



KTO KARATAY  
ÜNİVERSİTESİ

# SAĞLIK BİLİMLERİ DERGİSİ

KTO Karatay University Journal of Health Sciences

KTOKÜ Sağlık Bilimleri Dergimiz 1. Sayısı Ulusal Egemenliğin 100. Yılına ithaf olunur. KTOKÜSB-D

• Cilt/Vol:1 • Sayı/No:1 • Nisan/April 2020



Cilt 1 (2020) Sayı 3 1-10

## Odyoloji Biliminde Otoakustik Emisyonlar ve Klinik Kullanımı

Muhammed PINAR<sup>1</sup> İclal ŞAN<sup>1</sup>

### Özet

Otoakustik emisyonlar (OAEs), kokleada bulunan dış tüy hücrelerinin hareketi sonucunda oluşan, dış kulak kanalında kaydedilebilen ve koklea tarafından üretilen küçük şiddetteki ses dalgalarıdır. Bu çalışma; odyoloji bilim alanı içeriğinde otoakustik emisyonların özellikleri, klinik kullanımı ve önemi konularında bilgi sunmak amacıyla hazırlanmıştır.

Odyolojik test bataryasında yer alan otoakustik emisyon testi objektif bilgi verir ve odyoloji alanında kullanılan “cross-check” (birbirinden bağımsız testlerin birbirini doğrulaması veya elde edilen bulguları doğrulamaması) prensibi ile doğrulama yapılarak, işitmenin ve işitme kaybının doğru bir şekilde değerlendirilmesi yapılabilir. Otoakustik emisyonlar prenöral cevaplar olduğu için sensörinöral işitme kaybının sensör veya nöral ayrımı yapılabilir. Klinik kullanımda iki tip otoakustik emisyon vardır. İlki spontan otoakustik emisyonlar (SOAEs), ikincisi uyarılmış otoakustik emisyonlar (EOAEs)’dir. Uyarılmış otoakustik emisyonların; stimulus frekans otoakustik emisyonlar (SFOAEs), geçici uyarılmış otoakustik emisyonlar (TEOAEs) ve bozulma ürünü otoakustik emisyonlar (DPOAEs) olmak üzere üç alt tipi bulunmaktadır. SFOAE’ların, SOAE’lar gibi klinik kullanımları sınırlıdır. Klinikte TEOAE’lar ve DPOAE’lar sıklıkla kullanılmaktadır. OAE’lar işitme kaybı derecesini hakkında bilgi vermez ve dış ve/veya orta kulakta bulunan bir patolojiden etkilenir. OAE’lar yenidoğan işitme taramasında, pediatrik değerlendirmede, meniere hastalığında, ani işitme kayıplarında, koklear işlevin izlenmesi gibi alanlarda işitmenin değerlendirmesine olanak sağlar. OAE alanında son yıllarda yapılan çalışmalar; medial olivocochlear reflex ile OAE’ların ilişkisi, orta kulak patolojilerinin yüksek frekans DPOAE I/O fonksiyonuna etkisi, yenidoğan işitme taramasında yüksek frekans otoakustik emisyonların kullanımı üzerine odaklanmıştır.

### Anahtar Kelimeler

Otoakustik Emisyonlar  
Koklea  
Dış Tüy Hücreleri  
İşitme Kaybı  
Prenöral Cevap

### Makale Hakkında

Gönderim Tarihi: 08.06.2020

Kabul Tarihi: 08.09.2020

E-Yayın Tarihi: 21.12.2020

## Otoacoustic Emissions and Clinical Applications in Audiology Science

### Abstract

Otoacoustic emissions (OAEs) are small intensity sound waves produced by the cochlea, which can be recorded in the outer ear canal as a result of the movement of the outer hair cells in the cochlea. This study was prepared in order to provide a scientific background on the properties of otoacoustic emissions, their clinical use and importance in the content of audiology field.

The autoacoustic emission test contained in the audiological test battery provides objective information and the correct assessment of hearing and hearing loss can be done by verifying with the cross-check principle used in the field of audiology (independent tests confirming each other or not confirming the findings obtained). Because otoacoustic emissions are preneural responses, sensor or neural

### Keywords

Otoacoustic Emissions  
Cochlea  
Outer Hair Cells  
Hearing Loss  
Preneural Response

### Article Info

Received: 08.06.2020

Accepted: 08.09.2020

Online Published:21.12.2020

<sup>1</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Sağlık Bilimleri YO, Odyoloji Lisansüstü Öğrencisi, Konya, Türkiye, [muhammedpinar@gmail.com](mailto:muhammedpinar@gmail.com)

<sup>1</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Sağlık Bilimleri YO, Odyoloji Bölümü, Konya, Türkiye, [iclal\\_san@hotmail.com](mailto:iclal_san@hotmail.com)

separation of sensorineural hearing loss can be made. There are two types of otoacoustic emissions in clinical use. The first is spontaneous otoacoustic emissions (soaes), the second is evoked otoacoustic emissions (EOAEs). There are three subtypes of stimulated otoacoustic emissions: stimulus frequency otoacoustic emissions (SFOAEs), transient evoked otoacoustic emissions (TEOAEs), and distortion product otoacoustic emissions (DPOAEs). Clinical uses of SFOAE, such as SOAE, are limited. TEOAE and DPOAE are frequently used in the clinic. OAE do not provide information about the degree of hearing loss and are affected by a pathology found in the outer and/or middle ear. OAE enables assessment of hearing in areas such as neonatal hearing screening, pediatric evaluation, Meniere's disease, sudden hearing loss, and monitoring of cochlear function. Recent studies in the field of OAE focus on the relationship of emission responses to medial olivocochlear reflex, the effect of middle ear pathologies on high frequency DPOAE I/O function, and the use of high frequency otoacoustic emissions in newborn hearing screening.

## 1. Giriş

İşitsel duyu sistemleri, gelen sinyalleri algılayan, işleyen ve ilgili sinyallerini kortekse gönderen pasif bilgi alıcılarıdır. Ses timpanik membrana (kulak zarı) çarpar ve orta kulak kemikçiklerini (malleus, incus, stapes) harekete geçirir. Sırasıyla malleus, incus ve stapes aracılığıyla ses iç kulağa aktarılır. Ses iç kulakta skala vestibuli ve skala media'da bulunan perilemf ve endolenf sıvılarını hareket ettirir ve oluşan sıvı hareketi baziler membranın sesin frekansına karşılık gelen bir noktada maksimum olarak hareket ettiren bir dalgalanmaya neden olur. Bunu sonucunda korti organında bulunan dış tüy hücrelerinin (DTH) aktif süreçlerini uyarır ve bu uyarılmayı dış tüy hücreleri, iç tüy hücrelerine (İTH) aktarır ve iç tüy hücreler uyarılmayı elektriksel potansiyele çevirir. Çevrilen bu elektriksel potansiyel iç tüy hücrelerden sonra işitme sinirinde (VIII. KS nervus vestibulocohlearis) ve diğer nöral bölgelerde impulslar oluşturur (Stach, 2010). Elektriksel sinyal işitme sinirine ulaşmadan meydana gelir. Otoakustik emisyonlar koklea'nın normal düzeni, hassasiyeti ile ilişkili ve snaptik iletimden bağımsızdır, yani prenöral'dir (Sennaroğlu ve ark., 2018). Geçen yüzyıl içinde koklea ile ilgili yapılan histopatolojik ve elektrofizyolojik çalışmalar, sadece koklea, akustik enerjiyi alan bir organ olmadığını, aynı zamanda akustik enerjiyi ürettiğini ortaya koymuştur (Sağiroğlu ve ark., 2014). Dış tüy hücrelerinin aktif süreçleri, işitme sistemini pasif bir bilgi alıcısından biraz daha karmaşık hale getirir. Bu olay dış tüy hücrelerini, onları uyaran sinyale etki etmelerine neden olacak şekilde uyarır. Bu eylemin bir yan ürünü; kokleadan, orta kulaktan ve kulak kanalına geri dönen bir sesin üretilmesidir. Bu ses, David Kemp (1978) tarafından otoakustik emisyon (OAE) olarak tanımlanmıştır (Stach, 2010).

Otoakustik emisyonlar, diğer bir deyişle "kulak tarafından üretilen sesler", 1977 yılından itibaren bilimsel olarak araştırılmaktadır. Bu karmaşık fenomen günümüzde de tam olarak anlaşılacakla birlikte, bu durum uygulamaların gelişimine de engel teşkil etmemiştir.

Otoakustik emisyonlar periferik işitsel fonksiyon ve bozukluğunun tespit edilmesi için önemlidir. Otoakustik emisyonlar, sağlıklı koklea ve orta kulak fonksiyonlarında bir dakikadan daha kısa sürede doğrulamak için objektif bir araç olarak yenidoğan işitme taramasının yapılmasını kolaylaştırmıştır. Laboratuvarında ise otoakustik emisyonlar, koklea'nın ses stimülasyonu ile nasıl etkileşime girdiği ve işitsel sistemdeki çeşitli uyaranların bir sonucu olarak bu etkileşimin nasıl değiştiği hakkında önemli bir bilgi kaynağı haline gelmiştir. Çok sayıda yapılan deneysel çalışma, otoakustik emisyonların koklear mekanizmanın "aktif süreç" veya daha spesifik olarak "koklear amplifikatör" olarak bilinen kilit bir özelliği ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir (Manley ve ark., 2008).

Otoakustik emisyonların kokleanın dış tüy hücrelerinde üretildiği düşünülmektedir ve bu emisyonlar dış kulak kanalına yerleştirilen küçük, hassas mikrofonlar tarafından ölçülmekte ve kaydedilebilmektedir. Önemli bir diğer konu ise, akustik sinyallerin sadece korti organı sağlıklı

olduğunda üretilmesi ve emisyonların sadece orta kulak sistemi normal olduğunda tespit edilebilmesidir (Bess ve Humes, 2008).

Otoakustik emisyon ölçümlerinin amacı; hastada var olan işitme kaybının tanınmasında objektif değerlendirme test bataryasının tamamlanması, dış tüy hücrelerinin fonksiyonunun görüntülenmesi, koklear ya da retrokoklear patolojilerin ayırıcı tanısıdır (Sennaroğlu ve ark., 2018). Bu nedenle, otoakustik emisyonlar birçok klinik uygulama alanları ve otoakustik emisyon türleri oluşturularak hastada var olan patolojilerin ayırt edilmesine olanak sağlamaktadır.

#### Otoakustik Emisyonların (OAEs) Klinik Kullanımı ve Önemi

Odyolojik değerlendirme bataryasında bulunan otoakustik emisyon testi objektif değerlendirme yöntemleri arasında yer almaktadır. Dış kulak kanalına yerleştirilen bir prob, uyarı veren hoparlör ile kokleada oluşup orta kulaktan dış kulak kanalına iletilen emisyon cevaplarını kaydeden bir mikrofondan oluşur (Belgin ve Şahlı, 2017). Uyarılmış otoakustik emisyon ölçümleri için probta bir veya iki adet ses kaynağı da bulunabilir. Tüm otoakustik emisyon sinyalleri düşük şiddetli ses sinyalleri olduğu için sinyal averajlama yöntemi kullanılmaktadır (Sennaroğlu ve ark., 2018). OAE'lar, esas olarak baziller membran üzerindeki titreşimleri artıran dış tüy hücrelerinin hareketiyle normal olarak çalışan bir kokleadan kaynaklanır. Emisyonlar; baziller membran boyunca, orta kulak kemikçiklerinden dışarı doğru hareket eder ve dış kulak kanalında emisyon cevabı oluşturmak için timpanik membranı titreştirir. OAE'lar, düşük seviyeli OAE'ları arttıran ve arka plan gürültüsü gibi istenmeyen sinyalleri “sinyal averajlama” olarak adlandırılan bir süreçte azaltan bir bilgisayara bağlandığında kulak kanalındaki hassas bir mikrofona kaydedilebilir. Dış tüy hücrelerinin aktif süreci sadece düşük ve orta yoğunluk seviyelerinde çalıştığından, dış tüy hücre fonksiyonunun kaybına bağlı hafif koklear işitme kaybı OAE'ları ortadan kaldırmak için yeterlidir (Kramer ve Brown, 2019). Otoakustik emisyonlar genellikle sağlıklı dış tüy hücreleri ile ilişkili mikroskopik biyomekanik aktivitenin (motilite) bir sonucu olarak yorumlanır. Otoakustik emisyon üreten koklear olayların “prenöral” olduğu söylenir, çünkü sinyal işitsel sinire iletilmeden önce meydana gelir ve normal kokleanın duyarlılığı ve altında yatan fizyolojik süreçlerle ilişkilidir (Lieberman, 1986; Akt: Gelfand, 2016).

#### Otoakustik Emisyon Tipleri

OAE'lar, kendiliğinden veya uyarılmaya bağlı olmak üzere ikiye ayrılır. Adından da anlaşılacağı gibi, herhangi bir harici stimülasyon yokluğunda spontan otoakustik emisyonlar (SOAEs) kaydedilir. Uyarılmış otoakustik emisyonlar (EOAEs) kulağa akustik bir uyarının verilmesi sırasında veya sonrasında ölçülür. EOAE'lar ayrıca kullanılan uyarı türü ve ilgili ölçüm prosedürüne göre alt kategorilere ayrılır (Katz ve ark., 2015).

#### 1. Spontan Otoakustik Emisyonlar (SOAEs)

SOAE'lar, işitsel uyarım olmadan koklea tarafından üretilen akustik sinyallerdir. Bebekler, çocuklar ve yetişkinler de dahil olmak üzere normal kulakların yarısından fazlasında görülürler. Tipik olarak, yetişkinlerde ölçülen SOAE'lar 1 ile 3 kHz frekans bölgesinde yoğun olarak elde edilir. Bununla birlikte, 500 Hz ile 9000 Hz frekansları arasında kendiliğinden emisyonlar gözlemlenmiştir. Genel olarak, sensörinöral işitme kaybı 30 dB HL'ın üzerinde olan frekans bölgelerinde SOAE'lar görülmez (Bess ve Humes, 2008). SOAE'lar normal işiten kulakların %50'sinde ölçülebilir olduğundan, yararlı bir klinik test değildir. Gruplandırılmış verilere dayanan istatistiksel analizler, SOAE'nun prevalansının kadınlarda erkeklerden ve sağ kulaklarda sol kulaklardan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bir kulakta SOAE olması diğer kulakta bir SOAE bulunma olasılığını artırır (Bilger ve ark., 1990; Akt: Katz ve ark., 2015).

SOAE'lar çok zayıftır, tipik olarak kabaca -10 ile +20 dB SPL arasında değişir. Başlangıçta, SOAE'ların yararlı bir klinik araç olacağı düşünülmüştür. Çünkü, ölçümü nispeten basit olduğu için belirli bir kulak için zamanla aynı frekanslarda ortaya çıkma eğilimi gösterirler, yaşa bağlı görülmezler

ve eşiklerin olduğu frekanslarda mevcut olabilirler. Ancak, işitme kaybının 20 ile 30 dB HL'ı aştığı frekans bölgelerinde yoktur. Bununla birlikte, farklı dezavantajları nedeniyle SOAE'ların klinik yararlılığı aslında oldukça sınırlıdır ve düşük prevalans içerir. SOAE'lar normal işiten popülasyonunun sadece yarısında görülür ve erkeklerde kadınlardan daha az görülme olasılığı yüksektir. SOAE'ların diğer klinik zayıflıkları, buldukları kulaklara aittir. Bunlar; bir kulakta sadece birkaç (veya sadece bir) SOAE bulunması, farklı kulaklarda farklı frekanslarda ortaya çıkması, SOAE'ların nispeten sınırlı bir frekans aralığında bulunması ve genliklerinin zaman içinde değişebilmesidir (Gelfand, 2016). Normal işitmeye sahip birçok kulakta SOAE bulunmadığından klinik uygulamalarda kullanımı henüz bulunmamaktadır. SOAE'ları tinnutusla ilişkilendirme çabaları, SOAE'lar tinnutusu olan bireylerde veya tinnutusu olmayan bireylerde de görülmesi nedeniyle diğer klinik uygulamalarla desteklenmeyi beklemektedir (Stach, 2010).

## 2. Uyarılmış Otoakustik Emisyonlar (EOAEs)

Uyarılmış otoakustik emisyonlar, uyarılma sonucunda kulaktan yayılan seslerdir. Temel olarak üç farklı uyarılmış otoakustik emisyon vardır:

### a. Stimulus Frekans Otoakustik Emisyonlar (SFOAEs)

Bu tip emisyonlar, kulağa düşük şiddet seviyesinde uzun süreli sabit akustik uyaran verilmesi sonucu ortaya çıkar. Frekansa özel olmasına rağmen, akustik uyaran uzun süreli ve sabit verildiği için cevaplarla akustik uyarının farklı olarak algılanması zordur (Sağiroğlu ve ark., 2014). Bu emisyon türü yararlı bilgiler sağlayabilir, ancak teknoloji ve yorumlama açısından yaşanan sorunlar uygun bir klinik araç olmasını engellemiştir. Bu nedenle, önemli klinik faydası olan diğer iki uyarılmış OAE önemlidir. Geçici uyarılmış otoakustik emisyonlar (TEOAEs) ve bozulma ürünü otoakustik emisyonlar (DPOAEs) klinik önemi olan iki uyarılmış otoakustik emisyon tipidir (Gelfand, 2016). SOAE'ların aksine, EOAE'lar basit, hızlı, güvenilir, bilgilendirici ve nesnel olduğu için önemli klinik değere sahip olduğu düşünülmektedir (Bess ve Humes, 2008). Uyarılmış OAE'ların önemli yönü, normalde işiten tüm bireylerin kulaklarında bulunması ve koklear bozukluğu olan bireylerde cevabın azalması veya yok olmasıdır (Lonsbury-Martin ve ark., 1995).

### b. Geçici Uyarılmış Otoakustik Emisyonlar (TEOAEs)

Geçici uyarılmış otoakustik emisyonlar (TEOAEs) bir dizi kısa geçici (click) uyaran veya tone burst uyaran verilmesiyle oluşur. Click uyaran geniş bir frekans spektrumuna sahiptir ve bu nedenle baziler membranın geniş bir bölümünü uyarır. TEOAE'lar, birbirini izleyen click uyarılar arasındaki kısa aralıklarda kaydedilir ve her click uyarıdan sonra latans adı verilen karakteristik bir gecikme ile oluşur. TEOAE cevabı, kokleayı uyararak için kullanılan uyarana bağlıdır. TEOAE kaydı yapılmadan önce hem zamanın hem de frekansın uygun olduğunu doğrulamak için uyaran kontrol edilmelidir. Click uyarının anlık bir yükselme/düşme süresi olmalı ve hızlı bir şekilde bitmelidir. Click uyarın ayrıca kulak kanalında yaklaşık 1000 Hz ile 4000 Hz arasında değişen bir spektruma sahip olmalıdır, dış tüy hücreleri çalışıyorsa bu aralıkta bir yanıt alınır. Kayıt kısıtlamaları nedeniyle, TEOAE'lar 1000Hz ile 4000 Hz arasında ölçülebilir. Bu sınırlama kısmen, geriye doğru yönlendirilen (OAE kısmı) kayıt başlamadan önce, clickten ileriye doğru hareket eden dalganın bitmesi gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Beş milisaniyelik gecikme kayıttan çıkarılır, böylece yanıt click uyaran ile kontamine olmadan kaydedilebilir. Bununla birlikte, ilk olarak yüksek frekanslar kulak kanalına geri döndürüldüğünden, kayıt gecikmesi nedeniyle çıkarılırlar; bu nedenle, TEOAE'lar 4000 Hz ile 5000 Hz'e kadar kaydedilebilir (Kramer ve Brown, 2019).

Test esnasında click uyarını iletmek ve yanıtı kaydetmek için bir prob kullanılır. Prob, bir tür esnek tüp ile dış kulak kanalının içine sabitlenir. Click uyaran serisi, genellikle yaklaşık 80-85 dB SPL seviyesinde verilir. Mikrofondan uyarının çıkışı, genellikle 20 ms'lik bir zaman aralığı içinde sinyal ortalaması alınarak sağlanır. Click uyaran geniş spektrumlu bir sinyal olduğu için, benzer şekilde yanıtın spektrumu da geniştir. Bu dalga formları spektrum analizine tabi tutulur ve sonuçları genellikle

emisyona genlik ve frekans bileşenlerini gösteren bir grafikte gösterilir. Aynı zamanda, arka plan gürültüsünün tahmini, dalga formu A'nın dalga formu B'den çıkarılmasıyla yapılır ve sonuçta meydana gelen dalga formunun spektral analizi aynı grafikte çizilir. TEOAE analizinin bir başka önemli yönü de yanıtın tekrarlanabilir olmasıdır. İki dalga formunu ilişkilendirerek A'nın B'ye ne kadar benzer olduğuna dair bir tahmin yapılır. Benzerlik veya tekrarlanabilir olma yüzde olarak ifade edilir ve %100 ise benzer olarak kabul edilir. Emisyona büyüklüğü gürültünün boyutunu aştığında ve emisyona tekrarlanabilir olması önceden belirlenmiş seviyeyi geçtiğinde, emisyona mevcut olduğu söylenir. Emisyona mevcutsa, dış tüy hücrelerinin emisyona frekans bölgesinde işlev görmesi muhtemeldir (Stach, 2010). Ayrıca, emisyona tekrarlanabilir olma oranı %80'den büyük olmalıdır (Sennaroğlu ve ark., 2018).

TEOAE'lar genellikle seviye, tekrarlanabilir olma yüzdesi veya TEOAE/gürültü (sinyal-gürültü oranı veya SNR) olarak değerlendirilir (Katz ve ark., 2015). Bir emisyona ancak SNR oranı 6 dB'den büyükse var kabul edilir, aksi takdirde emisyona yoktur (Kramer ve Brown, 2019). TEOAE'nun seviyesi genellikle dB SPL olarak ifade edilir. Bu durumda tekrarlanabilir olma yüzdesi, iki TEOAE kaydının birbiriyle ne kadar iyi uyumlu olduğu anlamına gelir. Emisyona kaydının yazılımı, geniş bant dalga formunun yanı sıra her bir frekans bandında dalgalar arası form korelasyonlarını hesaplar ve bunları yüzde olarak görüntüler. TEOAE/gürültü veya SNR, TEOAE seviyesinin ("sinyal"), dB olarak ifade edilen gürültü seviyesine oranıdır (Katz ve ark., 2015).

Klinik açıdan anlamlı önemi olan TEOAE'larla ilgili birkaç konunun da üzerinde durmak gerekmektedir. TEOAE'lar, yenidoğanlar da dahil olmak üzere hemen hemen tüm normal işiten bireylerde elde edilebilir. Yanıtlar bebeklerde yetişkinlerden daha büyüktür. Azalmış veya alınamayan TEOAE'lar, ototoksik ilaçlar, hipoksi ve gürültüye maruz kalma gibi koklear işitme kayıplarına neden olduğu bilinen faktörlerden kaynaklanır. Test parametrelerinin ayrıntılarına bağlı olarak, 30 ile 50 dB HL'den yüksek olan koklear veya sensorinöral tip işitme kayıplarında TEOAE yanıtları alınamaz. İletim mekanizmasındaki anormalliklerde, TEOAE'ların elde edilmesini etkileyebilir. Bu etkenler, TEOAE'ların yenidoğanlarda da işitme kaybının varlığını tespit etmek için oldukça kullanışlı olabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, yenidoğan işitme tarama programları, TEOAE'ların en hızlı büyüyen uygulamalarından biri olmuştur. Ancak, otoakustik emisyona prenöral bir fonksiyon olduğu için, TEOAE'lar akustik tümörlerin varlığının değerlendirilmesinde kullanışlı bir test değildir. Bununla birlikte bu test, akustik refleks ve ABR gibi nöral bölgeleri değerlendirmeyi içeren testlerle kullanıldığında koklear ve nöral tutulumu ayırt etmeyi sağladığı için ayırıcı tanıya katkıda bulunur (Bonfils ve Uziel, 1988 Akt: Gelfand, 2016).

Normal işitmeye sahip bireyler ve sensorinöral işitme kayıplı bireylerde yapılan otoakustik emisyona ölçümlerinde, sensorinöral işitme kaybı olan bireylerde emisyona değerlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir (Bonfils ve Uziel, 1989).

### c. Bozulma Ürünü Otoakustik Emisyona (DPOAEs)

Koklea doğrusal olmayan bir sistemdir, yani kokleada üretilen ve harici olarak uygulanan uyaranda mevcut olmayan, bozulma ürünleri adı verilen ilave sesler vardır (Kramer ve Brown, 2019). DPOAE'lar, kulağa verilen iki saf ses uyarımı eş zamanlı olarak ölçer. Saf sesin frekansları genel "f1" ve "f2" ( $f_1 < f_2$ ) olarak ve saf sesin şiddetlerine karşılık gelen seviyeleri "L1" ve "L2" olarak belirtilir. F1 ve f2 frekansa yakın olduğunda, iki saf ses uyarımının baziller membran üzerindeki etkileşimi, saf sesin frekansları ile aritmetik olarak ilişkili diğer ayrı frekanslarda koklea tarafından farklı bir frekansta ses çıkışı (örneğin  $f_2 - f_1$ ,  $2f_1 - f_2$ ,  $3f_1 - 2f_2$ ,  $2f_2 - f_1$ ) ile sonuçlanır (Katz ve ark., 2015). En iyi cevap,  $2f_1 - f_2$  denklemiyle temsil edilen frekansta meydana gelir (Stach, 2010)

Diğer otoakustik emisyonlarda olduğu gibi, DPOAE'lar çeşitli uyarım parametrelerinden etkilenir. En iyi DPOAE'ların, f1 ve f2 1000 ile 4000 Hz arasında olduğu ve frekanslarının oranı ( $f_2/f_1$ ) 1,22 olduğu zaman elde edildiği görülmektedir. Ayrıca DPOAE, iki saf ses şiddet seviyesinden (L1 ve L2) etkilenir ve genellikle  $L_1 = 65$  dB SPL ve  $L_2 = 55$  dB SPL gibi L1, L2'den 10 dB daha yüksek olacak

şekilde verilir (Gelfand, 2016). DPOAE'lar, tipik olarak 1000 Hz ile 6000 Hz frekans aralığında kaydedilir. Frekans taraması tekrarlanarak, arka plan gürültüsü yeterince azaltılana ve DPOAE'lar ortaya çıkıncaya kadar yanıtlar sinyal ortalaması alınarak kaydedilir. Genel olarak, sinyal/gürültü oranı (SNR) 6 dB'den büyük ise kayıt elde edilir. DPOAE'ları oluşturmak için frekans aralığında dört veya beş tarama yapılması gerekir. DPOAE kaydının analizi, tipik olarak DPOAE'nun amplitüdüne ve/veya DPOAE'nun saf ses uyaran özelliklerine (Örn; f1 ve f2 için sırasıyla 65 ve 50 dB SPL) bakılmasını içerir (Kramer ve Brown, 2019).

DPOAE'nun amplitüdü, saf ses uyaranının şiddet seviyesi ile artar. Ek olarak, DPOAE'lar frekansın bir fonksiyonu olarak elde edilebilir. Bu özelliklere dayanan iki tür DPOAE ölçümü vardır. Bunlar; DPOAE I/O fonksiyonu ve DP-gramdır. DPOAE I/O fonksiyonu, DPOAE amplitüdünün belirli bir frekansta (F2 veya F1 ve F2'nin geometrik ortalaması olarak verilir) uyaran seviyesinin bir fonksiyonu olarak ölçülmesiyle elde edilir. DP-gram ise (bazen DP odyogram veya DPOAE odyogram olarak da adlandırılır), uyaranın sabit seviyelerde (Örn; 65 SPL'de L1 ve 55 dB SPL'de L2) bir dizi frekansta (F2 veya F1 ve F2'nin geometrik ortalaması) elde edilir. Başka bir deyişle, frekansın bir fonksiyonu olarak DPOAE amplitüdü gösterilir (Gelfand, 2016). DP amplitüdünün -10'dan büyük olması gereklidir (Sennaroğlu ve ark., 2018).

TEOAE'larda olduğu gibi, genellikle DPOAE'ların normal kulaklarda mevcut olduğu ve koklear işitme kaybı olan kulaklarda bulunmadığı kabul edilir. DPOAE'ları ortadan kaldırmak için yeterli olan koklear işitme kaybının derecesi kesin olarak belirlenememiştir. DPOAE'ların 25 dB HL'den daha iyi saf ses işitme eşiklerinde bulunması ve 40 dB'den daha büyük işitme kayıplarında bulunmaması beklenir; bununla birlikte, özellikle daha yüksek şiddet seviyeleri kullanıldığında, 50 dB HL ile 60 dB HL arasındaki ileri derecede işitme kayıpları için düşük amplitüdüde elde edilebilir. Bu, DPOAE'ları yenidoğan için bir tarama aracı olarak TEOAE'lardan daha az kullanılabilir hale getirebilir, çünkü hafif derecede koklear işitme kaybı olan bazı bebekler DPOAE taramasını geçebilir. DPOAE'ların azalmış amplitüdüleri (veya daha küçük SNR'ların) işitme kaybının derecesi ile ilgili herhangi bir spesifik bilgi sağlayıp sağlayamayacağını belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. TEOAE'larda olduğu gibi, DPOAE'lar da orta kulakta herhangi bir patoloji varlığından etkilenir ve bu nedenle DPOAE'lar olmadığında iletim tipi işitme kaybı dikkate alınmalıdır. Herhangi bir patoloji varlığını tespit etmek için ölçüm öncesinde timpanometrik ölçüm yapılması gereklidir. Normal DPOAE'ların varlığı, dış tüy hücrelerinin dolayısıyla işitsel fonksiyonunun kanıtıdır. TEOAE'larda olduğu gibi, orta derecede veya ileri derecede sensörinöral işitme kaybı olan bir hastada DPOAE'lar alınıyorsa, işitme kaybının işitme sisteminin nöral kısımlarındaki bir sorundan kaynaklanıyor olabileceği düşünülür (Kramer ve Brown, 2019). Ani işitme kayıplarında yapılan bir çalışmanın sonuçları ise, işitmenin iyileşmesine bağlı olarak DPOAE cevaplarının normal seviyelerde elde edildiğini göstermiştir (Schweinfurth ve ark., 1997). Tinnusunu olan bireylerin DPOAE cevaplarının ölçülmesi, özellikle yaşlı bireylerde işitme durumunun değerlendirilmesi için yapılmalıdır (Ozimek ve ark., 2006).

#### Otoakustik Emisyonlar (OAEs) ve Klinik Uygulamaları

Odyologlar, çocuklar da dahil olmak üzere tüm hastaların temel odyolojik değerlendirmesinin bir parçası olan OAE testini kullanırlar, çünkü hızlı bir şekilde uygulanabilir testlerdir ve odyolojik cross-check prensibi ile doğrulama yapılabilir (Kramer ve Brown, 2019).

OAE'lar prenöral olayları yansıttığından, sensörinöral işitme kaybının kokleada veya nöral yoldaki bir soruna bağlı olup olmadığını belirlemek için kullanılabilir. Örneğin, bir hastanın saf ses odyometri ile tanımlanmış bir sensörinöral işitme kaybı varsa, ancak normal OAE'ları varsa, bu sonuçlar klinisyene kokleanın normal çalıştığını, sorunun 8. kranial sinir veya merkezi işitsel yolda olduğu bilgisini verir. OAE'ların sadece dış tüy hücrelerinin normal çalışıp çalışmadığını belirleyebileceğinin bilinmesi önemlidir; çünkü OAE'lar hafif derecede işitme kaybı olan hastaların bazılarında, orta derecede işitme kaybı ve ileri derecede işitme kaybında ise alınmadığından, hastanın ne kadar işitme kaybına sahip olabileceğinin bir ölçüsünü klinisyene sunmazlar. OAE'ların varlığı sadece, normal olan

koklear dış tüy hücre fonksiyonu hakkında güçlü kanıtlar sağlayabilir (Kramer ve Brown, 2019). OAE'lar, normal dış ve orta kulağı olan bireylerde bulunur. Orta kulak patolojilerinin ve bunlara bağlı meydana gelen işitme kayıplarının OAE'lar üzerindeki etkisini inceleyen bir araştırmada; orta kulaktaki anormal basınçların ve patolojilerin OAE cevabını azalttığı, uygun tedavi uygulandığında ise OAE cevabının arttığı, DPOAE cevabının yüksek frekanslarda daha anlamlı ve güvenilir olduğu, en çok etkilenen frekansların düşük frekanslar olduğu (özellikle 1000 Hz), orta kulak patolojilerinde düşük frekanslardaki iletimin kötü yönde ve önemli derecede etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır (Sağiroğlu Güzelsoy, 2004). Çocukluk çağında geçirilen otitis medianın, orta kulak ve koklea üzerinde ileri yaşlarda da devam eden ve dönüşü olmayan minimal etkileri OAE ölçümü sayesinde saptanabilir (Yılmaz, 2003).

Koklea'nın dış tüy hücreleri hasar gördüğünde OAE'lar bulunmayabilir. Özellikle, OAE mevcut ise, işitme eşikleri 30 dB HL'den daha iyidir; bununla birlikte, OAE yok ise, işitme eşiği 30 dB HL'den daha düşüktür (Bess ve Humes, 2008). OAE'lar pratik olduğu kadar teoriktir, aynı zamanda yararlı klinik araçlardır. İşitme kaybının varlığına duyarlıdır, koklea'nın, özellikle dış tüy hücrelerinin bütünlüğünü etkileyen sorunlara duyarlıdır ve OAE'ları klinik olarak değerli kılan yönü ise prenöral olmasıdır, bu da ABR (işitsel beyin sapı cevabı) gibi sinirsel aktivite içeren ölçümlerden farklı olduğunu gösterir (Gelfand, 2016).

OAE'lar, çeşitli şekillerde kullanılabilen, çok yönlü bir ölçüm yöntemidir. Bu testin en yaygın uygulamaları arasında; yenidoğan işitme taraması, pediatrik değerlendirmesi, psödohipoakuzili bireylerin değerlendirilmesi ve koklea işlevinin izlenmesi yer alır (Bess ve Humes, 2008).

Sennaroğlu ve ark. (2018), otoakustik emisyonların yaygın olarak kullanıldığı alanları; meniere hastalığı, ani işitme kayıpları, tinus ve gürültüye maruziyet olarak belirtmişlerdir. İşitme cihazı uygulaması için aday hastaların dış tüylü hücrelerinin araştırılması, medial superior olivary kompleks kökenli supresyonun araştırılması ve ani sensörinöral işitme kaybı lezyon bölgesinin belirlenmesi diğer yaygın kullanım alanlarıdır (Belgin ve Şahlı, 2017).

İşitmesi normal olan tinnitüslü hastalarda yapılan OAE sonuçlarını inceleyen bir çalışmada; normal saf ses işitme eşiklerine sahip ve tinnitus şikâyeti olan bireylerde OAE amplitüdüleri, tinnitus şikâyeti olmayan ve normal işitmeye sahip bireylere göre daha düşük elde edilmiştir. Bu çalışma sonucu, tinnitusun koklear patolojilerden özellikle de dış tüy hücrelerden kaynaklandığı görüşünü desteklemektedir. Dış tüy hücrelerdeki aktivite bozukluğunun altında yatan mekanik veya histopatolojik sorunun bulunması, tinnitus tedavisini araştıran çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Dikici, 2012).

Presbiakuzi ya da diğer bir deyişle yaşlanmaya bağlı işitme kayıplarındaki saf ses işitme eşiklerinin, OAE ve ABR cevaplarının birlikte incelendiği bir başka çalışmada ise; yaşın artmasıyla işitme kaybının derecesinin arttığı, yüksek frekans emisyon cevaplarının alınmadığı, ABR testinde I-III, I-V, III-V dalgalar arası latansların normal olduğu ve I., III., ve V. dalgaların latanslarının uzamasının nedeninin koklear işitme kaybına bağlı olduğunu düşündürmüştür. Test sonuçlarında, emisyon cevapları alınmadığı için koklear bir patolojinin olduğu, ABR test sonuçlarının da normal olması nedeniyle beyin sapındaki işitsel yollarda bir patolojinin olmadığı belirlenmiştir (Boynukalın, 2005).

Süperior semisirküler kanal dehissansında yapılan DPOAE'nun değerlendirmesi konusunda yapılan bir çalışmada; tek taraf dehissansı olan hastalarda, test kulağı ile normal kulak karşılaştırılmasında, test kulağında emisyon değerinin 1000 Hz'de, SNR değerinin 6000 Hz'de anlamlı derecede düşük olduğu ve bilateral dehissans olan hastalarda ise emisyon ve SNR değerlerinin test edilen tüm frekanslarda anlamlı olarak düşük gösterdiği sonucu elde edilmiştir (Erkan, 2009).

Manyetik rezonans görüntüleme yapılan hastalarda gürültünün periferik işitme organına olası etkisinin TEAOE ve DPOAE testleri ile incelendiği bir çalışmada; 1 kHz, 1,4 kHz, 2 kHz, 2,8 kHz, 4 kHz frekansları ve toplam yanıtta her iki kulakta da manyetik rezonans görüntüleme öncesi ve sonrası

ölçümler arasında anlamlı fark olmadığı görülmüştür. DPOAE sonuçlarında; 4 kHz frekansında sağ kulakta manyetik rezonans görüntüleme öncesi ve sonrası değerler arasında anlamlı fark bulunmuştur. DPOAE ölçümleri sonucunda elde edilen 4 kHz frekansındaki etkilenmeye göre manyetik rezonans görüntüleme esnasında kullanılan kulak üstü kulaklıkların hastaları gürültüden korumakta çok yeterli olmadığı ve bunun sonucunda kulak içi koruyucuların daha etkili olup olmayacağına dair yeni çalışmaların yapılması önerilmiştir (Turay, 2020).

#### Yenidoğan İşitme Taramasında OAE'ların Kullanımı

OAE'ların test özellikleri klinik uygulamalarda; doğası ve uygulama tekniği yönünden tarama yapılmasında, normal koklear fonksiyonu gösterdiği ve çok hafif derecede veya hafif derecede işitme kaybının varlığında elde edilebildiği için önemli bir yere sahiptir. OAE'lar merkezi işitsel sinir sisteminin nöromatürasyonundan etkilenmez ve yenidoğanlarda elde edilebilir. Yenidoğan işitme taramasında OAE kullanımının iki dezavantajı vardır. Birincisi, dış ve orta kulak patolojilerinin genellikle OAE ölçümünü engellemesidir. Bu nedenle, yenidoğanın kulak kanalı tıkanır veya orta kulak efüzyonu varsa, koklear fonksiyon normal olsa bile OAE'lar kaydedilemez. Bu, işitmesi normal olan bebeklerin taramada başarısız olması nedeniyle çok sayıda “yanlış pozitif” sonuç elde edilmesine neden olur. İkinci dezavantajı ise, yenidoğanlarda “yanlış negatif” sonuçlar alınabilmesi veya anlamlı derecede sensörinöral işitme kaybı olmasına rağmen OAE taramasından geçti sonucunun alınmasıdır. Bu sonuçlar, iç tüy hücresinin işlev bozukluğu veya işitsel nöropati nedeniyle önemli derecede kalıcı işitme kaybı nedeniyle alınabilmektedir. Her iki durumda da yenidoğanın işitme hassasiyetinde önemli bir kayıp olmasına rağmen, dış tüy hücreleri işlevsel fonksiyonunu devam ettirebilir ve OAE üretebilirler. Bu nedenle, yenidoğanlarda işitme taraması tek başına OAE ile değil, taraması ABR (işitsel beyin sapı cevabı) ile birlikte yapılır (Stach, 2010). ABR ve OAE taramasının orta, orta ileri, ileri ve çok ileri derecede işitme kaybının belirlenmesinde eşit derecede etkilidirler (Katz ve ark., 2015). Yenidoğanlarda yapılan bir çalışmada, çoklu-uyaran ASSR (Auditory Steady-State Response) ile TEOAE cevapları karşılaştırılmış, sonuçta yüksek frekanslara doğru alınan cevapların uyumluluğunun artmış olduğu gözlenmiştir (Erdem, 2014).

#### Pediyatrik Değerlendirmede OAE'ların Kullanımı

OAE testinin önemli başka bir uygulaması, pediyatrik grupta işitmenin değerlendirilmesinde davranışsal verileri desteklemek için kullanılmasıdır. OAE, yanıt gerektirmeyen nesnel bir önlem olduğundan ve test basit, hızlı ve non-invaziv olduğundan, temel test bataryasında bulguları desteklemek için değerlendirilmede ilk seçenek olarak tercih edilmektedir. OAE testin sonuçlarını, temel odyolojik test bataryasındaki testlerin sonuçları ile karşılaştırarak (cross-check prensibi) değerlendirmek gereklidir. OAE'dan gelen bilgiler işitme kaybı olasılığını doğrularsa, ABR gibi daha ayrıntılı testler yapılabilir (Bess ve Humes, 2008).

#### Koklea İşlevinin İzlenmesinde OAE'ların Kullanımı

OAE, ototoksitaya neden olan ilaçlarla tedavi edilen hastalarda koklear fonksiyonu izlemek için etkili bir şekilde kullanılmıştır. Bazı kanser türlerinin kemoterapi ile tedavisinde kullanılan birçok ilaç ve enfeksiyonları kontrol altına almak için kullanılan bazı antibiyotikler ototoksik etkiye sahiptir. Bu ilaçlar, yüksek dozlarda verildiğinde, dış tüy hücrelerini tahrip ederek kalıcı sensörinöral işitme kaybına yol açarlar. Çoğunlukla ilaç dozu tedavi sırasında bu ototoksik etkileri en aza indirmek için ayarlanabilir. Yine de kemoterapi veya diğer ilaç tedavisi gören hastaların, tedavi öncesinde, sırasında ve sonrasında işitme eşiklerini kontrol etmek gereklidir. Yüksek frekanslı saf ses odyometrisi bu amaç için oldukça yararlıdır. Ek olarak, DPOAE testi de bu hastalarda dış tüy hücresi hasarının tespit edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Saf ses odyometrisi ve DPOAE değerlendirmelerinin kombinasyonu, ilaçların ne zaman ototoksitaya neden olduğunu belirlemede oldukça faydalıdır (Stach, 2010). Ratlar üzerinde, amikasin ototoksitesinde resveratrolün olası koruyucu etkinliğini gösteren bir çalışmada, resveratrolün tek başına kullanımında iç kulak üzerine olumsuz bir etkisi olmadığı ve amikasin uygulaması sonrası



DPOAE cevaplarındaki düşmeler ve morfolojik bulgular amikasin ile ototoksisite oluşturulduğunu, buna karşılık resveratrolün de koruyucu etkisinin olduğu gözlenmiştir (Avcı, 2015).

### Psödohipoakuzili Bireylerin OAE'lar Kullanılarak Değerlendirilmesi

OAE'lar psödohipoakuzili bireyleri değerlendirmek için kullanılabilir. İşitme kaybı olmamasına rağmen, işitme kayıplı gibi odyolojik bulgular veren bireyler, işitme kaybının nedeninin organik bir temelden oluştuğunun farkında değildirler. Objektif bir test olan OAE, nonorganik işitme kaybından şüphelenilen bireyleri incelemek için bir tamamlayıcı test görevi görür (Bess ve Humes, 2008).

## 2. Sonuç

Otoakustik emisyonlar (OAEs), iç kulakta kokleanın içinde bulunan dış tüylü hücrelerden kaynaklanan ve dış kulak kanalına yerleştirilen hassas mikrofonla kaydedilebilen seslerdir. Odyolojik değerlendirme test bataryasında bulunan otoakustik emisyon testi ile objektif bilgi sağlanır. Otoakustik emisyon testleri, odyolojik cross-check prensibi ile doğrulama yaparak değerlendirilmesi yapılır. Bu değerlendirmeler yoluyla, işitmenin varlığı konusunda daha doğru ve güvenilir şekilde yorum yapılabilir. Snaptik iletimden bağımsız olan otoakustik emisyonlar prenöral cevaplardır. Prenöral cevaplar olduğu için hastada var olan sensörinöral işitme kaybının sensör veya nöral olarak ayırt edilmesinde non-invaziv ve hızlı bir yöntem olarak kullanılır.

OAE tiplerinden birisi olan SFOAE'lar kulağa düşük şiddet seviyesinde uzun süreli sabit akustik uyaran verilmesi sonucu ortaya çıkar. SFOAE'lar yararlı bilgiler sağlayabilir, ancak teknoloji ve yorumlama açısından yaşanan sorunlar uygun bir klinik araç olmasını engellemiştir. SOAE'lar, dışarıdan herhangi bir akustik uyaran olmadan dış kulak kanalından ölçülen düşük şiddetli akustik sinyallerdir. Genellikle 1000 Hz ve 3000 Hz arasında kaydedilir. Genellikle hastada var olan 30 dB HL'dan büyük işitme kaybında görülmez. SOAE'ların klinik anlamda yararı, normal işiten kulakların %50'sinde ölçülebilmesi, farklı frekanslarda ve dar bir frekans aralığında ortaya çıkabilmesi ve genliklerinin zaman içinde değişebilmesi gibi kısıtlıdır. Tinnitus ile ilişkilendirme için daha fazla klinik uygulamalarla desteklenmesi gerekmektedir.

TEOAE'lar bir dizi geçici click uyaran verilmesi sonucunda oluşur, 1000 Hz ve 4000 Hz arasında kaydedilir. Ortaya çıkan cevapların tekrarlanabilir olma oranı %80'den büyük ve emisyon SNR oranı 6 dB'den büyük ise kabul edilir. Normal işiten tüm bireylerde kaydedilir. Özellikle, yenidoğan işitme taramasında kullanılır. Ototoksik ilaç kullanımı, hipoksi ve gürültüye maruz kalma gibi faktörlerden etkilenir. İşitme kaybı 30 ile 50 dB HL'den fazla olan bireylerde elde edilmez.

DPOAE'lar kulağa verilen iki saf ses uyarının eş zamanlı olarak ölçülmesiyle elde edilir, 1000-6000 Hz arasında kaydedilir. Saf sesin frekansları  $f_1$ ,  $f_2$ 'den küçük ve şiddetleri L1: 65 dB SPL, L2: 55 dB SPL verilerek elde edilir. En iyi cevap  $2f_1-f_2$  frekansından gelir ve baskın frekansın  $f_2$  olduğu düşünülür. DPOAE'ların iki tür ölçümü vardır, bunların ilki DPOAE I/O, diğeri ise DP-gramdır. Ortaya çıkan cevapların tekrarlanabilirlik oranı %80'den büyük ve emisyon amplitüdü /gürültü oranı 6 dB'den büyük ise kabul edilir. DP amplitüdü -10'dan büyük olmalıdır. DPOAE'lar 40 dB'den büyük işitme kayıplarında bulunmaması beklenir.

OAE'lar hafif derecede işitme kaybı olan hastaların bazılarında, orta derecede işitme kaybı ve ileri derecede işitme kaybında bulunmadığından, hastanın işitme kaybı derecesi belirlenemez. OAE'lar dış veya orta kulakta bulunan herhangi bir patolojiden etkilenirler, bu nedenle otoakustik emisyon testi yapılmadan önce otoskopik muayene ve timpanometrik ölçüm yapılır. Otoakustik emisyonun analizi yapılırken, kullanılan OAE sistemlerine göre analizde yazılım programının özelliğine göre farklı parametreler kullanılabilir ve her frekans ayrı ayrı değerlendirilir.

Otoakustik emisyonların klinik kullanım alanları, yenidoğan işitme taraması, pediatrik değerlendirme, psödohipoakuzili bireylerin değerlendirilmesi ve koklea işlevinin izlenmesi, meniere hastalığı, ani işitme kayıpları, tinnitus ve gürültü maruziyetidir. Bu yaygın alanlara ek olarak; işitme

cihazı uygulaması adayı olan hastaların dış tüylü hücrelerinin araştırılması, medial superior olivary kompleks kökenli supresyonun araştırılması ve ani sensörinöral işitme kaybı lezyon bölgesinin belirlenmesi kullanım alanlarıdır.

### Kaynakça

- Avcı, D. (2015). Ratlarda intraperitoneal yolla uygulanan resveratrol'ün amikasin ototoksitesite üzerine etkisinin otoakustik emisyonlar ve histopatolojik çalışmalarla değerlendirilmesi. Tıpta Uzmanlık tezi, Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı, Kayseri.
- Belgin, E., & Şahlı, A. S. (Ed.). (2017). Temel odyoloji (2. Bs). Ankara, TR: Güneş Tıp Kitapevi. 135-142.
- Bess, F. H., & Humes, L. E. (2008). Audiology the fundamentals (4. Bs). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health. 144-154.
- Bonfils, P., & Uziel, A. (1989). Clinical applications of evoked acoustic emissions: Results in normally hearing and hearing-impaired subjects. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 98(5), 326–331.
- Boynukalın, K. Ş. (2005). Presbiakuzide, saf ses ve konuşma odyometrisi, otoakustik emisyon, beyin sapı odyometrik incelemelerini kullanarak patolojinin lokalizasyonunun değerlendirilmesi. Tıpta Uzmanlık tezi, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı, Ankara.
- Dikici, T. (2012). İşitmesi normal olan tinnituslu hastalarda otoakustik emisyon sonuçlarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erdem, M. Z. (2014). Yenidoğan işitme taramasında işitsel kararlı durum yanıtları (auditory-state response-ssr) etkinliğinin otoakustik emisyon (oae) ile karşılaştırılması. Uzmanlık tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı, Van.
- Erkan, S. (2009). Süperior semisirküler kanal dehissansında distorsiyon ürünü otoakustik emisyon ölçüm değerlerinin araştırılması. Uzmanlık tezi, İzmir Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, 3.KBB Kliniği, İzmir.
- Gelfand, S. A. (2016). Essentials of audiology (4. Bs). New York, NY: Thieme. 315-319.
- Katz, J., Chasin, M., English, K., Hood, L. J., & Tillery, K. L. (2015). Handbook of clinical audiology (7. Bs). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health. 359-371.
- Kramer, S., & Brown, D. K. (2019). Audiology science to practice. B. A. Stach, (Ed.), (3. Bs). San Diego, CA: Plural Publishing. 244-251.
- Lonsbury-Martin, B. L., Balkany, T., Telischi, F. F., & Martin, G. K. (1995). Clinical Applications of Otoacoustic Emissions. *Otolaryngology- Head and Neck Surgery*, 112(5), 23.
- Manley, G. A., Fay, R. R., & Popper, A. N. (2008). Active processes and otoacoustic emissions. Chicago, IL: Springer. 1.
- Ozimek, E., Wicher, A., Szyfter, W., & Szymiec, E. (2006). Distortion product otoacoustic emission (DPOAE) in tinnitus patients. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(1), 527–538.
- Sağiroğlu Güzelsoy, S. (2004). Orta kulak patolojilerinin ve bunlara bağlı işitme kayıplarının geçici uyarılmış ve distorsiyon ürünü otoakustik emisyon değerlerinin üzerine etkisi. Uzmanlık tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Sağiroğlu, S. G., Özdemir, S., Sürmeliöğlu, Ö., & Öztarakçı, H. (2014). The importance of otoacoustic emissions in the assessment of hearing. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 23(4), 764–772.
- Schweinfurth, J. M., Cacace, A. T., & Parnes, S. M. (1997). Clinical applications of otoacoustic emissions in sudden hearing loss. *Laryngoscope*, 107(11), 1457–1463.
- Sennaroğlu, G., Yücel, E., Türkyılmaz, M. D., Çınar, B. Ç., & Batuk, M. (Ed.). (2018). Odyoloji klinik uygulama protokolleri. Ankara: Hipokrat Kitapevi. 65-70.
- Stach, B. A. (2010). Clinical audiology an introduction (2. Bs). Clifton Park, NY: Delmar Cengage Learning. 383-391.
- Turay, C. B. (2020). Manyetik rezonans görüntüleme yapılan hastalarda gürültünün periferik işitme organına olası etkisinin otoakustik emisyon cihazı ile değerlendirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Başkent Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, Ş. (2003). Otitis media öyküsü olan gençlerde otoakustik emisyonlar. Yüksek Lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne.