auditory steady-state evoked potentials. *Journal of the American Academy of Audiology*, 2002; 13, 236–245.

- 65.** Herdman AT, Stapells DR. Thresholds determined using the monotic and dichotic multiple auditory steady-state response technique in normal hearing subjects. *Scandinavian Audiology*, 2001; 30(1): 41–49.
- 66.** Stapells DR, Herdman A, Small SA, Dimitrijevic A, Hatton J. Current status of auditory steady-state responses for estimating the infant’s audiogram. (Eds Seewald RC & Bamford J). *A Sound Foundation Through Early Amplification*. Basel: Phonac AG. 2005; 43–59.
- 67.** Vander Werff KR, Brown CJ. Effect of audiometric configuration on threshold and suprathreshold auditory steady-state responses. *Ear Hear*. 2005; 26: 310–326.
- 68.** Perez-Abalo MC, Savio G, Torres A. Steady state responses to multipl amplitude-modulated tones: an optimized method to test frequency-spesisific. *Ear Hear*. 2001;22: 200–11.
- 69.** Rance G, Briggs RJS. Assessment of hearing in infants with moderate to profound impairment: the Melbourne experience with auditory steady-state evoked potential testing. *Ann Otol, Rhinol Laryngol*. 2002; 111 Suppl 189: 22–28.
- 70.** Picton TW, John MS, Dimitrijevic A, Purcell D. Human auditory steady-state responses. *Int J Audiol*. 2003; 42: 177–219.
- 71.** Picton TW, Dimitrijevic A, Perez-Abalo M, Van Roon P. Estimating audiometric thresholds using auditory steady-state responses. *J Am Acad Audiol*. 2005; 16: 140–156.
- 72.** Johnson TA, Brown CJ. Threshold prediction using the auditory steady-state response and the tone burst auditory brainstem response: a within-subject comparison. *Ear Hear*. 2005; 26: 559–576.
- 73.** John MS, Brown DK, Muir PJ, Picton TW. Recording steady-state responses in young infants. *Ear and Hearing*, 2004; 25, 539–553.
- 74.** Aoyagi M, Suzuki Y, Yokota M, Furuse H, Watanabe T, Ito T. Reliability of 80-Hz amplitude-modulation-following response detected by phase coherence. *Audiology & Neurootology*, 1999; 4: 28–37.