



BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KULAK BURUN BOĞAZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI
ODYOLOJİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

NORMAL İŞİTEN YETİŞKİNLERDE GENİŞ BANT
TİMPANOMETRİ ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN GELENEKSEL
TİMPANOGRAM ÖLÇÜMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Emre OCAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA

2019



BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KULAK BURUN BOĞAZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI
ODYOLOĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

NORMAL İŞİTEN YETİŞKİNLERDE GENİŞ BANT
TİMPANOMETRİ ÖLÇÜM DEĞERLERİNİN GELENEKSEL
TİMPANOGRAM ÖLÇÜMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre OCAK

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Selim Sermed Erbek

ANKARA

2019

KABUL VE ONAY



T.C
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Odyoloji Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Emre Ocak tarafından yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 23/09/2019

Tez Konusu :“ Normal İşiten Yetişkinlerde Geniş Bant Timpanometri Ölçüm Değerlerinin Geleneksel Timpanogram Ölçümleri ile Karşılaştırılması”

TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Selim S. Erbek

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Prof.Dr. Selim S. Erbek

Başkent Üniversitesi


Prof.Dr. Levent N. Özlüoğlu

Başkent Üniversitesi

Doç.Dr. Suna Yılmaz

Ankara Üniversitesi

ONAY: Bu tez, Başkent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunun 26 / 2019 / 2019 tarih ve 44 / 1 Karar Sayısı ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Fatma Belgin ATAÇ
Enstitü Müdürü

ORJİNALLİK RAPORU



BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 03 / 09 / 2019

Öğrencinin Adı, Soyadı : Emre Ocak

Öğrencinin Numarası : 21610193

Anabilim Dalı : Kulak Burun Boğaz Hastalıkları

Programı : Odyoloji Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof.Dr.Selim Sermed Erbek

Tez Başlığı : Normal işiten yetişkinlerde geniş bant timpanometri ölçüm değerlerinin geleneksel timpanogram ölçümleri ile karşılaştırılması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 48 sayfalık kısmına ilişkin, 03 / 09 / 2019 tarihinde tez danışmanım tarafından TURNITIN adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 18'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

Onay

03 / 09 / 2019


Prof.Dr.Selim Sermed Erbek

ETİK KURUL ONAYI



BAŞKENT 25.
ÜNİVERSİTESİ Yıl

GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARARI		
PROJE NO	KARAR SAYISI	KARAR TARİHİ
KA18/441	19/17	23/01/2019

Kulak, Burun ve Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalında görev yapmakta olan Prof. Dr. Selim Sermed Erbek tarafından yürütülecek olan KA18/441 nolu "Normal işiten yetişkinlerde geniş bant timpanometri ölçüm değerlerinin geleneksel timpanogram ölçümleri ile karşılaştırılması" başlıklı araştırma projesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından incelendi ve etik açıdan uygun olduğuna karar verildi.

Prof. Dr. Hakan ÖZKARDEŞ

Prof. Dr. A. Füsün ÖNER EYÜBOĞLU

Prof. Dr. Mehtap AKÇİL OK

Prof. Dr. Neslihan ARHUN

Prof. Dr. H. Seyra ERBEK

Doç. Dr. Taner SEZER

Dr. Öğr. Üyesi Rifat V. YILDIRIM



ÖZET

Emre OCAK, Normal işiten yetişkinlerde geniş bant timpanometri ölçüm değerlerinin geleneksel timpanogram ölçümleri ile karşılaştırılması. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Odyoloji Programı Yüksek Lisans Tezi, 2019

Amaç: Timpanometri orta kulak esnekliğinin (kompliyans) dış kulak kanalındaki basınç değişikliğine bağlı olarak ölçülmesidir. Klasik timpanometri sıklıkla 226 Hertz (Hz) probe tonla uygulanmaktadır. 226 Hz ile 8000 Hz arasındaki tüm frekansları kapsayan ve dar bant klik uyaran ile elde edilen yüzlerce timpanogramın üç boyutlu (3D) analizini sağlayan yöntem ise geniş bant timpanometri (GBT) olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışmada GBT ile elde edilen 3 boyutlu veriler içerisinde çıkarılacak 226 ve 1000 Hz timpanogramların geleneksel yöntemlerle elde edilen 226 Hz ve 1000 Hz timpanogramlar ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Metodoloji: Bu çalışma herhangi bir otolojik şikayeti olmayan gönüllü sağlıklı bireyler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her katılımcıya saf ses odyometri, otoakustik emisyon, klasik 226 Hz ve 1000 Hz timpanometri ve GBT yapılmıştır. Her bir kulak için timpanometrik tepe basıncı (TTB), kompliyans ve kulak kanalı hacimleri (Vol) ölçülmüştür. Klasik timpanometri ve GBT’de ölçülen bu parametreler sağ ve sol kulaklar için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve iki cihazdan alınan sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar: Çalışmaya 18-40 yaş aralığında 62 sağlıklı birey (124 kulak) katılmıştır. 226 Hz’de timpanometrik tepe basıncı için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir. 1000 Hz’de timpanometrik tepe basıncı için her iki cihazın ölçüm sonuçları farklıdır. 226 Hz’de kompliyans için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel farklıdır. 1000 Hz’de kompliyans için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir. Gerek 226 Hz gerekse 1000 Hz’de kulak kanalı hacmi için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.

Tartışma: Konvansiyonel timpanometre ile geniş bant timpanometre arasında kompliyans ve timpanometrik tepe basıncı parametreleri arasında frekans bazında farklılıklar olduğu dikkati çekmiştir. Geniş bant timpanometrinin konvansiyonel timpanometriye çeşitli

üstünlükleri bulunmakla birlikte daha yaygın kullanımı için farklı etnisite ve yaş gruplarından daha fazla normatif veri toplanması gerektiğini düşünüyoruz.

Anahtar Kelimeler: geniş band, timpanometri, kompliyans, kulak hacmi.

ABSTRACT

Emre OCAK, Wideband tympanometry versus conventional tympanometry results in normal hearing adults, Baskent University, Institute of Health Sciences, Audiology Programme Master Thesis, 2019

Aim: Tympanometry is the measurement of middle ear elasticity (compliance) due to pressure changes in the outer ear canal. Classical tympanometry is often performed with 226 Hertz (Hz) probe tone. Broadband tympanometry (GBT), which covers all frequencies between 226 Hz and 8000 Hz, provides three-dimensional (3D) analysis of hundreds of tympanograms obtained with narrow-band click stimuli. In this study, it is aimed to compare 226 and 1000 Hz tympanograms to be extracted from 3D data obtained by GBT with 226 Hz and 1000 Hz tympanograms obtained by conventional methods.

Methodology: This study was conducted on healthy volunteers without any otological complaints. Each participant received pure tone audiometry, otoacoustic emission, classical 226 Hz and 1000 Hz tympanometry and GBT. Tympanometric peak pressure (TTB), compliance, and ear canal volumes (Vol) were measured for each ear. These parameters, measured in classical tympanometry and GBT, were evaluated separately for the right and left ears and the results obtained from the two devices were compared statistically.

Results: The study included 62 healthy individuals (124 ears) aged 18-40 years. The measurement results of both devices for tympanometric peak pressure at 226 Hz were statistically similar. The measurement results of the two devices for the tympanometric peak pressure at 1000 Hz are different. The measurement results of both devices for compliance at 226 Hz are statistically different. The measurement results of both devices for compliance at 1000 Hz are statistically similar. The measurement results of both devices for ear canal volume at both 226 Hz and 1000 Hz were statistically similar.

Conclusion: It was noted that there were differences in frequency and compliance between conventional tympanometry and broadband tympanometer and compliance and tympanometric peak pressure parameters. Although broadband tympanometry has several

advantages over conventional tympanometry, we think that more normative data should be collected from different ethnicities and age groups for its more widespread use.

Key words: wideband, tympanometry, compliance, ear canal volume

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	iii
ETİK KURUL ONAYI.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
TABLO LİSTESİ	xii
RESİM LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Dış Kulak	3
2.1.1. Embriyoloji	3
2.2. Orta Kulak.....	5
2.2.1. Embriyoloji	5
2.2.2. Anatomi.....	5
2.2.3. Dış Duvar	6
2.2.4. Alt Duvar.....	7
2.2.5. Üst Duvar	7
2.2.6. İç Duvar.....	7
2.2.7. Ön Duvar	8
2.2.8. Arka Duvar.....	8
2.3. Kemikçikler	8
2.3.1. Malleus.....	8
2.3.2. İnkus.....	8
2.3.3. Stapes	9
2.3.4. M. Tensor Timpani	9
2.3.5. M.Stapedius.....	10
2.3.6. Korda Timpani	10
2.3.7. Östaki Borusu.....	10
2.4. İç Kulak.....	11
2.4.2. Anatomi.....	12

2.4.2.1. Kemik Labirent.....	12
2.4.2.2. Membranöz Labirent	12
2.4.3. Akustik İmmitans	14
2.4.3.1. Akustik Admitans (Y_a).....	14
2.4.3.1.1. Akustik Kondüktans (G_a).....	15
2.4.3.1.2. Akustik Suseptans (B_a)	15
2.4.3.2. Akustik İmpedans (Z_a).....	15
2.4.3.2.1. Akustik Rezistans (R_a)	15
2.4.3.2.2. Akustik Reaktans (X_a).....	16
2.4.3.2.3. Timpanometri	16
2.4.3.2.4. Tek Frekans Timpanometri.....	16
2.4.3.3. Timpanogram Parametreleri.....	17
2.4.3.3.1. Eşdeğer Kulak Kanalı Hacmi (<i>Equivalent Ear Canal Volume, Vea</i>).....	17
2.4.3.3.2. Kompanse Edilmiş Statik Akustik Admitans, Statik Admitans (<i>Peak Compensated Static Acoustic Admittance, Ytm</i>).....	17
2.4.3.3.3. Timpanometrik Tepe Basıncı (<i>Tympanometric Peak Pressure, TPP</i>)	17
2.4.3.3.4. Timpanometrik Gradyan (<i>Tympanometric Gradient</i>)	17
2.4.3.3.5. Timpanogram Genişliği (<i>Tympanometric Width, TW</i>).....	18
2.4.3.4. Geniş Bant Timpanometri (GBT).....	18
3. GEREÇ VE YÖNTEM	21
3.1. Bireyler	21
3.2. Çalışmaya Dahil olma Kriterleri.....	21
3.3. Kullanılan Testler ve Yöntem.....	22
3.4. Saf Ses Odyometrisi.....	22
3.5. OAE Ölçümleri	22
3.6. İmmitansmetri ve GBT Ölçümleri	22
4. BULGULAR	24
5. TARTIŞMA	26
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	32
7. KAYNAKÇA	33

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Demografik bilgiler	24
Tablo 2. 226 Hz TTB	24
Tablo 3. 1000 Hz TTB	25
Tablo 4. 226 Hz kompliyans	25
Tablo 5. 1000 Hz kompliyans	25
Tablo 6. 226 Hz hacim	26
Tablo 7. 1000 Hz hacim	26

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1. Aurikula	4
Resim 2. Orta kulağın dış kulak ve iç kulak ile ilişkisi	6
Resim 3. Kemikçik zincir	9
Resim 4. Östaki borusu	11
Resim 5. İç kulak	13
Resim 6. 3 Boyutlu Timpanogram	19
Resim 7. Geniş Bant Timpanometri Grafiği	28
Resim 8. Absorbans Grafiği	29

1. GİRİŞ

Timpanometri orta kulak esnekliğinin (kompliyans) dış kulak kanalındaki basınç değişikliğine bağlı olarak ölçülmesidir. Orta kulak patolojileri hakkında fizik muayeneden sonra güvenilir sonuçlar verir. Bunun yanında hızlı ve kolay uygulanabilirliğinin yanında düşük maliyetli olması nedeniyle günümüzde kulak burun boğaz ve odyoloji kliniklerinde oldukça sık tercih edilmektedir.

Klasik timpanometri sıklıkla 226 Hertz (Hz) probe tonla uygulanmaktadır. Düşük frekanslarla yapılan testlerde kulak sıklıkla katılık etkisi altındayken yüksek frekanslarda bu, kütle etkisi altına geçmektedir. Farklı frekansların kullanılması özellikle orta kulak patolojilerinin tanısında yarar sağlamaktadır. 226 Hz ile 8000 Hz arasındaki tüm frekansları kapsayan ve dar bant klik uyaran ile oluşturulan yüzlerce timpanogramın üç boyutlu analizini sağlayan yöntemle geniş bant timpanometri (GBT) ismi verilmiştir.

Yüksek frekanslı probe tonlar orta kulakta kütle etkisini artıran patolojilerde daha çok değer taşımaktadır. Bu bağlamda GBT sonuçları ilerlemiş otoskleroz, ossiküler zincir kopuklukları, primer kolesteatoma, orta kulak tümörleri, ve fibröz displazinin ayırıcı tanısında daha da önem kazanmaktadır.

GBT ile 226 Hz ile 8000 Hz arasındaki tüm timpanogramların tek bir ölçüm ile elde edilmesi test süresini oldukça kısaltmaktadır. Özellikle 4-8 ay grubundaki çocuklarda hangi probe tonun kullanılacağı bir tartışma konusudur. Mevcut uygulamada birçok klinikte bu gibi durumlarda 226 Hz ve 1000 Hz timpanogramları ayrı ayrı ölçülmektedir.

Ayırıcı tanıdaki avantajlarına rağmen ne yazık ki GBT'nin kullanımı klinik uygulamada halen çok yaygınlaşmamıştır. GBT ölçümlerinin rutin test bataryasına dahil edilememesinin önemli bir sebebi ise ölçümlerin standart tek probe tonlu timpanometriye oranla daha karmaşık ve anlaması güç oluşudur. Ayrıca, standart sonuçların sayısının az oluşu ve GBT'nin klinikteki kullanımında sağlayacağı yararlar üzerine az sayıda araştırma olması da GBT'nin kliniklerde kullanımını kısıtlamaktadır.

Bu alışmada GBT ile elde edilen 3 boyutlu veriler içerisinden çıkarılacak 226 ve 1000 Hz timpanogramların geleneksel yöntemlerle elde edilen 226 Hz ve 1000 Hz timpanogramlar ile karşılaştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Kulak kepçesi ve dış kulak kanalını içeren dış kulak; kemikçikler, östaki tüpü ve mastoid hücreleri kapsayan orta kulak ve koklea ile vestibüler sistemi ihtiva eden iç kulak olmak üzere üç bölümden oluşur (1).

2.1. Dış Kulak

2.1.1. Embriyoloji

Embriyolojik hayatın üçüncü haftasında birinci ve ikinci arklardan “His’in tomurcukları” diye isimlendirilen 6 tomurcuk oluşur. İlk 3 tomurcuk birinci brankial arkusdan, son 3 tomurcuk ikinci brankial arkustan oluşur. His tomurcuklarının birleşmesi ile 12’nci haftada kulak kepçesi oluşur. Erişkin formunu 20’nci haftada alır. Dokuz yaşında erişkindeki boyutlarına erişir. Dış kulak kanalı oluşumu ise, embriyolojik hayatın sekizinci haftasında birinci farengeal cebin derinleşmesi ile başlar. Dış kulak kanalının kemikleşmesi 3 yaşında tamamlanır ve 9 yaşında erişkin formunu alır. Brankial ektoderm ile farengeal endodermin karşı karşıya geldiği bölge timpanik membranı oluşturur.

Kulak zarı ise üç tabakanın birleşmesinden oluşur. Dışta ektodermal epitel, ortada mezodermal fibröz doku, içte ise endodermal mukoza vardır (2).



Resim 1. Aurikula

2.1.2. Anatomi

Kulak kepçesi (aurikula), çene eklemi ile mastoid kemik arasında bulunan ve sesin dış kulak kanalına yönlendirilmesini sağlayan, üzeri ince deri ile sıkıca kaplı olan bir organdır (Resim 1).

Dış kulak kanalı, kepçeden kulak zarına kadar olan bölümü içine alır ve dış kısmı kartilaj, iç kısmı kemikten meydana gelen iki ana parçadan oluşur. Dış kulak yolu oblik seyreder. Erişkinde arka duvar yaklaşık 26 mm, ön duvar ise yaklaşık 32 mm uzunluğundadır. Pediatrik popülasyonda kıkırdak bölümü biraz daha uzundur. Dış kulak kanalını kaplayan deri, subkütan yağ dokusu olmadığı için çok incedir (3). Kanal içinde “Santorini fissürleri” denilen fibröz kanallar bulunmaktadır ve dış kulak kanalındaki çeşitli patolojilerin parotis bezine veya çene eklemine yayılmasına yol açabilir.

Aurikulanın ön taraf cildinin sensitif innervasyonunu nervus aurikulotemporalis, kavum konkanın innervasyonunu ise nervus vagus’un duysal dalları ile nervus facialis sağlar. Kulak lobülünün sensitif innervasyonu ise C2-C3’ten köken alan nervus auricularis magnus tarafından sağlanır. Beşinci kranial sinirin auriculotemporal dalı dış kulak kanalının ön yüzünün, nervus vagusun auricular dalı ile nervus facialis sinirleri arka yüzünün sensitif innervasyonunu sağlar (4).

Dış kulağın arteriyel beslenmesi eksternal karotid arterin a.temporalis superfisialis ve a.aurikularis posterior dallarıyla sağlanır.

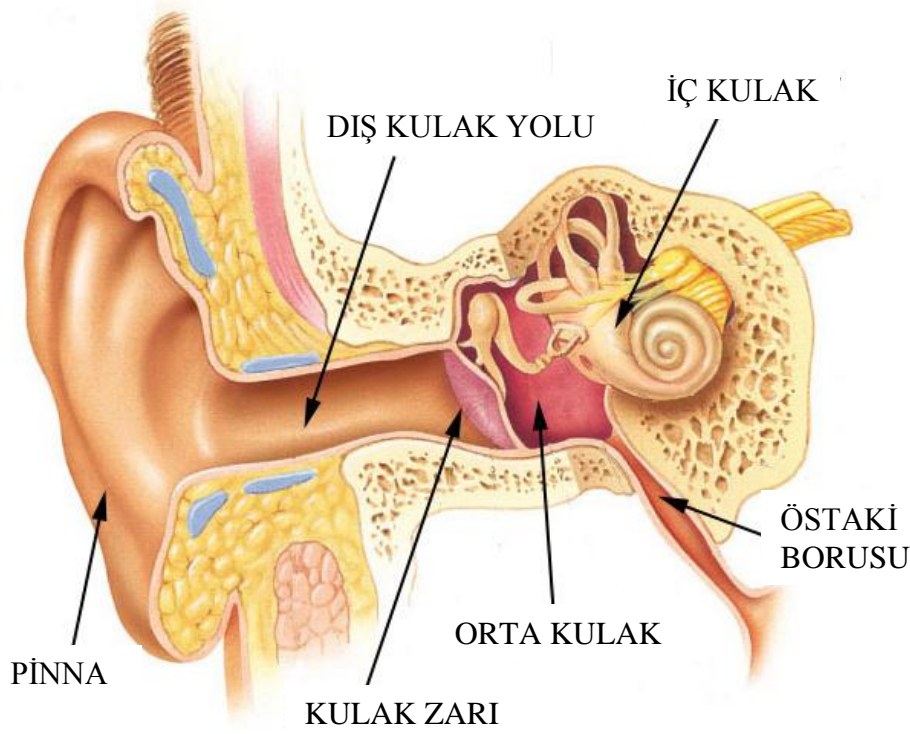
2.2. Orta Kulak

2.2.1. Embriyoloji

İntrauterin üçüncü haftada dışa doğru bir kanal şeklinde büyüyen birinci farengeal cep orta kulak ve östaki tüpünü oluşturur. Orta kulak kemikçikleri ilk iki brankial arkların mezoderminden oluşur. Birinci brankial ark mezoderminden malleusun baş ve boyun kısımları, inkus gövdesi ve kısa kolu oluşurken ikinci brankial ark mezoderminden; manibrium mallei, inkusun uzun kolu ve stapes gelişmektedir. Bu bölgenin embriyolojik gelişimini yaklaşık olarak 31. haftada tamamlanır. Doğumda, yalnızca orta kulak boşluğu ve antrum var iken mastoid kemik ve bu kemiğe ait hücreler daha sonradan oluşmaktadır (5).

2.2.2. Anatomi

Timpanik zar ile iç kulak arasında bulunan 6 duvarlı boşluktur (Resim 2). Östaki tüpü aracılığıyla nazofarenks, aditus ad antrum aracılığıyla mastoid hücrelerle bağlantılıdır. Orta kulak boşluğunun hacmi takriben 2 cc'dir. Üç kısımda incelenir; timpanik zar hizasında kalan mezotimpanum, bu bölümün süperiorunda yer alan epitimpanum ve inferiorunda kalan hipotimpanum (6).



Resim 2. Orta kulağın dış kulak ve iç kulak ile ilişkisi

2.2.3. Dış Duvar

Dış bölümü timpanik membran oluşturur. Timpanik membran takriben 8 mm genişliğinde, 10 mm yüksekliğinde ve 0.1 mm kalınlığında bir zardır. Sulcus timpanikus içinde yer alan ve annulus timpanikus ismi verilen fibröz bir halka vardır ve timpanik membranın büyük (yaklaşık 7/8) bölümünü çevreler. Geniş olan inferior bölümü pars tensa olarak anılır ve gergin olan kısımdır. Küçük olan üst parça pars tensaya göre daha gevşek olup fibröz tabaka içermez ve pars flaksida olarak isimlendirilir. Toplamda 80 mm² olan timpanik membranın titreşen bölümü takriben 55 mm²'dir. Membrandaki en belirgin alan olan manubrium superiordan inferiora seyreder ve membranın yaklaşık orta noktasında sonlanır. Buraya umbo ismi verilir. Timpanik membrandaki lezyonları tarif ederken manubriumdan geçen hat ile umbo seviyesinde buna dik geçen diğer bir hayali çizgi kullanır. Böylece timpanik membran 4 kadrana ayrılır. Otoskopik muayene esnasında sağlıklı bir membranda ışık kaynağının üçgen şeklinde refleksi alınmalıdır. Buna Politzer üçgeni adı verilir. Zarın beslenmesini internal maksiller arterin dalları ile stilomastoid arterden gelen arteriyollerin oluşturdukları anastomozlar sağlar. Membranın

innervasyonu vagus sinirinin n.aurikularis dalı ve nervus mandibularis'in dalları tarafından sağlanır.

2.2.4. Alt Duvar

Hipotimpanumun alt bölgesidir ve Jacobson sinirinin orta kulak boşluğuna girdiği canaliculi timpanici ismi verilen bir delik vardır.

2.2.5. Üst Duvar

Epitimpanumun üst kısmıdır. Orta kulağı orta kafa çukurundan ayıran kemik duvara tegmen timpani ismi verilir.

2.2.6. İç Duvar

Orta kulağı iç kulaktan ayıran önemli yapılar bu bölgededir. Kohleanın bazal kıvrımının oluşturduğu kabarıntıya promontorium ismi verilir. Promontorium üzerindeki oyukta timpanik pleksus yer alır. Bu pleksus timpanik sinir ile karotid pleksustan ayrılan sempatik sinirlerin oluşturduğu bir sinir ağıdır. Promontoriumun arka-alt bölümünde yuvarlak pencere, arka-üst bölümünde ise oval pencere bulunur. Oval pencereye stapes tabanı oturur. Oval pencerenin hemen süperior kısmında nervus facialis'in timpanik segmenti geçer. Bunun da üzerinde lateral semisirküler kanalın çıkıntısı vardır.

2.2.7. Ön Duvar

Ön duvar, üstte canalis musclic tensor timpani, altta östaki tüpünün timpanik orifisi arasında yer alır.

2.2.8. Arka Duvar

Antrum ile orta kulak kavitesini bağlayan aditus arka duvarda bulunur. Bunun dışında m.stapedius tendonunun çıktığı eminensiya piramidalis de arka duvarda yer alır. Lateralde korda timpani ve dış kulak kanalı, süperiorda ise fasiyal resess yer alır. Yuvarlak ve oval pencerelerin posteriorunda, eminensiya piramidalis'in altında nervus facialis kanalına doğru uzanan girintiye sinüs timpani ismi verilir.

2.3. Kemikçikler

2.3.1. Malleus

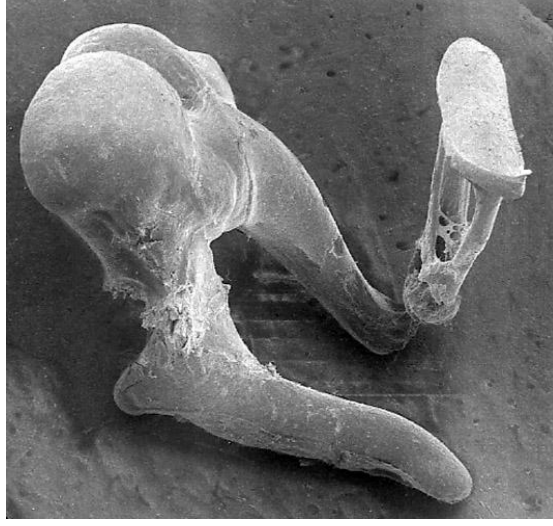
Orta kulaktaki en büyük ve en lateralde yer alan kemikçiktir. Manubrium, kaput ve kolum adı verilen üç parçası vardır. Gelişimi intrauterin 16. haftada başlar ve 24. haftada tamamlanır.

2.3.2. İnkus

İnkusun gelişimi intrauterin 16. haftada başlar, 24. haftada tamamlanır. Kısa kol, gövde ve uzun kol olmak üzere 3 bölümü vardır. İki kol arasında yaklaşık 100 derecelik açı vardır. Uzun kolu stapes başı ile eklem yapar. Uzun kolun eklem bölgesindeki hafif kalınlaşmış bölümüne lentiküler proses adı verilir. Kısa kolu fossa incudise yerleşmiştir.

2.3.3. Stapes

İnsan vücudunun en küçük kemiğidir. Gelişimi diğer kemikçiklere göre daha uzun sürede tamamlanır. Ön krus, arka krus ve taban olmak üzere 3 kısımda incelenir. Anüler ligaman aracılığıyla taban oval pencereye oturur (Resim 3).



Resim 3. Kemikçik zincir

Orta kulakta bulunan kemikçikler çeşitli kaslar (m.tensor timpani ve m.stapedius) ve ligamanlar yardımıyla pozisyonlarını korurlar.

2.3.4. M. Tensor Timpani

Östaki tüpüne paralel seyrederek ve tendonu, malleusun boyun kısmına yapışır. Kasıldığında manubriumu mediale doğru çeker ve kulak zarını gerer.

2.3.5. M.Stapedius

Arka duvarda bulunan piramidal eminens içinde bulunur ve tendonu stapes arka bacağına yapışır. Kasıldığında iç kulağı yüksek sestten korur.

Vasküler orta kulak mukozası seyri sırasında çeşitli katlantılar, kıvrımlar ve cepler oluşturur. Anterior ve posterior malleolar kıvrımlar ile timpanik membran arasındaki ceplere Von Troeltsch poşları ismi verilir. Timpanik membranın pars flaksida parçası ile malleus boynu arasında kalan boşluğa ise Prussak cebi adı verilir.

Orta kulağı eksternal karotid arterin dalları besler. Venöz drenaj ise süperior petrosal sinüse veya pterigoid pleksusa olur. Nöronal uyarımı nervus glossofarengicus sinirinin timpanik dalı, nervus aurikülotemporalis karotid pleksus ve süperior servikal gangliyonun gelen sempatik dalları sağlar.

2.3.6. Korda Timpani

Dilin 2/3 ön bölümünün tat duyusunu taşır. Bunun dışında sublingual ve submaksiller bezlere uyarılar taşır. Nervus facialis'den fissura petrotimpanica'da ayrılıp inkus uzun kolu ve manubrium mallei arasından geçer.

2.3.7. Östaki Borusu

Nazofarenks ile orta kulak boşluklarını bağlayan bir borudur. Orta kulağa yakın kısmı kemikten, nazofarenkse yakın kısmı ise kıkırdaktan oluşmaktadır (Resim 4). Nazofarenkse açılan ağzı alt konkanın posteriorunda rosenmüller çukurunda yer alır. Çocuklarda yaklaşık 17 mm iken erişkinlerde yaklaşık 35 mm uzunluğundadır. Çocukluk döneminde yaklaşık 10 derece açıda duran tüp, erişkinde takriben 45 dereceye ulaşır. Orta kulak havalanmasına katkıda bulunan östaki tüpü temel olarak 2 kas tarafından sarılır; tensor veli palatini ve levator veli palatini. Tüpünün ağzının açılmasından esas olarak tensor veli palatini kası sorumludur (7).



Resim 4. Östaki borusu

2.4. İç Kulak

2.4.1. Embriyoloji

Fetal hayatın dördüncü haftasında, ektodermden gelişmeye başlar. Yirmi dördüncü haftaya kadar gelişimi devam eder. Otik çukur derinleşerek otik vezikülü oluşturacak olan kese halini alır. Dördüncü haftada oluşan otik vezikülden kohlea, semisirküler kanallar ve vestibül meydana gelir.

2.4.2. Anatomi

İç kulak temporal kemiğin petröz parçasında bulunur. Denge ve işitme ile ilgili özelleşmiş duyu hücrelerini barındırır (Resim 5). İki ana bölümde değerlendirilir:

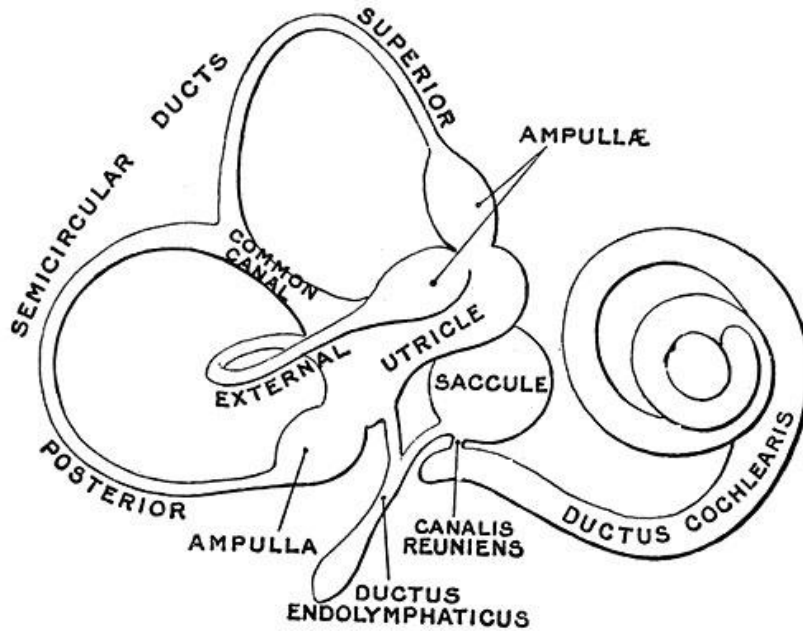
2.4.2.1. Kemik Labirent

- **Kohlea:** İnternal karotid arterin hemen süperiorunda bulunur. Merkezde modiulus adı verilen kemik yapı etrafında $2^{3/4}$ tur yapar. Modiulus spiral şeklinde bir yapı olup kohlea için bir eksen görevi görür. Modiulus içindeki ince osseöz kanallara spiral kanallar denir ve içinden kohlear damarlar ve kohlear sinirin lifleri geçer. İşitmenin birinci nöronu olan spiral ganglion da burada bulunur.
- **Semisirküler kanallar:** Süperior, horizontal ve posterior olmak üzere üç adet semisirküler kanal bulunmaktadır. Bu kanallar kendi aralarında 90 derecelik açı olacak şekilde üç ayrı düzlemde bulunurlar.
- **Vestibulum:** Çapı yaklaşık 4 mm olan bir boşluktur. Sferik girinti içinde sacculus, eliptik girinti içinde ise utriculus bulunur. Lateral duvarı yuvarlak ve oval pencereler aracılığıyla orta kulak boşluğu ile bağlantılıdır.

2.4.2.2. Membranöz Labirent

- **Korti organı:** Ductus cochlearisin içerisinde bulunur. Organum spirale olarak da isimlendirilir.
- **Semisirküler kanallar:** Membranöz labirent süperior ve horizontal semisirküler kanalların ön delikleri ile posterior semisirkülerkanalın alt deliğinin etrafında genişleyerek ampulla ismi verilen bir bombelik yapar. Ampullanın içerisinde yer alan crista ampullariste duyu epiteli bulunur.

- **Utrikulus:** Vestibulumun medial duvarında yer alır. Duvarında makula adı verilen bölümde denge duyusunu alan özelleşmiş hücreler bulunur.
- **Sakkulus:** Vestibulum medial duvarında yer alır. Utriculusta olduğu gibi makula adı verilen bölüm ve burada dengeyle ilgili uyarıları alan özelleşmiş duyu epiteli bulunur.
- **Endolenfatik kanal:** Aquaductus vestibuli isimli kemik kanal içerisinde bulunur.



Resim 5. İç kulak

İç kulağın komşu yapılarla bağlantısını sağlayan bazı önemli anatomik boşluk ve yollar vardır:

- **Aqueductus Vestibuli:** İçerisinde endolenfatik kanal bulunur. Endolenfatik kesede sonlanır.
- **Aqueductus Cochlea:** İçerisinde perilenfatik duktus yer alır. Skala timpaniden başlayıp subaraknoid boşluğa açılır. Menenjit sonrası kohlear ossifikasyon için potansiyel geçit yoludur.

- **Oval Pencere:** Vestibül ile stapes tabanı arasında bulunur.
- **Yuvarlak pencere:** Oval pencere ile birlikte orta kulak ile iç kulak arasındaki bağlantı noktalarından biridir (8).

2.4.3. Akustik İmmitans

Admitansın ve impedans terimlerinin birlikte ifade edilmesidir. Bunları belirleyen değişkenler sertlik, kütle ve sürtünme etkileridir (9-11).

2.4.3.1. Akustik Admitans (Y_a)

Ses enerjisinin bir system üzerinden geçiş kolaylığı anlamına gelmektedir. Birimi akustik mmho'dur. Deniz seviyesinde 226 Hz frekansında titreşen bir ses dalgası için 1 cm^3 havanın admitansı 1 akustik mmho olarak ifade edilir. Bazı kaynaklarda admitans birimi olarak ml veya cm^3 de kullanılmaktadır (9, 10).

Havanın admitansı ise ses enerjisini soğurma kapasitesi olarak tanımlanabilir. Yani 1 akustik mmho, deniz seviyesindeki 1 cm^3 havanın soğurduğu 226 Hz frekansında titreşen ses dalgası enerjisi miktarıdır. Yapılan çalışmalara göre havanın admitansı frekanslara göre değişiklik göstermektedir (11) (Şekil 2.1). Akustik admitansın kondüktans ve suseptans olmak üzere iki alt unsuru bulunmaktadır (11, 12).

2.4.3.1.1. Akustik Kondüktans (G_a)

Akustik kondüktans sürtünme etkisi ile oluşmaktadır (9).

2.4.3.1.2. Akustik Suseptans (B_a)

Akustik admitansın diğer alt unsuru olan suseptans kütle ve sertlik etkileri sebebiyle oluşmaktadır. Kütle suseptansı (*Mass Susceptance, B_{ma}*) ve sertlik suseptansının (*Stiffness Susceptance, B_{sa}*) toplamı olarak ifade edilebilir. Bazı kaynaklarda sertlik suseptansına (B_{sa}), komplians suseptansı da denilmektedir (10). Kütle ve komplians suseptans vektörleri, aynı doğrultuda fakat karşıt yönlü vektörlerdir. Rezonans frekansında (RF) ise 2 vektör eşit büyüklüktedir. Akustik suseptans, RF altındaki frekanslarda (+) değer almaktayken RF'nin üstündeki frekanslarda (-) değer almaktadır.

2.4.3.2. Akustik İmpedans (Z_a)

Akustik impedans ses enerjisine karşı sistemin gösterdiği direnci ifade eder. Birimi akustik ohm'dur. Deniz seviyesinde 226 Hz frekansında titreşen bir ses dalgası için 1 cm^3 havanın impedansı 1000 akustik ohm'dur. Birim olarak ml veya cm^3 de kullanılmaktadır (10). Akustik rezistans ve akustik reaktans olmak üzere iki alt unsuru bulunmaktadır (10).

2.4.3.2.1. Akustik Rezistans (R_a)

Sürtünme etkisi nedeniyle oluşmaktadır (9).

2.4.3.2.2. Akustik Reaktans (X_a)

Akustik impedansın diğerk alt unsurudur. Kütlev ve sertlik etkileri nedeniyle oluşmaktadır. Kütlev ve sertlik reaktans vektörleri, aynı doğrultuda fakat ters yönlü vektörlerdir. RF’de iki vektör eşit büyüklüktedir (9-11).

2.4.3.2.3. Timpanometri

Orta kulak esnekliğinin dış kulak kanalında meydana gelen basınç değişikliğine bağlı olarak ölçülmesidir. Bir timpanogramda x ekseni basınç değerini gösterirken y ekseni admitans miktarını göstermektedir (12).

Dış kulak kanalına yerleştirilen bir prob aracılığıyla verilen sesin; orta kulak boşluğunda değişen basınç oluşumunda oluşturduğu mekanik cevap, yine aynı probda yer alan mikrofon ile kaydedilip sonuçlar “Timpanogram” ismi verilen 2 boyutlu bir grafikte gösterilmektedir.

2.4.3.2.4. Tek Frekans Timpanometri

Dış kulak yolunda konumlandırılan probun hava pompalaması ve emmesi ile dış kulak yolundaki hava basıncının değiştirilmesi sırasında probdan timpanik membrana gönderilen ses uyarının immitansının dinamik ölçümünü ifade eder. Orta kulak ileti sisteminin bütünlüğü, orta kulak basıncı, üstaki tüpü işlevi ve dış kulak yolu hacmi ile ilgili çok önemli bilgiler verir. Orta kulakta meydana gelen çeşitli patolojilerin sistem iletkenliği üzerinde oluşturduğu çeşitli değişikliklerin anlaşılmasına yardımcı olur ve bu yönüyle iletim tipi kayıpların ayırıcı tanısında sıklıkla kullanılır.

Timpanometri esas olarak üç kısımdan oluşmaktadır;

Hoparlör: 226 Hz’de sesi verir.

Mikrofon: Timpan zardan yansıyan sesi alır.

Manometre: Dış kulak yolundaki basıncı değiştirir.

Sağlıklı kulakta yapılan timpanometri sonuçları incelendiğinde maksimum pozitif ve maksimum negatif basınçlarda admittans'ın minimuma düştüğü görülür. Bu uç basınçlarda iletim sistemi sertleşerek akustik enerji iletimine minimal izin verir. Dış kulak yolundaki basınç orta kulak basıncına yaklaştığında iletilen akustik enerji gittikçe yükselir. Timpanik membranın her iki tarafında basınç eşitlendiğinde orta kulak admittansı maksimum olur ki bu derece timpanometrik tepe basıncı denir. Normal kulaklarda bu değer -50 ile +50 daPa arasındadır (12).

2.4.3.3. Timpanogram Parametreleri

2.4.3.3.1. Eşdeğer Kulak Kanalı Hacmi (*Equivalent Ear Canal Volume, Ve*)

Timpanik membran geçirgenliğinin 0 kabul edildiği noktada ölçülen admitansa verilen isimdir. Bu nokta 226 Hz timpanometrelerde 200 daPa olarak kabul edilmektedir. Birim olarak ml, mmho veya cm³ kullanılmaktadır (12).

2.4.3.3.2. Kompanse Edilmiş Statik Akustik Admitans, Statik Admitans (*Peak Compensated Static Acoustic Admittance, Y_{tm}*)

Bu terim esasen orta kulak admitansını tanımlamak için kullanılmaktadır. Toplam admitans ile dış kulak kanalı hacminin farkından elde edilen admitans miktarıdır. Birim olarak mmho, ml veya cm³ kullanılabilir. Timpanik membranın medial ve lateral taraflarındaki basınçların eşit olduğu nokta geçirgenliğin en yüksek, dolayısıyla admitansın da en yüksek olduğu değerdir (13, 14).

2.4.3.3.3. Timpanometrik Tepe Basıncı (*Tympanometric Peak Pressure, TPP*)

Admitans değerinin en yüksek olduğu (geçirgenliğin en fazla olduğu) noktadan x eksenine çizilen dik bir çizgide o noktaya düşen basınç değerine verilen isimdir (13,14).

2.4.3.3.4. Timpanometrik Gradyan (*Tympanometric Gradient*)

Timpanometrik gradyan, esasen timpanogramın eğimini ifade eden bir terimdir. Bir timpanogramda, genişliğin 100 daPa olduğu noktadan x eksenine doğru paralel bir çizgi çekildiğinde, admitans miktarı ile çizilen çizgi arasında kalan admitansın (h1), toplam

admitansa (timpanogram yüksekliğine-h2) oranı (h_1 / h_2) gradyanı verir. Birim olarak ml veya mmho kullanılabilir. (15,16).

2.4.3.3.5. Timpanogram Genişliği (*Tympanometric Width, TW*)

Yarı yükseklikteki timpanogramın genişliğinin x ekseninde denk geldiği toplam basınç değerine verilen isimdir (16). Birim olarak daPa kullanılır (13).

2.4.3.4. Geniş Bant Timpanometri (GBT)

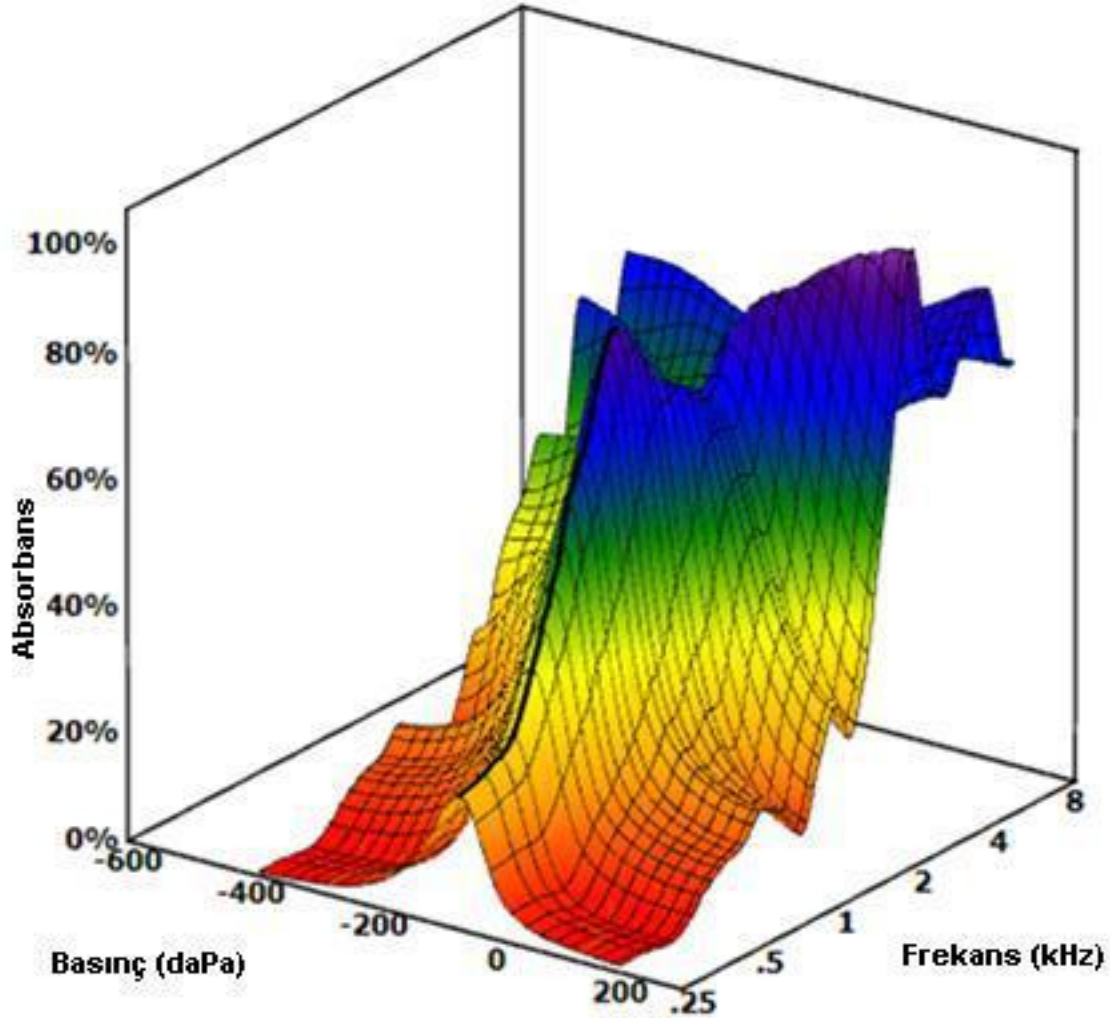
Çalışma felsefesi klasik timpanometriye benzer olan Geniş Bant Timpanometri (GBT), Douglas Keefe tarafından geliştirilmiş ve çeşitli orta kulak fonksiyonlarının analizinde kullanılan görece yeni bir ölçüm metodudur. Orta kulağın yanı sıra dış kulak kanalı hakkında da çeşitli bilgiler verir.

GBT ile, 226 ila 8000 Hz arası frekanslar geniş bant uyaran kullanılarak absorbans ve reflektans değerlerine ulaşılır. Bu değerler orta kulak hakkında frekansa spesifik birçok değerli bilgi verir (17).

Dış kulak kanalından orta kulağa bir akustik enerji gönderilir. Absorbans, bu gönderilen enerjinin orta kulak tarafından emilen miktarı ve bu emilen akustik gücün verilen akustik güce oranını göstermektedir. Reflektans ise absorbans teriminin tam tersi olup sistem tarafından emilmeyip dışarı yansıtılan enerjiyi ifade eder (18).

GBT ölçümü sırasında her bir frekansta ve farklı basınlarda aynı anda absorbans ve reflektans ölçümü yapılarak basınç, absorbans ve frekans değerlerini gösteren bir 3 boyutlu grafik elde edilir (Resim 6).

Çalışma mekanizması geleneksel timpanometriye benzemekle birlikte, uyarın tipinin farklı olması nedeniyle kendine özgü bir yöntemdir. Geleneksel timpanometride kullanılan probta uyarın olarak saf ses kullanılır. GBT'de ise geniş frekans aralığını kapsayan klik uyarın kullanılmaktadır. 3 boyutlu timpanogramda yer alan x eksenini basınç değerlerini gösterirken, y eksenini orta kulağın absorbans değerini, z eksenini ise frekans değerlerini göstermektedir.



Resim 6. Üç boyutlu timpanogram

GBT ile elde edilen başka bir değer olan RF ise; orta kulak titreşiminin en fazla olduğu, bununla birlikte kütle ve katılık kuvvetlerinin minimum olup, esas olarak sürtünme kuvvetinin etkili olduğu frekansı ifade eder. Dış ve orta kulak fonksiyonlarını göstermesi açısından çok önemli bir parametredir. Kulak zarı, gelen birçok farklı akustik uyarın içinde en fazla RF'de mobilize olur. Yani RF membranın en az enerjiyle en fazla hareket ettiği

frekansı göstermektedir. İç kulağa dış ve orta kulak tarafından en fazla akustik enerji RF'de iletilebilmektedir. RF, orta kulağın kütle ve kompliyansındaki değişimlerden etkilenmektedir ve kolesteatoma veya tmor gibi kütleye bağlı patolojilerde düşerken timpanosklerozis gibi katılığa bağlı patolojilerde artar.

Geleneksel timpanometri ile karşılaştırıldığında GBT'nin üstünlüklerinden biri dış kulak kanalında basınc değişikliği oluşturmaksızın ölçüm yapılabilmesidir. Bu sayede, timpanoplasti sonrası erken dönemde de dış ve orta kulak hakkında önemli bilgiler edinilebilir (18).

Geleneksel timpanometriden farklı bir terminoloji kullanılmaktadır. Bu nedenle GBT'nin tam olarak anlaşılması adına absorbands ve reflektans kavramlarının bilinmesi gerekmektedir. Yukarıda da değinildiği gibi absorbands, orta kulak tarafından emilen, reflektans yansıtılan sesi ifade eder. Birbirleriyle ters orantılı olan bu iki kavramın değerleri her zaman 0-1 arasındadır.

Bunun dışında GBT, geleneksel 226 Hz ve 1000 Hz timpanometri ölçümlerini de yapabildiği için belirli normatif ve klinik verilerini karşılaştırmaya olanak sağlamaktadır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz Hastalıkları polikliniğine ayaktan başvuran gönüllü katılımcılar ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya katılan bireyler çalışmanın kapsamı ve amacı hakkında bilgilendirilmiş, yazılı izinleri alınmıştır. Çalışma, Başkent Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 23/01/2019 tarih ve 19//17 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

3.1. Bireyler

Çalışmaya dahil edilen bireylerin demografik bilgileri (yaş, cinsiyet, meslek, adres/tel. no.) ile ayrıntılı tıbbi hikayeleri ve özgeçmişleri alınmıştır. Çalışmaya 18-40 yaş aralığında 62 birey (124 kulak) dahil edilmiştir.

3.2. Çalışmaya Dahil olma Kriterleri

- Otoskopik/mikroskopik muayenede herhangi bir dış kulak yolu ve/veya timpanik membran patolojisinin bulunmamış olması
- Dış kulak yolunu tıkkayıcı, ölçümü engelleyen serümen olmaması
- Kulak cerrahisi öyküsü olmaması (timpanoplasti, ventilasyon tüpü uygulaması vb)
- Elektro akustik immitansmetri değerlendirmesinde, orta kulak basıncının ± 50 daPa sınırlarında olması ve Jerger Tip A timpanogram trasesi izlenmesi
- Aktif bir üst solunum yolu enfeksiyonu geçiriyor olmak
- Bilateral 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz'te hava-kemik aralığının 10 dB İS ve daha küçük olması
- Hava yolu işitme eşiklerinin 250-8000 Hz aralığında bilateral 25 dB İS ve düşük olması
- DPOAE ölçümünde bilateral 1000, 1500, 2000, 4000 ve 6000 Hz frekans bantlarının en az üçünden 3 dB ve üstünde emisyon alınması
- TEOE ölçümünde bilateral 1000, 1500, 2000 ve 4000 Hz frekans bantlarının en az üçünden 3 dB ve üstünde emisyon alınması

- Kişinin kendi rızası ile gönüllü olması

3.3. Kullanılan Testler ve Yöntem

- Tüm bireylerin Saf Ses Odyometrisi (SSO), otoakustik emisyon (OAE), immitansmetrik ve GBT ölçümleri yapılmıştır.

3.4. Saf Ses Odyometrisi

- Katılımcıların rutin kulak burun boğaz muayenesinin ardından 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000 ve 8000 Hz'te hava yolu işitme eşikleri, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz'te kemik yolu işitme eşikleri belirlenmiştir.
- SSO yapılırken GSI Audiostar Pro klinik odyometre, TDH 50P supra-aural kulaklık ve B71 kemik vibratör kullanılmıştır. Hava yolu ve kemik yolu saf ses eşikleri Hugson-Westlake Prosedürü ile belirlenmiştir .

3.5. OAE Ölçümleri

- Katılımcıların bilateral TEOAE ve DPOAE ölçümleri Otodynamics ILOv6 292 OAE ölçüm sistemi ile yapılmıştır ve EZ-Screen Software arayüzü ile kaydedilmiştir.

3.6. İmmitansmetri ve GBT Ölçümleri

Katılımcıların her iki kulaktan elde edilen immitansmetrik ölçümleri GSI TympStar Pro cihazıyla yapılmıştır. GBT değerleri ise Interacoustics TITAN Geniş Bant Timpanometre ile elde edilmiştir. Oluşturulan protokolle sırasıyla 226 Hz, 1000 Hz, GBT ölçümler aynı seansta yapılmıştır.

Timpanometrik ölçümler ve GBT 200 ila -400 daPa basınç aralığında yapılmıştır. Timpanometre cihazının 226 ve 1000 Hz için verdiği prob tone şiddet seviyeleri sırasıyla 85 ve 75 dB SBS'dir. GBT ölçümler 226-8000 Hz frekans aralığını kapsayan, 2 ms süreli, 94 dB SBS şiddet düzeyinde ve 21.5 Hz frekansıyla verilen klik uyanlarla yapılmıştır.

Her kulak için timpanometrik tepe basıncı (TTB), kompliyans ve kulak kanalı hacimleri (Vol) ölçülmüş, SPSS programına aktarılmıştır. Geleneksel timpanometri ve GBT'de ölçülen bu parametreler sağ ve sol kulaklar için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve iki cihazdan alınan sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

3.7. İstatistiksel Analiz

Verilerin analizi SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 20.0 sürümünde yapılmıştır . Tanımlayıcı verilerden nicel değişkenler için ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum), nitel değişkenler için de vaka sayısı (yüzde) verilmiştir. İki nicel bağımlı değişken arasındaki fark, normal dağılım sağlanıyorsa Paired t test, sağlanmıyorsa Wilcoxon testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Nicel değişken olarak 2 kategoriye sahip nitel değişkenin kategorileri arasındaki farka ise, eğer normal dağılım sağlanıyorsa Student t test, sağlanmıyorsa Mann Whitney U testi kullanılarak bakılmıştır. İki nicel değişken arasındaki ilişkiye normal dağılım sağlanıyorsa Pearson, sağlanmıyorsa Spearman korelasyon katsayısı kullanılarak bakılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi 0.05 olarak alınmıştır.

4. BULGULAR

Çalışmaya yaş ortalaması 28,2 olan 36'sı erkek 26'sı kadın toplam 62 kişi dahil edildi. Tablo 1'de katılımcıların demografik özellikleri gösterilmiştir. Gerek klasik immitansmetre ile gerekse GBT ile yapılan ölçümler sonucu her iki kulak için 226 ve 1000 Hz'de tanımlayıcı istatistikler elde edilmiştir.

Tablo 1. Demografik bilgiler

	n	Yaş
Kadın	26	27,9 ($\pm 4,6$)
Erkek	36	28,4 ($\pm 3,8$)

Tablo 2'de klasik immitansmetre ve GBT ile 226 Hz'de yapılan TTB ölçümlerinin sağ ve sol kulak için ayrı ayrı sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 226 Hz'de TTB için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.

Tablo 2. 226 Hz TTB

	SAĞ		SOL	
	K 226 Hz	GBT 226 Hz	K 226 Hz	WBT 226 Hz
Ortalama	-8,33 ($\pm 8,11$)	-8,04 ($\pm 7,75$)	-7,41 ($\pm 10,94$)	-5,90 ($\pm 12,41$)
p	0,785		0,048	

K: Klasik timpanometri, GBT: Geniş bant timpanometri

Tablo 3'te klasik immitansmetre ve GBT ile 1000 Hz'de yapılan TTB ölçümlerinin sağ ve sol kulak için sonuçları gösterilmiştir. Buna göre 1000 Hz'de TTB için her iki cihazın ölçüm sonuçları farklıdır.

Tablo 3. 1000 Hz TTB

	SAĞ		SOL	
	K 1000 Hz	GBT 1000 Hz	G 1000 Hz	GBT 1000 Hz
Ortalama	-9,32 ($\pm 8,01$)	-12,04 ($\pm 7,75$)	-7,31 ($\pm 10,94$)	-5,65 ($\pm 12,41$)
p	<0,001		<0,001	

K: Klasik timpanometri, GBT: Geniş bant timpanometri

Tablo 4'te klasik immitansmetre ve GBT ile 226 Hz'de yapılan kompliyans ölçümlerinin sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 226 Hz'de kompliyans için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel farklıdır.

Tablo 4. 226 Hz kompliyans

	SAĞ		SOL	
	K 226 Hz	GBT 226 Hz	K 226 Hz	GBT 226 Hz
Ortalama	0,60($\pm 0,20$)	0,54($\pm 0,18$)	0,55($\pm 0,17$)	0,49($\pm 0,14$)
p	<0,001		<0,001	

K: Klasik timpanometri, GBT: Geniş bant timpanometri

Tablo 5'te klasik immitansmetre ve GBT ile 1000 Hz'de yapılan kompliyans ölçümlerinin sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 1000 Hz'de kompliyans için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.

Tablo 5. 1000 Hz kompliyans

	SAĞ		SOL	
	K 1000 Hz	GBT 1000 Hz	K 1000 Hz	GBT 1000 Hz
Ortalama	1,23($\pm 0,50$)	1,30($\pm 0,57$)	1,17($\pm 0,44$)	1,21($\pm 0,48$)
p	0,26		0,51	

K: Klasik timpanometri, GBT: Geniş bant timpanometri

Tablo 6’da ise kulak kanalı hacim ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Klasik immitansmetre ve GBT ile 226 Hz’de yapılan hacim ölçümleri sonuçlarına göre kulak kanalı hacmi için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.

Tablo 6. 226 Hz hacim

	SAĞ		SOL	
	K 226 Hz	GBT 226 Hz	K 226 Hz	GBT 226 Hz
Ortalama	1,20(\pm 0,24)	1,23(\pm 0,24)	1,24(\pm 0,33)	1,29(\pm 0,32)
P	0,49		0,23	

K: Klasik timpanometri, GBT: Geniş bant timpanometri

Tablo 7’de ise klasik immitansmetre ve GBT ile 1000 Hz’de yapılan kulak kanalı hacmi ölçümlerinin sağ ve sol kulak için ayrı ayrı sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 226 Hz’de hacim için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.

Tablo 7. 1000 Hz hacim

	SAĞ		SOL	
	K 1000 Hz	GBT 1000 Hz	K 1000 Hz	GBT 1000 Hz
Ortalama	1,12(\pm 0,23)	1,10(\pm 0,24)	1,14(\pm 0,25)	1,16(\pm 0,27)
P	0,84		0,49	

K: Klasik timpanometri, GBT: Geniş bant timpanometri

5. TARTIŞMA

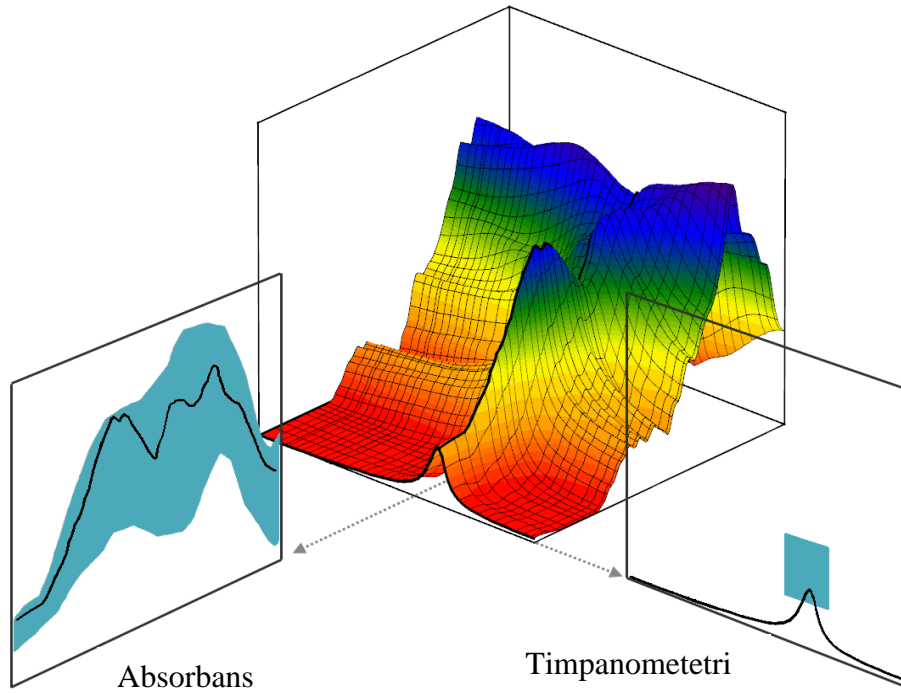
Bu çalışmada GBT ile elde edilen 3 boyutlu veriler içerisinde çıkarılan 226 ve 1000 Hz timpanogramlar geleneksel timpanometre ile elde edilen 226 Hz ve 1000 Hz timpanogramlar ile karşılaştırılmıştır. Sağlıklı erişkin bireylerde 3 farklı parametre (TTB, kompliyans ve dış kulak kanal hacimleri) sağ ve sol kulaklar için ayrı ayrı ölçülmüştür. Araştırmanın sonuçlarına göre 2 farklı cihazda yapılan dış kulak kanal hacim ölçümleri her iki frekansta da benzer sonuçlar vermiştir. Kompliyans ölçümlerinde ise her iki cihaz 1000 Hz'de benzer ancak 226 Hz'de farklı sonuçlar vermiştir. TTB sonuçlarında ise sonuçlar 1000 Hz'de farklı iken 226 Hz'de benzerdir. Bu sonuçlara bakarak her iki cihaz ile elde edilen verilerin dış kulak kanalı hacim ölçümlerinde benzer ancak diğer iki parametre için farklılıklar gösterdiği düşünülmektedir.

Bütün odyometrik testler belirli bir frekans aralığını test etmektedir. SSO, OAE ve tonal ABR belirli frekans aralığını değerlendirmektedir. Konvansiyonel timpanometride tek bir prob ton kullanılarak test yapılmaktadır. Bu frekans da genellikle 226 Hz olup onun yetersiz olduğu durumlarda da 1000 Hz kullanılmaktadır. Bu eksikliği kompanse edebilmek amacıyla multifrekans timpanometre kullanılmaya başlandı. Bu yöntemle 50 Hz'lik aralıklarla 226 ile 2000 Hz aralığındaki frekanslar test edilebilmektedir.

Tüm dünyada çok uzun süredir ve en yaygın olarak 226 Hz timpanometrinin kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri kalibrasyon kolaylığıdır. 226 Hz'de 1 cm³ havanın admittansı 1 ml'ye eşit olduğundan buradaki frekanslar da 226 Hz'in katları halinde ilerlemektedir. Ancak yapılan araştırmalar konvansiyonel timpanometre kullanımının çeşitli durumlarda kısıtlı veya yanlış bilgi verdiğini göstermektedir. Otoskleroz tanılı hastaları inceleyen bir çalışmada kulakların tamamına yakınında normal (tip A) timpanometri sonucunun alındığı bildirilmiştir (19). Birbirine karışabilen bir başka durum, kemikçik zincir dislokasyonu ile flassid timpanik membrandır. Bu iki patolojide de konvansiyonel 226 Hz timpanometride benzer grafik görülebilir. Yine kolesteatoma ile timpanik membran kalınlaşması da benzer sonuçlar vermektedir. Yenidoğan hasta grubu da 226 Hz timpanometrinin kısıtlı kullanıldığı durumlardan biridir. Bu hasta grubunun yaklaşık yarısında hatalı sonuç alınabilir.

Bahsedilen bu sorunların üstesinden gelebilmek için verilen stimulusu değiştirerek daha geniş bir frekans bandında uyarı göndererek test etmek için yeni bir teknoloji

arayışına girilmiş ve GBT fikri bu şekilde ortaya çıkmıştır. Burada amaç orta kulağı 226-8000 Hz arasında test etmektir. Bu bağlamda yeni bir uyarana ihtiyaç duyulmuştur. Konvansiyonel timpanometrede uyarın olarak 226 Hz'de 85 dB SPL saf ses kullanılmaktadır. GBT'de ise klik stimulusu 226-8000 Hz arasında keserek dar band bir stimulus kullanılır. Aynı oranda enerjiye sahip olabilmesi içinse ses şiddeti artırılarak infantlarda 96 dB SPL, erişkinlerde ise 100 dB SPL şiddetinde uyarın kullanılmaktadır. Test yapıldıktan sonra 3 boyutlu bir grafik elde edilir (Resim 7).

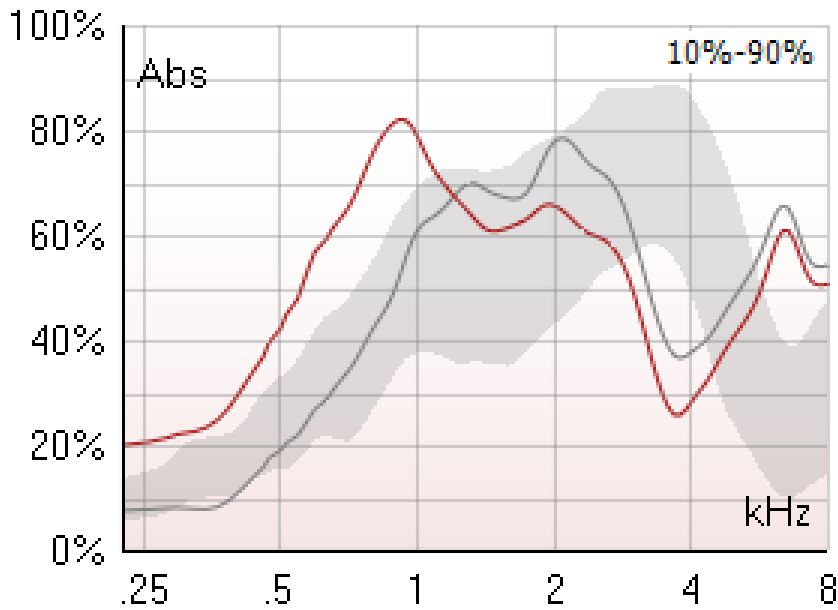


Resim 7. Geniş Bant Timpanometri Grafiği

Klik uyarın kullanıldığı için bu grafikte birçok timpanogram aynı anda elde edilmektedir . Bu aslında, elde edilen birçok timpanogramın birleştirilmesi ile oluşturulan bir grafikdir. Bu grafiğe basınç ve frekans olmak üzere 2 ayrı düzlemden bakılabilir. Bu düzlemlerde her bir frekanstaki maksimum geçirgenliğin olduğu tepe noktalarını görmek mümkündür. Burada saf bir sinyalden bahsedilmediği için admittanstan bahsetmek de doğru değildir. Çünkü her bir frekansta admittans değişkenlik gösterecektir. Bu nedenle GBT'de değerlerin sesin enerjisi olarak ifade edilmesi daha doğrudur. Böylece GBT'de admittans yerini absorbans terimine bırakır ve bu da yüzde olarak ifade edilir.

GBT'nin en büyük avantajlarından biri ve bu araştırmanın temelini oluşturan özelliği de tek bir test yapılarak birçok frekansın değerlendirilebilmesidir. Bunlar dışında GBT farklı frekanslardaki RF hakkında bilgi verir, ki bu daha önce değinildiği gibi birçok hastalığın ayırıcı tanısında kullanılmaktadır. Bu durumlara örnek olarak flassid zar ile ossiküler zincir devamsızlığının ayırıcı tanısı yahut otoskleroz hastalarının takibi verilebilir. Daha önce yapılan araştırmalar, kütleye bağlı patolojilerde RF'nin azaldığı, katılığa bağlı olanlarda ise arttığını göstermektedir . Niemczyk ve ark yakın zamanda yapmış oldukları çalışmada, otoskleroz hastalarının tanısında GBT sonuçlarının ne kadar önemli olduğunu bildirmişlerdir (20). GBT yorumlanırken sıklıkla absorbands grafiği kullanılır (Resim 8).

WB Absorbance at 0 daPa



Resim 8. Absorbans Grafiği

GBT'nin en önemli özelliklerinden biri hem basınçlı hem de basınçsız olarak ölçüm yapılabilmesidir. Basınçsız ölçüm yapılabilmesi timpanoplasti ve/veya kemikçik zincir onarımı sonrası erken dönemde absorbands bakılabilmesi adına önemlidir. GBT'nin kullanıldığı özellikle erken dönem araştırmalarda sıklıkla reflektans ölçümleri üzerinden

tartışma yapıldığı ancak, admittans üzerinden yorum yapıldığı için yakın zamandaki araştırmaların özellikle absorbans değerleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

Orta kulakta kütle sabit iken katılık etkisinin arttığı durumlarda RF'nin yükseldiği ve absorbans grafiğinin özellikle alçak frekanslarda çöktüğü görülür. Tam tersi durumda, yani kütleyi ilgilendiren bir patoloji olduğunda ise yüksek frekanslarda bir çökme beklenmelidir. Türkiye'de 2015 yılında Polat ve ark yaptığı araştırmada coğrafyamıza dair bir normatif veri elde edilmiştir (21). Bu verilerin dünyanın diğer bölgelerinden yayınlanmış normatif değerler ile benzer olduğu dikkat çekmektedir.

Yaşamın özellikle ilk yılı içerisinde dış kulak kanalının daha fazla kollabe olabildiği bilinmektedir. Muhtemelen buna bağlı olarak bebek hastalarda orta kulak patolojilerinin GBT kullanılarak daha etkin teşhis edildiğini belirten bazı araştırmalar mevcuttur. Örneğin Prieve ve ark yaptıkları çalışmada buna paralel görüş bildirmişlerdir. Bu araştırma 4-8 aylık bebekler üzerinde gerçekleştirilmiş ve konvansiyonel yolla elde edilen 2 timpanogramın GBT uygulanarak bir seferde ve daha hızlı oluşturulabileceği bildirilmiştir (22).

Tüm bunlar dışında orta kulak efüzyonlarında GBT'nin konvansiyonel timpanometriye nazaran daha güvenilir veriler sunduğu yönünde çeşitli araştırmalar yayınlanmıştır (23). Buna ilaveten geniş bant averajlanmış timpanogram ile daha doğru ve az artefaktlı grafikler elde edilir (24).

Orta kulak RF ölçümüne izin vermesi GBT'nin en önemli avantajlarından biridir. Konuyla ilgili olarak Valvik ve ark yayınladıkları araştırmalarında orta kulak RF normatif değerinin sağlıklı yetişkinlerde ortalama 1049 Hz (350 – 1750) olduğunu bildirmişlerdir (25). Sezin ve ark yaptıkları araştırmada sağlıklı yetişkin Türk popülasyonunda ortalama orta kulak RF değerini 999,6 Hz (\pm 134,9) olarak bildirmişlerdir (26). Polat ve ark ise yine sağlıklı bireyler üzerinde yaptıkları normatizasyon çalışmasında ortalama orta kulak RF değerini 964,66 Hz (\pm 233,94) olarak bildirmişlerdir (21). GBT kullanımını son yıllarda giderek yaygınlaştığından farklı ülkelerden normatif veri bildiren çalışmaların sayısı da artmaktadır (27,28).

Normatif veri araştırmaları dışında da GBT ile ilgili yapılan çalışmaların sayısında yakın zamanda bir artış dikkati çekmektedir. Daha önce bahsedilen avantajlarından dolayı

birçok patolojinin ayırıcı tanısında geleneksel timpanometriye göre daha doğru sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Öte yandan GBT'nin görece yeni bir tanısasal tetkik olduğu akıldan çıkarılmamalıdır. Geleneksel timpanometri yarım yüzyılı aşkın süredir odyoloji pratiğinde uygulanmakta olan güvenilir bir tetkiktir. Bugüne kadar birçok ülkeden yapılmış çok sayıda çalışma konvansiyonel timpanometri için birçok farklı patolojide normatif veri akışını sağlamıştır. Bilindiği üzere normatif veri analizi bir tetkik sonucunun doğru değerlendirilebilmesi için çok önemlidir. Bu bakımdan hem çok sayıda farklı ülkeden hem de aynı ülkede farklı merkezlerden veri toplanmalıdır. Mevsimsel ve zamansal etkileşimlerin ortadan kaldırılabilmesi için de bu ölçümlerin farklı zamanlarda tekrarlanması gereklidir. Tüm bunlara ek olarak normatif veri analizinin daha güçlü olabilmesi için çok yüksek sayıda hasta üzerinde testlerin tekrarlanması gerekmektedir. Örneğin Shahnaz ve ark yaptıkları araştırmada 53 hastada TTB, admittans ve dış kulak yolu hacmini değerlendirmişlerdir. Bu araştırma erişkin Çinli insanlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yazarları, etnik kökene bağlı olarak muhtemelen fizyolojik ve anatomik varyasyonlar nedeniyle, timpanometri değerlerinde de değişkenlik olabileceğini vurgulamışlardır. Bu farklılığın en önemli açıklamalarından birinin de sarı ırka mensup insanların dış kulak yolu hacimlerinin beyaz ırka göre daha küçük olmasıdır (29). Dış kulak yolunda özellikle 0-2 yaş döneminde meydana gelen hacimsel değişimler, timpanometrik çalışmalarda birtakım farklılıklara neden olmaktadır. Bilindiği üzere dış kulak yolunun uzunluk ve hacmi yaşla beraber bir miktar artar (30). Semisirküler kanallar ve kohleanın boyutlarında yenidoğan ile erişkinler arasında ciddi bir fark yokken bu durum orta kulak kavitesi ve dış kulak yolu için benzer değildir ve yapılan immitansmetre araştırmaları bu hipotezi desteklemektedir (31,32). Doğuşta daha yumuşak olan dış kulak yolunun takip eden yıllarda giderek sertleşmesi ve timpanik membrandaki benzer değişiklikler yenidoğan ile erişkinler arasındaki ölçüm farklılığını açıklamaktadır (33).

Tüm bunların da ötesinde, bir yenidoğan ile 2 yaşındaki sağlıklı bebeğin ölçümleri bile benzer olmayabilir. Bu yüzden doku yumuşaklığının bu kadar ön planda olduğu bir alanda immitansmetre ölçümlerin basınçsız bir şekilde yapılabilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. GBT, konvansiyonel 226 ve 1000 Hz timpanometre ile kıyaslandığında, bu noktada klinisyenlere daha doğru sonuçlar verebilir.

GBT ile ilgili Türkiye'den normatif veri içeren birkaç adet çalışma mevcuttur. Bunlar arasında Polat ve ark, yaptıkları çalışmada ortalama yaşları 21,1 olan 110 genç katılımcıyı GBT ile değerlendirmişlerdir. Ortalama RF 964 Hz, kompliyans 0,54 ml, TTB

-6,71 daPa, dış kulak yolu hacmi 1,04 cc ve gradient 95,61 daPa olarak bulunmuştur. Bunlar dışında 3100-6900 Hz frekans aralığında cinsiyet ve absorbands değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu raporlanmıştır (21). Bu ilişki cinsiyet ile absorbands değerlerinin korelasyonunun incelendiği başka bir çalışmada da vurgulanmıştır (34). Ülkemizde yapılan bir diğer önemli normatif veri çalışması da Özgür ve ark tarafından, 5 farklı yaş kategorisindeki 150 sağlıklı insan üzerinde yapılmıştır (35). Bu çalışma sonucunda orta kulak ortalama RF değeri yenidoğanda 330 Hz, 45 yaş üzerinde ise 1050 Hz olarak ölçülmüştür. Frekans spesifik ortalama absorbands değerleri ise 1000 Hz'de %61,4, 4000 Hz'de %49,1, 8000 Hz'de ise %56,4 olarak bulunmuştur . Ancak yukarıda da değinildiği gibi daha güvenilir sonuçlar alabilmek için daha fazla sayıda hasta ve çalışma gerekmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları bazı parametrelerde GBT ile konvansiyonel timpanometre arasında uyum bildirirken kompliyans ve TTB gibi parametrelerde frekansa özgü farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılıkların ortadan kaldırılabilmesi ve konuyla ilgili daha doğru fikir yürütebilmek için ileride daha fazla sayıda hastayla yeni çalışmalar yapılmalıdır. Literatürdeki pek çok çalışmada yer alan objektif bilgiler ve uzman görüşleri GBT'nin birçok parametrede konvansiyonel timpanometriye göre avantajlı olduğunu göstermektedir. Buradan yola çıkarak GBT'nin önümüzdeki yıllarda çok daha fazla kullanılacağı ve birçok patoloji için rutin test bataryası içerisine dahil edileceği öngörülebilir. Konuyla ilgili yapılacak çok-merkezli/çok-uluslu çalışmalar standardizasyon sorununun ortadan kalkmasına yardımcı olacak ve hastalar için daha hızlı ve doğru veri akışının sağlanmasını sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma 18-40 yaş aralığında 62 sağlıklı birey (124 kulak) üzerinde yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. 226 Hz'de timpanometrik tepe basıncı için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.
2. 1000 Hz'de timpanometrik tepe basıncı için her iki cihazın ölçüm sonuçları farklıdır.
3. 226 Hz'de kompliyans için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel farklıdır.
4. 1000 Hz'de kompliyans için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.
5. Gerek 226 Hz gerekse 1000 Hz'de kulak kanalı hacmi için her iki cihazın ölçüm sonuçları istatistiksel olarak benzerdir.

Yukarıda elde edilen sonuçlar dikkate alındığında konvansiyonel timpanometre ile geniş bant timpanometre arasında kompliyans ve timpanometrik tepe basıncı parametreleri arasında frekans bazında farklılıklar olduğu dikkati çekmiştir. Ancak dış kulak kanalı hacmi ölçümünde hem 226 hem de 1000 Hz frekanslarında her iki cihaz arasında fark olmadığı görüldü. Geniş bant timpanometrinin konvansiyonel timpanometriye çeşitli üstünlükleri bulunmakla birlikte daha yaygın kullanımı için farklı etnisite ve yaş gruplarından daha fazla normatif veri toplanması gerektiğini düşünüyoruz.

7. KAYNAKÇA

1. Oghalai JS. Anatomy and Physiology of the Ear. Current Diagnosis and Treatment in Otolaryngology Head and Neck Surgery. (Lalwani AK, ed). Second ed. New York, McGraw Hill. 577-82, 2008.

2. Shambaugh, GE. Surgery of the ear. Philadelphia, WB Saunders. 2003.
3. Koç C. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi, Ankara: Güneş Kitabevi. 2004.
4. Karasalihoğlu AR. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi, Ankara: Güneş Kitabevi. 2003.
5. Moller AR. Hearing: It's Physiology and Pathophysiology, San Diego CA: Academic Press. 2000.
6. Clark WW, Ohlemiller KK. Anatomy and physiology of Hearing for Audiologist, St.Louis: Thomson. 2008.
7. Devranoglu I. Dış ve Orta Kulak Anatomisi. Dış ve Orta Kulak Cerrahisi. (Devranoğlu I, ed). Birinci baskı. Istanbul, Deomed Yayıncılık. 1-11. 2011.
8. Anson BJ, Bast H, Richany SF. The fetal development of the tympanic ring and related structures in man. Anat Rec 121: 255–255, 1955.
9. Hunter LL, Shahnaz N. Acoustic Imittance Measures Basic and Advanced Practice, San Diego: Plural Publishing. 2014.
10. Shanks EJ. Tympanometry. Ear and Hearing 5: 268-280, 1984.
11. Lilly DJ, Shanks JE. Acoustic immittance of an enclosed volume of air. Hearing Assessment with the Acoustic Reflex (Popelka GR, ed). New York: Grune & Stratton. 145–160. 1981.
12. Shahnaz N, Polka L. Standart and multifrequency tympanometry in normal and otosclerotic ears. Ear and Hearing 18: 268-280, 1997.
13. Shahnaz N, Davies D. Standard and multifrequency tympanometric norms for Caucasian and Chinese young adults. Ear Hear 27: 75–90, 2006.
14. Shahnaz N, Longridge N, Bell D. Wideband energy reflectance patterns in preoperative and post-operative otosclerotic ears. International Journal of Audiology 48: 240-247, 2009.
15. Brooks DN. The use of the electro-impedance bridge in the assessment of middle ear

- function. *Int Audiol* 8: 563–565, 1969.
16. Gelfand SA. *Essentials of Audiology*, New York: Thieme, 226-236. 2001.
 17. Merchant SN, Ravicz ME, Puria S. Analysis of middle ear mechanics and application to diseased and reconstructed ears. *The American journal of otology* 18: 139-54, 1997.
 18. Margolis RH, Saly GL, Keefe DH. Wideband reflectance tympanometry in normal adults. *The Journal of the Acoustical Society of America* 106: 265-80, 1999.
 19. Jerger J, Anthony L, Jerger S, Mauldin L. *Studies in impedance audiometry. 3. Middle ear disorders.* *Arch Otolaryngol* 99:165-71, 1974.
 20. Niemczyk E, Lachowska M, Tataj E. Wideband tympanometry and absorbance measurements in otosclerotic ears, *Laryngoscope*, 2018, <http://dx.doi.org/10.1002/lary.27747>
 21. Polat Z, Baş B, Hayır D. Wideband tympanometry normative data for Turkish young adult population. *J Int Adv Otol* 11: 157-62, 2015.
 22. Prieve BA, Feeney MP, Stenfelt S. Prediction of Conductive Hearing Loss Using Wideband Acoustic Immittance, *Ear Hearing*, 2013, <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0b013e31829c9670>
 23. Ellison JC, Gorga M, Cohn E. Wideband Acoustics Transfer Functions Predict Middle-Ear Effusion. *Laryngoscope* 122: 887-94, 2012.
 24. Sanford CA, Keefe DH, Yiu LW. Sound-Conduction Effects on Distortion-Product Otoacoustic Emission Screening Outcomes in Newborn Infants: Test Performance of Wideband Acoustic Transfer Functions and 1-kHz Tympanometry. *Ear Hearing* 30: 635-652, 2009.
 25. Valvik BR, Johnsen M, Laukli E. Multifrequency tympanometry: preliminary experiences with a commercially available middle ear analyzer. *Audiology* 33: 245-52, 1994.
 26. Sezin RK, Hızal E, Erbek S. Normative values of middle ear resonance frequency in normal hearing adults. *Kulak burun bogaz ihtisas dergisi* 23: 331-5, 2012.

27. Feeney MP, Keefe DH, Hunter LL. Normative Wideband Reflectance, Equivalent Admittance at the Tympanic Membrane, and Acoustic Stapedius Reflex Threshold in Adults. *Ear Hear* 38:e142-e160, 2017.
28. Lei Y, Lu W, Mo L. Wide band tympanometry energy reflectance in Chinese infants and children with normal outer and middle ears. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. 2014 Jun;49(6):441-5.
29. Shahnaz N, Bork K. Wideband reflectance norms for Caucasian and Chinese young adults. *Ear and Hearing* 27: 774–788, 2006.
30. Shahnaz N, Feeney MP, Kim S. Wideband Acoustic Immittance Normative Data: Ethnicity, Gender, Aging, and Instrumentation. *Ear Hearing* 34: 27S-35S, 2013.
31. Roush J, Bryant K, Mundy M. Developmental changes in static admittance and tympanometric width in infants and toddlers. *Journal of the American Academy of Audiology* 6: 334-338, 1995.
32. Shanks JE, Stelmachowicz PG, Beauchaine KL. Equivalent ear canal volumes in children pre and post-tympanostomy tube insertion. *J Speech Hear Res* 35: 936-941, 1992.
33. Ruah CB, Schachern PA, Zelterman D. Age-related morphologic changes in the human tympanic membrane. A light and electron microscopic study. *Archives of Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 117: 627-634, 1991.
34. Shahnaz NM, Feeney P, Schairer KS. Wideband acoustic immittance normative data: ethnicity, gender, aging, and instrumentation. *Ear Hear* 34: 27-35, 2013.
35. Ozgur A, Mujdeci B, Terzi S. Wideband Tympanometry Normative Data for Different Age Groups in Turkish Population. *J Int Adv Otol* 12: 82-6, 2016.