



**T.C.
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KULAK BURUN BOĞAZ ANABİLİM DALI
ODYOLOJİ, KONUŞMA ve SES BOZUKLUKLARI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**VÜCUT KİTLE İNDEKSİNİN ORTA KULAK REZONANS
FREKANSINA ETKİSİ**

Miray SÖZEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA, 2016



**T.C.
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KULAK BURUN BOĞAZ ANABİLİM DALI
ODYOLOJİ, KONUŞMA ve SES BOZUKLUKLARI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**VÜCUT KİTLE İNDEKSİNİN ORTA KULAK REZONANS
FREKANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Miray SÖZEN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selim Sermed ERBEK**

ANKARA, 2016

T.C
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Odyoloji ve Konuşma Ses Bozuklukları Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Miray Sözen tarafından yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 11/01/2016

Tez Konusu: “Vücut Kitle İndeksinin Ortakulak Rezonans Frekansına Etkisi ”

TEZ DANIŞMANI: **Doç. Dr. Selim Sermed ERBEK**

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Doç. Dr. Selim Sermed Erbek	Başkent Üniversitesi
Doç. Dr. Hatice Seyra Erbek	Başkent Üniversitesi
Doç. Dr. Didem Türkyılmaz	Hacettepe 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 14 / 01 / 2016 tarih ve 012 Karar Sayısı ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Rengin ERDAL
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamın başından sonuna kadar danışman hocam olarak tez konumun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar bana yol gösteren, bilimsel katkılarını esirgemeyen, ne zaman yanına gitsem beni güler yüzle karşılayan Doç. Dr. Selim Sermed ERBEK'e,

Klinik stajım sürecinde engin bilgilerini her zaman paylaşan, bilimsel deneyimlerini her fırsatta sunan, bütün sorularıma sabırla ve içtenlikle yanıt veren, bana çok şey katan Prof. Dr. Erol BELGİN'e,

Eğitim dönemim boyunca bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Levent ÖZLÜOĞLU'na, Doç. Dr. Hatice Seyra ERBEK'e, Doç. Dr. Adnan Fuat BÜYÜKLÜ'ye, Doç. Dr. Ayşe Sanem ŞAHLI'ya,

Tez jürimde yer alan katkılarından dolayı Doç. Dr. Didem TÜRKYILMAZ'a,

Yeni dostluklar edindiğim, güzel anlar paylaştığım, her birini tanımaktan mutluluk duyduğum dönem arkadaşlarıma,

Klinik çalışmalarım boyunca bana her zaman yardım eden ve tecrübelerini paylaşan Odyometrist Güldeniz PEKCAN ve Sinem KAPICIOĞLU'na,

Eğitimim boyunca manevi ve maddi hiçbir desteğini esirgemeyen canım aileme çok teşekkür ederim.

ÖZET

Miray SÖZEN, Vücut Kitle İndeksinin Orta Kulak Rezonans Frekansına Etkisi, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Odyoloji, Konuşma ve Ses Bozuklukları Programı Yüksek Lisans Tezi, 2016

Klasik timpanometrinin orta kulak akustik özelliklerini değerlendirmede yeterli olup olmadığı tartışılmaktadır. Klasik timpanometrilere sıklıkla 226 Hz prob ton kullanılmaktadır. Multifrekans timpanometri ise, 226 Hz-2000 Hz arasında değişik prob tonlar ile elde edilen timpanogramların analizini sağlayarak, orta kulak direnç ve geçirgenliğini geniş bir frekans yelpazesinde değerlendirebilen avantajlı bir test bataryasıdır. Orta kulak admittansını ve unsurlarını ayrıştırarak inceleyen parametreler sunmaktadır. Multifrekans timpanometrinin sunduğu önemli parametrelerden biri de rezonant frekanstır (RF). Rezonans frekans, timpanik zarın minimum enerjiyle maksimum hareketini sağlayan ve orta kulak tarafından kokleaya en fazla ses enerjisinin iletilebildiği frekanstır. Belli patolojilerin varlığında rezonant frekans değeri sağlıklı ve normal kulaklara nazaran daha alçak veya daha yüksek değerler almaktadır. Multifrekans timpanometri avantajlı bir test olmasına rağmen tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de klinik uygulamada yaygınlaşmamıştır. Multifrekans timpanometri kullanımının yaygınlaşmamasının sebebi yeterli verilerin literatürde henüz yer almamasıdır.

Bu amaçla literatüre multifrekans timpanometri hakkında yeni bir bilgi sağlamak için vücut kitle indeksine göre orta kulağın rezonans frekansı değerinin değişip değişmediği, değiştiyse ne yönde değiştiği araştırılmıştır. Çalışmada Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı ve Odyoloji, Konuşma ve Ses Bozuklukları Ünitesi'nde işitme kaybı şikayeti olmayan ve otoskopik muayenesi normal olan 18-40 yaşları arasında 78 gönüllü (156 kulak) katılımcı yer almıştır. Bir KBB uzmanı tarafından otoskopik muayenesi yapılan katılımcılara saf ses odyometrisi uygulanarak işitme eşikleri ölçülmüş ve sonrasında immitansmetrik ölçümleri yapılmıştır. Katılımcıların immitansmetrik ölçümleri Grason Stadler (GSI) Tympstar Version 2 elektroakustik immitansmetre kullanılarak yapılmıştır. Tüm

katılımcıların, her iki kulağından (156 kulak) birden alınan rezonans frekansı değerleri değerlendirmeye alınmıştır. VKİ'ne göre $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$, $>25 \text{ kg/m}^2$ olmak üzere üç gruba ayrılan katılımcıların rezonans frekansı değerleri araştırılmıştır. VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin rezonans frekansı ortalaması $823,08 \pm 86,58 \text{ Hz}$, VKİ $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$ arasında olan kişilerin rezonans frekansı ortalaması $817,31 \pm 94,91 \text{ Hz}$, VKİ $>25 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin rezonans frekansı ortalaması $771,15 \pm 112,61 \text{ Hz}$ olarak bulunmuştur. VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$ olan kişiler arasında rezonans frekansı değeri açısından anlamlı bir fark bulunmazken; VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$ / VKİ $>25 \text{ kg/m}^2$ ile $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$ / VKİ $>25 \text{ kg/m}^2$ olan kişiler arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Bu veriler ışığında orta kulak rezonans frekansı değeri bakılan kişilerin VKİ değeri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Vücut kitle indeksi, rezonans frekansı, multifrekans timpanometri

ABSTRACT

Miray SÖZEN, The Effect of Body Mass Index to Resonance Frequency of Middle Ear, Başkent University, Institute of Health Sciences M. Sc. Thesis in Audiology and Speech – Voice Disorders, 2016

Whether the classic tympanometry is sufficient for the assessment of acoustic properties of middle ear has been a debate issue. In classic tympanometries, 226 Hz is frequently utilized as probe tone. Through providing the analyses of tympanograms reaped between 226 Hz and 2000 Hz, multifrequency tympanometry is an advantageous test battery that can assess the resistance and permeability of middle ear in a wide range. Multifrequency tympanometry provides parameters through parsing tympanum admittance and its elements. One of the significant parameters supplied by the multifrequency tympanometry is resonant frequency (RF). Resonance frequency, allowing maximum movement with minimum energy and maximum frequency of the tympanic membrane sound energy can be transmitted by the middle ear to the cochlea. In case of the presence of specific pathologies, resonant frequency values can be lower or higher compared to healthy and normal ears. Although multifrequency tympanometry is a favourable test, it has not been clinically utilized around the world as in the case of our country. The reason behind the lackness of widespread use of multifrequency tympanometry is the absence of sufficient data in this scientific literature of this field.

In accordance with this purpose, to provide a novel information to the literature, in relation with body mass index, whether the resonance frequency of the middle ear changes or not; and if so, its extent has been studied. In this study, 78 volunteers (156 ears) have taken place as participants who does not have any hearing loss only having normal otoscopic conditions at the Otorhinolaryngology Department and Audiology, Speech and Voice Disorders Unit of Baskent University. Following the otoscopic examination by an otolaryngologist, participants' sound thresholds are measured by benefiting pure tone audiometry and then their immitancemetric measurements have been fulfilled. Immitancemetric measurements of the participants

have been performed using Grason Stadler (GSI) Tymptstar Version 2 electro-acoustic immittance meter. Resonance frequency differences obtained from all of the participants (156 ears) have been taken into evaluation. According to their BMIs, the resonance frequency of participants, trichotomized as $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$, $>25 \text{ kg/m}^2$, have been studied. It has been found out that people who have BMI $<18,5 \text{ kg/m}^2$ have a resonance frequency average as $823,08 \pm 86,58$, while the people who are between BMI $18,5$ and $24,9 \text{ kg/m}^2$ have a resonance frequency average as $817,31 \pm 94,91$ and finally people have BMI $>25 \text{ kg/m}^2$ have a resonance frequency average as $771,15 \pm 112,61$. Although no meaningful resonance frequency difference has been found out on people who have BMI $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$; a meaningful difference has been spotted on people having BMI $<18,5 \text{ kg/m}^2$ / BMI $>25 \text{ kg/m}^2$ and $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$ / BMI $>25 \text{ kg/m}^2$. In light of data provided, BMI data should be taken into notice of the people whose middle ear resonance frequency values are examined.

Keywords: Body mass index, resonance frequency, multifrequency tympanometry.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

TEŞEKKÜR	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar ve GRAFİKLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kulak Anatomisi.....	3
2.1.1. Dış kulak (Auris externa) anatomisi.....	3
2.1.2. Orta kulak (auris media) anatomisi	4
2.1.2.1. Tuba auditiva (Eustachi tüpü).....	6
2.1.2.2. Orta kulak kemikçikleri	8
2.1.2.3. Timpanik kaslar	10
2.1.3. İç kulak (auris interna) anatomisi	11
2.1.3.1. İç kulağın damarları ve sinirleri.....	17
2.1.4. Santral işitme yolları	18
2.2. İşitme Fizyolojisi.....	20
2.2.1. Ses dalgası ve özellikleri.....	20
2.2.2. İşitme	20
2.2.2.1. İletim (conduction) fazı	21
2.2.2.2. Koklear mekanik; Ses dalgalarının sinirsel enerji haline dönüştürülmesi fazı (transdüksiyon).....	24
2.2.2.3. Sinir şifresi (neural coding) fazı	26
2.2.2.4. Algı (cognition) – birleştirme (association) fazı	26
2.3. Akustik İmpedans ve Timpanometri.....	27
2.3.1. Akustik impedans.....	27
2.3.2. Timpanometri	30

2.3.2.1. Timpanogram tipleri	33
2.3.2.2. Akustik refleks	35
2.3.2.3. Multifrekans timpanometri	36
2.4. Vücut Kitle İndeksi	39
3. BİREYLER VE YÖNTEM	41
3.1. Bireyler	41
3.2. Kullanılan Test ve Yöntem	42
4. BULGULAR	44
5. TARTIŞMA	50
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
7. KAYNAKÇA	56

KISALTMALAR

ANSI	:	American National Standards Institute
Ba	:	Akustik Suseptans
Bc	:	Komplians Suseptans
Bm	:	Kütlesel Suseptans
Bt	:	Total Suseptans
daPa	:	Decapascal
dB	:	Decibel
DKY	:	Dış Kulak Yolu
DSH	:	Dış Saçlı Hücre
Ga	:	Akustik Kondüktans
GSİ	:	Grason Stadler Instruments
Hz	:	Hertz
İSH	:	İç Saçlı Hücre
MFT	:	Multifrekans Timpanometri
Mmho	:	Acoustic Millimho
Ra	:	Akustik Rezistans
RF	:	Rezonans Frekansı
VKİ	:	Vücut Kitle İndeksi
Xa	:	Akustik Reaktans
Ya	:	Akustik Admittans
Za	:	Akustik İmpedans

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1.	İnsan kulağının anatomik yapısı	3
Şekil 2.	Eustachi tüpünün çocuk ve yetişkindeki pozisyonu	7
Şekil 3.	Orta kulak kemikçikleri	10
Şekil 4.	Kemik ve membranöz labirent	11
Şekil 5.	Kokleanın şematik yapısı	13
Şekil 6.	Corti organı.....	14
Şekil 7.	İç ve dış titreşim tüylü hücreler ve stereosilyalarının elektromikroskopik görünümü	15
Şekil 8.	Santral işitsel yollar	19
Şekil 9.	İlerleyen dalga modeli	25
Şekil 10.	Timpanogram Tipleri.....	33
Şekil 11.	GSI (Grason-Stadler Inc.) Tymptar Middle Ear Analyzer Version 2.....	36
Şekil 12.	Vanhuysen Modeli Paternleri.	39
Şekil 13.	Multifrekans timpanometri çıktısı	43

TABLÖLAR ve GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa No:

Tablo 1. Cinsiyet, yaş, kilo, boy ve VKİ'ne göre RF değerleri	44
Tablo 2. Tüm örnekleme ilişkin temel istatistikler	46
Tablo 3. Cinsiyete göre sağ ve sol kulak RF değerleri analizi.....	46
Tablo 4. VKİ <18,5 kg/m ² , 18,5-24,9 kg/m ² olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi	47
Tablo 5. VKİ <18,5 kg/m ² , >25 kg/m ² olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi.....	47
Tablo 6. VKİ 18,5-24,9 kg/m ² , >25 kg/m ² olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi.....	48
Tablo 7. VKİ'ne göre toplam RF değerlerinin korelasyonu	49
Grafik 1. VKİ'ne göre üç grup arasındaki p değeri karşılaştırması	48

1. GİRİŞ

Timpanometri orta kulak fonksiyonunun hızlı, non invaziv ve ekonomik şekilde değerlendirilebilmesini sağlayan bir test bataryasıdır. Bu test kulağa verilen sese ve beraberinde DKY basıncında yapılan değişikliklere karşı orta kulaktan alınan yanıtı bir mikrofon yardımı ile ölçerek orta kulak sisteminin direnç ve geçirgenliğinin değerlendirilmesini sağlar. Timpanik membran (kulak zarı), orta kulakta bulunan kemikçik zincir ile mekanik bir ilişki içindedir ve DKY'ndan gelen ses enerjisinin iç kulağa iletilmesinde rol oynar. Timpanik membran ve kemikçik zincirden oluşan sistem, enerjinin gelmesiyle birlikte bir dizi mekanik hareket yapar. Timpanometre bu hareketin yansıttığı enerjiyi timpanogram adı verilen grafik ile gösterir. Bu ölçüm sayesinde timpanometre orta kulak fonksiyonunun hızlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

Klasik timpanometri sıklıkla 226 Hz prob tonla uygulanmaktadır; ancak değişik frekanslarda prob ton uygulanması, özellikle orta kulak patolojilerinin tanısında yarar sağlamaktadır. MFT, 226 Hz ile 2000 Hz arasında değişik prob tonlar ile elde edilen timpanogramların analizini sağlayan bir yöntemdir. Yüksek frekanslı prob tonlar orta kulak sisteminin sertlik etkisini artıran patolojilerin tanısında daha çok değer taşımaktadır. Bu anlamda otoskleroz, primer kolesteatom, orta kulak malformasyonları, orta kulak tümörleri, ossiküler zincirde parsiyel ya da total ayrılma, osteogenesis imperfekta ve fibröz displazi gibi orta kulağı ilgilendiren hastalıkların ayırıcı tanısında multifrekansiyel timpanometrinin ayırıcı tanı değeri daha da önem kazanmaktadır.

MFT avantajlı bir test olmasına rağmen, ülkemizde ve dünyada klinik uygulamalarda yaygınlaşmış bir test bataryası değildir. MFT kullanımının yaygınlaşmamasının sebebi henüz yeterli verilerin olmamasıdır. Dış kulak ve orta kulak yapıları yaşa ve kalıtsal özelliklere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlikler timpanograma farklı değerler olarak yansır. Bu değişkenleri normatif değerlerle karşılaştırmak adına birçok araştırmacı tarafından MFT'de normatif değerler elde etmek için çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte son yıllarda yapılan çalışmalarda

multifrekans timpanometri ile elde edilen orta kulağın RF değerinin; Meniere, otitis media gibi iç kulağı ilgilendiren hastalıklarda ve hamile kadınlarda da değişiklik gösterdiği bulunmuştur. Bizim çalışmamızın amacı da bu değişikliklere bağlı olarak VKİ sınıflamasına dayanarak oluşturduğumuz gruptaki katılımcıların VKİ değerlerinin orta kulak RF'na etkisini araştırmaktır.

Araştırmanın hipotezleri:

H0: Vücut kitle indeksine göre orta kulak rezonans frekansı değişmez.

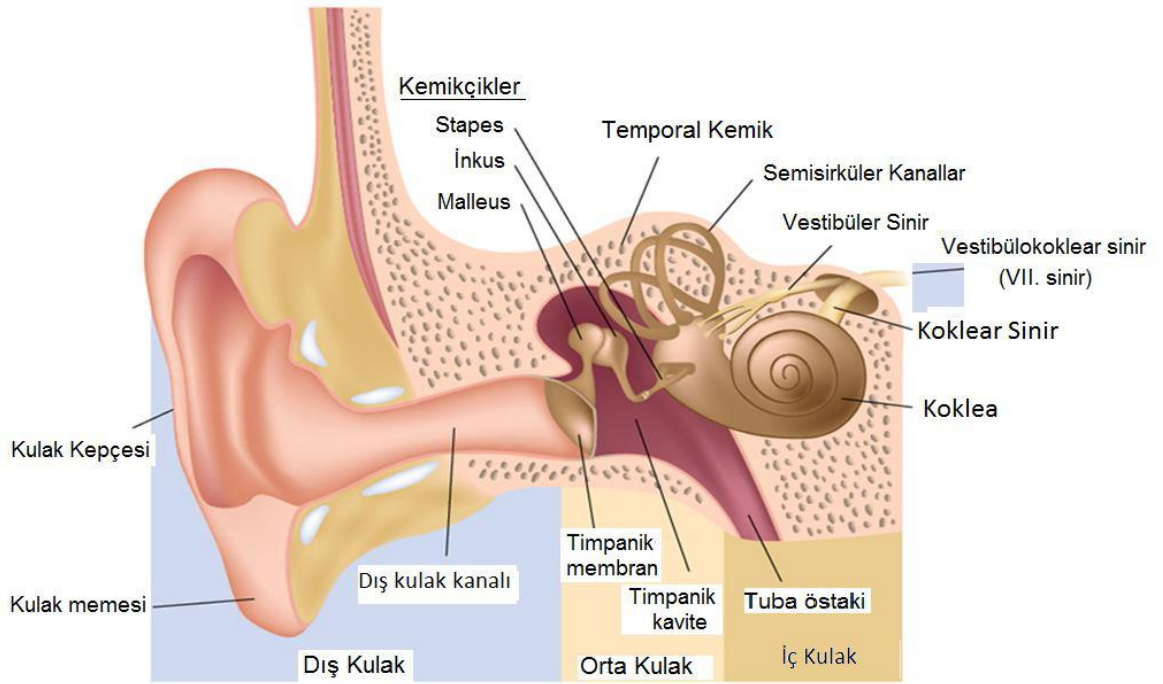
H1: Vücut kitle indeksine göre orta kulak rezonans frekansı değişir.



2.GENEL BİLGİLER

2.1. Kulak Anatomisi

Kulak, işitme ve dengenin periferik organı olup, temporal kemik içine yerleşmiş şekilde bulunmaktadır. Dış kulak, orta kulak ve iç kulak olmak üzere yapıları ve fonksiyonları birbirinden farklı üç parçadan oluşur (1) (Şekil 1).



Şekil 1. İnsan kulağının anatomik yapısı (2).

2.1.1. Dış kulak (Auris externa) anatomisi

Dış kulak; kulak kepçesi (aurikula), dış kulak yolu (DKY) ve kulak zarının lateral (epitelyal) yüzünden oluşmaktadır. Orta kulak ile devam eder (3-5).

Aurikula, başın yan tarafında yaprak şeklinde bir organdır. Ön tarafa bakan dış yüzü ve arka tarafa bakan iç yüzü vardır. Dış yüzünün en derin yeri konka aurikula ismini

alır. Konka aurikula krus heliks tarafından ikiye ayrılır. Üstte kalan kısım symba konka, altta kalan çukur kavum konka olarak isimlendirilir. Kavum konka DKY'yla bağlantılıdır. Kulak kepçesi dış kısımda deri ve iç kısımda elastik bir kıkırdaktan yapılmıştır. Kulak kepçesi kafaya, deri, DKY kıkırdağı, kas ve bağlarla yapışır. Anterior yüzünün hissini V. kranial sinirin n. auriculatemporalis dalı alır. Diğer bölgelerin duyarlılığını VII. Kranial sinir ve ikinci - üçüncü servikal sinirler sağlar (3-5). Kulak kepçesi a. auricularis posterior ve a. temporalis superficialis tarafından beslenir. Venler arterlere eşlik ederek, v. jugularise dökülür (1, 6).

DKY, kavum konkadan timpanik membrana kadar uzanan kısmı oluşturur. Kulak zarının eğik yerleşiminden dolayı arka duvar 25 mm, ön alt duvar 31 mm'dir. Yaklaşık 2,5 cm uzunlukta olup, dış 1/3 bölümü kıkırdak, geri kalan 2/3 iç bölümü ise kemikten oluşmuştur (7). DKY'nun kıkırdak kısmı kıl, yağ ve serümen bezler içerir. Kemik kısımda bu yapılar yer almaz (3-5). DKY'nun beslenmesi external karotid arterin a. temporalis superficialis ve a. auricularis posterior dalı tarafından gerçekleşir. Venöz drenajı; v. jugularis externa ve v. maxillaris aracılığıyla plexus pterygoideus'a olur. İnervasyonu V. kranial sinir tarafından sağlanır. Ayrıca üçüncü servikal sinir ve VII., IX., X. kranial sinirler de dal vermektedir. X. kranial sinirden gelen dal Arnold siniri ismini alır ve bu sinir DKY'nun temizlenmesi esnasında öksürük refleksine sebep olabilir (6, 8, 9).

2.1.2. Orta kulak (auris media) anatomisi

Orta kulak, timpanik membran ile iç kulak arasında yerleşmiş havalı bir boşluktur. Bu boşluğun ön arka çapı ortalama 15 mm'dir. Mediolateral çapı üstte 6 mm, umbo hizasında 2 mm'dir. Ortalama hacmi 0,5 cm³'tür. Embriyolojik olarak, birinci endodermal faringeal cebin dışa doğru genişlemesi ile ortaya çıkar. Birinci cep, önce Eustachi borusunu, daha sonra orta kulağı meydana getirir. Daha sonra mastoid hücreler bu cepten gelişir. Doğumda orta kulak büyük oranda gelişmiştir ve en büyük mastoid hücre olan antrum doğumda vardır; ancak mastoid hücrelerin geri kalan kısmı doğumdan sonra gelişir (10). Orta kulak boşluğu, Eustachi borusu vasıtasıyla nazofarenksle, aditus vasıtasıyla mastoidin havalı boşluklarıyla, oval ve yuvarlak

pencereler vasıtasıyla iç kulakla ilişkilidir. Biçimi düzensiz bir dikdörtgen prizmayı andırır yani prizma gibi altı yüzeyden oluşur. Medialde kokleanın basal kıvrımı promontorium, lateralde timpanik membran, superiorda tegmen timpani orta kulağı orta kafa çukurundan ayırırken; anteriorda internal karotid arter ve Eustachi tüpü, inferiorda jugular bulbus ve posteriorda ise mastoidin havalı hücreleri vardır. DKY’ndan gelen ses dalgalarını iç kulağa iletmekle görevli olan orta kulak boşluğu içerisinde; üç adet kemikçik, iki tane kas ve bazı ligamanlar bulunmaktadır (11).

Orta kulaktaki en önemli yapı timpanik membrandır. Timpan zar dış kulak ve orta kulağı birbirinden ayıran yapıdır. Uzunluğu 10-11 mm, genişliği 8-9 mm, kalınlığı 0,1 mm’dir. Zar yukarıdan aşağıya, önden arkaya, dıştan içe doğru eğik bir konumdadır ve DKY ile 45 derece açı yapar. Kulak zarı sulkus timpanikusta yer alır. Sulkusu timpan kemiğın iki uzantısı oluşturur; bu iki uzantı superiorda birleşmezler ve burada oluşan açıklığa Rivinius çentiğı adı verilir. Timpanik membran sulkus timpanikus içine Gerlach Halkası adı verilen annulus fibrosusla oturmuştur (12).

Timpanik membranın kemik içinde kalan gergin kısmına pars tensa (3/4 alt kısım), Rivinius çentiğı içinde kalan gevşek kısmına ise pars flaksida (1/4 kısım) veya Shrapnell zarı adı verilir. Pars tensa kulak zarının ses dalgalarıyla titreşen, timpanik kemik içerisindeki parçasıdır ve kulak zarının büyük kısmını oluşturur. Timpan zar konkav şekildedir ve en çukur yeri umbo adını alır. Timpanik membran dıştan içe doğru skuamöz, fibröz ve mukoza tabakası olmak üzere üç tabakadan oluşur. Fibröz doku, pars tensada bulunurken pars flaksidada yoktur (13, 14). Pars flaksidada pars tensadan farklı olarak fibröz tabaka yerine damar ve sinirlerden zengin ince bir konnektif doku yer alır. Kulak zarının dış tabakasının duyusu V. ve X. sinirler, iç yüzeyinin duyusu IX. kranial sinirler tarafından alınır (14).

Orta kulak boşluğunun altı duvarı vardır (3, 15).

1. Üst duvar (*Tegmen tympani*): Epitympanumun tavanını oluşturur, orta kulak boşluğunu orta kafa çukurundan ayırır.
2. Alt duvar: Hypotympanumun tabanını oluşturur. Juguler ven, juguler bulbus ve stiloid çıkıntıyla komşuluk yapar.

3. Arka duvar: Mastoidle ilişkilidir. Aditus ad antrum aracılığıyla timpanik antruma geçilir. Arka duvar facial recess ve DKY ile devam eder. Burada fasial sinirin vertikal segmentinin komşuluğu önemlidir.
4. Ön duvar: Eustachi borusu ve m. tensör timpani olmak üzere iki önemli oluşumu barındırır.
5. İç duvar: Promontoryumun yaptığı çıkıntı aracılığıyla iç kulakla komşuluk yapar. Promontoryum üzerinde yuvarlak pencere ve stapes tabanının yerleştiği oval pencere yer alır.
6. Dış duvar: En önemli yapı timpanik membrandır.

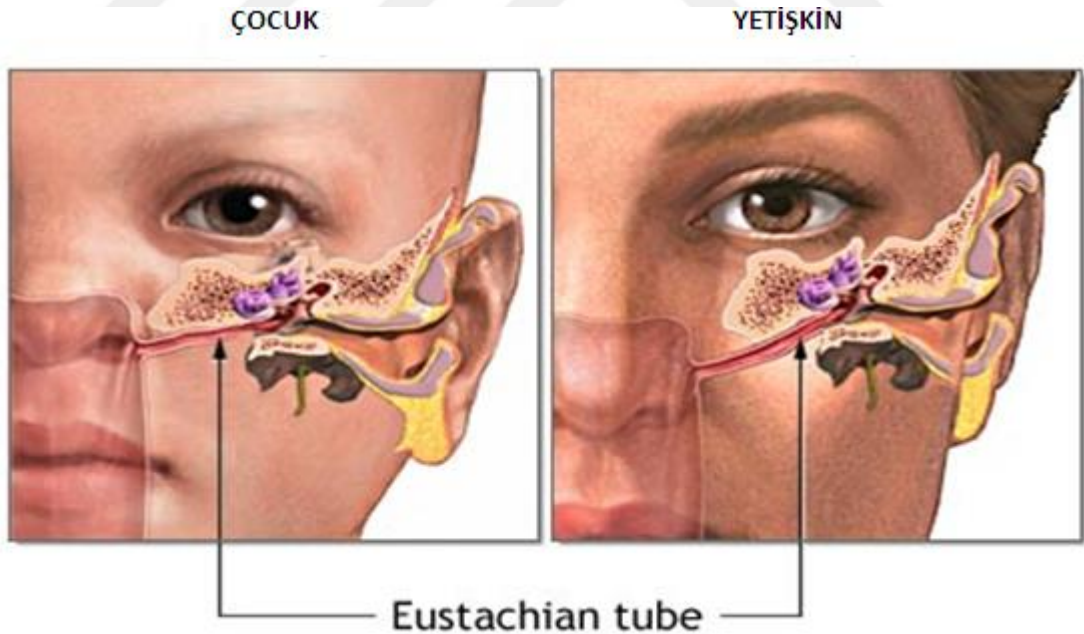
2.1.2.1. Tuba auditiva (Eustachi tüpü)

Eustachi tüpü ya da diğer adıyla tuba auditiva, orta kulak boşluğunu nazofarenksle birleştiren kemik ve kıkırdaktan oluşan borudur. Orta kulak boşluğunun ve mastoid havalı boşluklarının dış ortamla bağlantısını sağlamakta görev alır. Kulak zarının iyi titreşebilmesi, her iki taraftaki hava basıncının dengeli olmasına bağlıdır (16). Eustachi borusu, dış ortamdaki basınç değişimlerinde orta kulak boşluğundaki basıncı dengelediği gibi, orta kulakta birikmiş olan her türlü salgının da dışarı atılmasında görevlidir ve ayrıca koruyucu görevi de vardır. Normalde kapalı olan tüp enseme, çiğneme, yutkunma hareketleriyle açılır ve orta kulak hava basıncının dış atmosferik basınçla dengelenmesini sağlar. Sesin zardan kemikçik sistemine ve iç kulağa iletilmesini sağlayan en önemli özellik, kulak zarının dış ve orta kulak ortamlarında eşit düzeyde basınç etkisine sahip olması gerekliliğidir. Timpanik membran ancak her iki tarafta eşit basınç olduğunda en yüksek genlikte titreşir. Yani, en iyi ses iletimi orta kulaktaki basıncın atmosfer basıncına eşit olması ile gerçekleşir. Orta kulakta bu görevi Eustachi tüpü üstlenir (17). Eustachi borusunun boyutları yaş ile artma gösterir. Borunun uzunluğu 9 aylık çocuklarda ortalama 17,5 mm iken yetişkinlerde ortalama 37,5 mm olarak ölçülmüştür. Genişliği ise 19

yaşındaki bir erişkinde, 2 yaşındaki bir çocuğa göre yaklaşık olarak 2,5 kat daha büyüktür (18, 19).

Tuba Eustachi'nin anatomisi: İç ve ön parçası kıkırdaktan, arka ve dış parçası kemikten yapılmıştır. Tubanın üst 1/3 kısmı kemik, alt 2/3 kısmı kıkırdak yapıdadır. Eustachi tüpü hafif S şeklindedir. Çocuklarda daha horizontal bir seyir izler (20).

Tuba Eustachi'nin konumu: Doğumda Eustachi tüpü horizontaldir, büyüme ile birlikte yetişkinlerde horizontalle 30-40 derece açı yapar konuma gelir. Çocuklarda tüp relatif olarak geniş, kısa ve daha horizontal olduğundan nazofarenksten assendan enfeksiyon riskini artırır (Şekil 2). Protympanum ile 160 derecelik açı yapar. Kafa tabanından öne, aşağıya doğru bir yol izler. Nazofarenksin yan duvarında sonlanır. Çocuklarda ise bazı değişiklikler görülür. Boru ile orta kulak boşluğu, çocuklarda hemen aynı doğrultudadır ayrıca tubanın nazofarenks ağzı çocuklarda yetişkine göre daha geniştir. Bu nedenle süt çocuklarında, yatma pozisyonunda nazofarenkste toplanmış sekresyonların orta kulak kavitesine girmesi çok kolaydır (16, 21).



Şekil 2. Eustachi tüpünün çocuk ve yetişkindeki pozisyonu (22)

Tuba Eustachi'nin yapısı: Boruyu örten mukoza solunum yolları mukozasıdır. Kıkırdak kısım 24-25 mm uzunluğundadır. Kemik kısım ise yaklaşık 12 mm'dir. Kıkırdağın tubaya bakan kısmı uzunlamasına oluklarla kaplıdır. Burada damarlar, sinirler ve mukozanın salgı bezleri bulunur. Kıkırdak kısım çocuklarda sadece hyalenden, yetişkinlerde hyalene ek olarak elastik lifler ve kondrositlerden oluşur. Fibröz kısım ise kıkırdağın iki ucunu birbirine bağlar. Fibröz kısmın dış yüzüne kaslar yapışır. Eustachi borusu belli başlı üç kas ile ilişki gösterir. Bunlar; M. tensör veli palatini (borunun kıkırdak ve yumuşak dokularını dışa doğru çekerek boruyu açar), M. elevator veli palatini (borunun açılmasına doğrudan bir katkısı yoktur; tensör veli palatininin fonksiyon görmesini sağlayacak zemin ayarlar) ve M. salpingopharyngeus (yutkunma esnasında borunun açılmasını sağlar) dir. Bunlardan ilk ikisinin tubanın çalışmasında görev aldığı düşünülmektedir (21).

Tuba Eustachi'nin damar ve sinirleri: Eustachi tüpünün arterial kanlanması birkaç kaynaktan olur. Bu dallar a. pharyngea ascendens'den (a. carotis externanın bir dalıdır) ve maksillar arterin iki dalı (a. meningea media ve a. canalis pterygoidei) ndan doğar. Tuba Eustachi'nin lenf drenajı fossa infratemporalisteki pterygoid ven pleksuslarına doğru gerçekleşir.

Tuba Eustachi'yi döşeyen mukoz membranın innervasyonu başlıca pleksus tympanicustan sağlanır. Bu pleksusa temel katkı IX. sinir n. glossopharyngeusun bir dalı olan n. tympanicustan gelir (23).

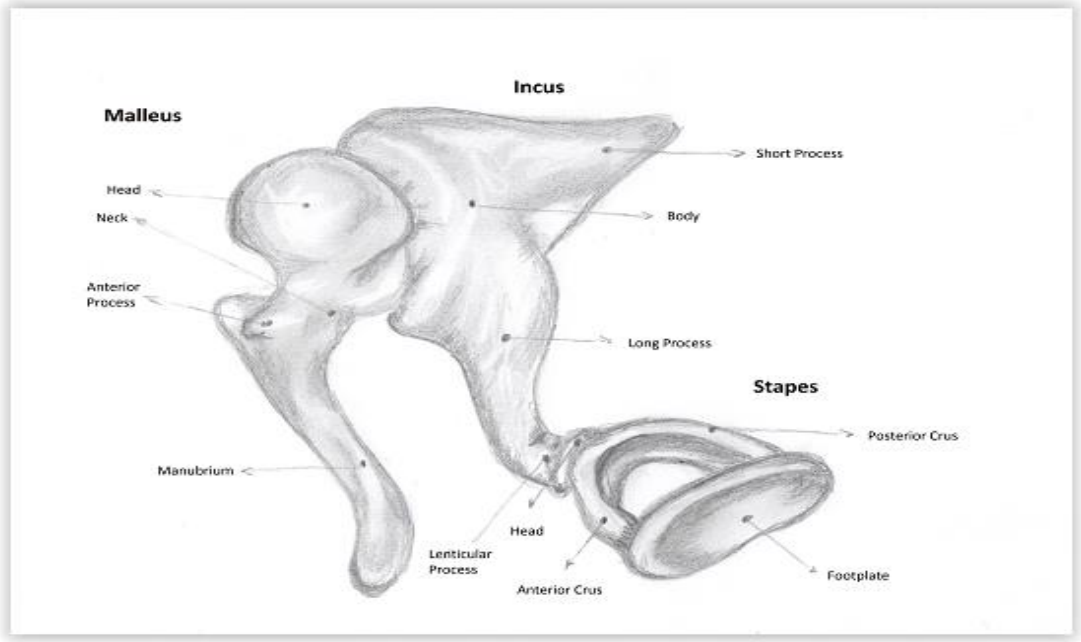
2.1.2.2. Orta kulak kemikçikleri

Orta kulak boşluğunda yer alan, birbirleriyle az oynar eklemler yapan üç adet kemikçik bulunur: Malleus, İncus, Stapes. Bu kemikler çekiç, örs ve üzengi adlarıyla bilinir. En büyük ve en dışta olan kemik malleustur. En küçük ve en içteki kemik ise stapeştir (24).

Malleus: Orta kulak kemikçikleri içinde en büyük olandır ve lateralde yer alır. Yaklaşık 8-9 mm uzunluğundadır. Capitulum ve manubriumdan oluşmaktadır. Malleusun ön ve dış kısımlarında iki küçük çıkıntı yer alır. Bunlardan dışta olan çıkıntı processus brevis/lateralis, önde bulunan çıkıntı ise processus anterior adını almıştır. Manubrium kulak zarının iç tarafına yerleşmiştir ve ona sıkıca yapışmıştır. Timpanik membranla birlikte titreşir. Caput mallei yuvarlak şekildedir, epitympanumda bulunur ve incus arka iç yüzüyle eklem yapmaktadır. Malleusun boynunun hizasında arkadan korda tympani seyreder. M. tensor tympani tendonu malleusun boynuna ve manubriuma yapışır. Bu kas manubriumu mediale çekerek kulak zarını içe doğru çeker (20, 25).

İncus: Bir gövde (corpus incudis) ve iki uzantıdan (crus brevis ve crus longum) oluşur. İnkusun gövdesi, capitulum mallei ile eklem yapar. Crus brevis 5 mm uzunluğunda, crus longum ise 7 mm uzunluğundadır. Crus longum, manubriumun arka iç tarafında yer alır ve stapes başı ile eklem yapar (25).

Stapes: Yaklaşık 3,5 mm uzunluğundadır. Bir baş (caput stapedis), bir boyun (collum stapedis), iki uzantı (crus anterius, crus posterius) ve bir tabandan (basis stapedis) oluşmaktadır. Tabanı oval pencereye oturur ve ligamentum annulare ile oval pencereye sıkıca yapışmıştır. Ön crus daha kavisli, arka crus ise daha düzdür. Cruslar arasındaki açıklığa foramen obturatorum adı verilir ve membrana obturatoria ile örtülüdür. Cruslar üstte birbirleriyle birleşir ve arkusu tamamlar. Arka crusun üst kısmına stapes kasının tendonu yapışır. Baş kısım fetal hayattaki kemik rezorbsiyonunun derecesiyle ilgili olarak stapesin en çok biçim değişikliği gösteren parçasıdır. Caput stapedis processus lenticularis ile eklem yapar (25) (Şekil 3).



Şekil 3. Orta kulak kemikçikleri (26)

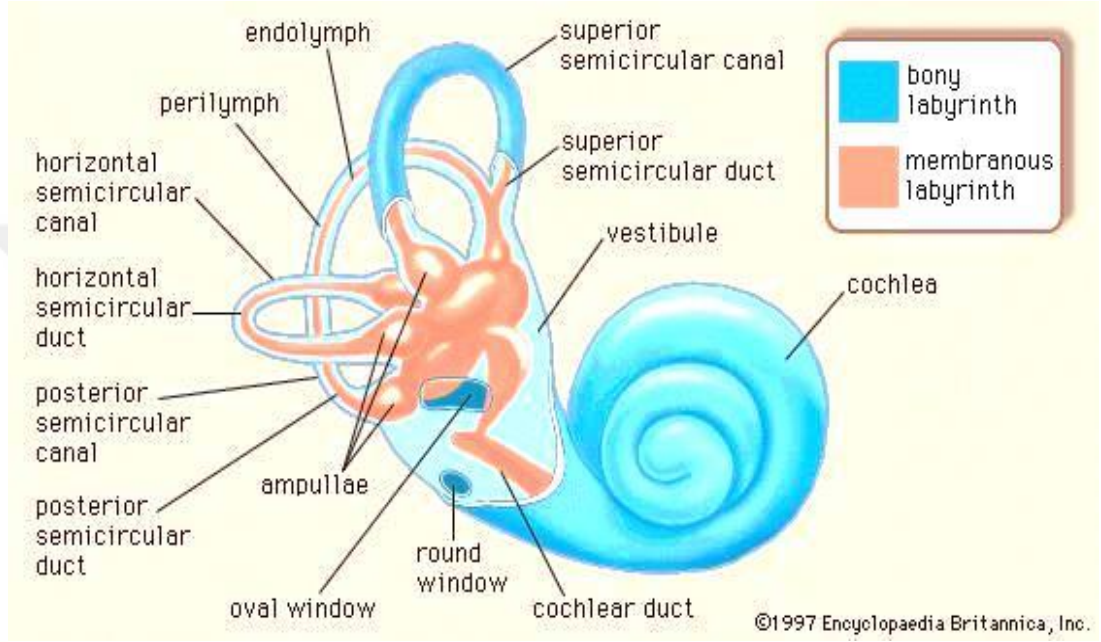
2.1.2.3. Timpanik kaslar

M. Tensor timpani: Orta kulağın ön duvarında semikanalis muskuli tensor timpaninin duvarından başlar ve collum malleiye yapışır. Ortalama 25 mm uzunluğundadır. Görevi, kontraksiyonuyla birlikte manubriumu arka ve içeriye doğru çekmek ve kulak zarını gererek ses dalgalarına karşı hassasiyeti arttırmaktır. M. tensor timpani sinirini n. mandibularisin dalı olan n. pterygoideustan alır.

M. Stapedius: Ortalama 6 mm uzunluğundadır ve stapesin collumuna yapışır. Stapes kası normal kulaklarda 70-90 dB'lik ses şiddeti varlığında kasılarak stapes tabanını arkaya doğru çeker, basisini ön kısımda yukarı doğru kaldırır. Bu şekilde yüksek şiddetteki seslerin iç kulağa geçişini engellemiş olur. Sinirini n. fasialisin dalı olan n. stapediustan alır (18, 27, 28).

2.1.3. İç kulak (auris interna) anatomisi

Kulağın işitme ve denge ile ilgili reseptörlerin bulunduğu kısmı oluşturur (3, 29). Yuvarlak ve oval pencereler yoluyla orta kulakla; koklear ve vestibüler aquaductuslar yoluyla kafa içiyle bağlantılıdır. Kemik (*osseöz*) ve zar (*membranöz*) labirent olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur (3, 15).



Şekil 4. Kemik ve membranöz labirent (30)

Kemik (*osseöz*) labirent: Kemik labirenti otik kapsül adı verilen sert kompakt kemik dokusu oluşturmuştur. Zar labirent bunun içinde yer alır. Aralarında perilyenf adı verilen sıvı bulunmaktadır (8, 31).

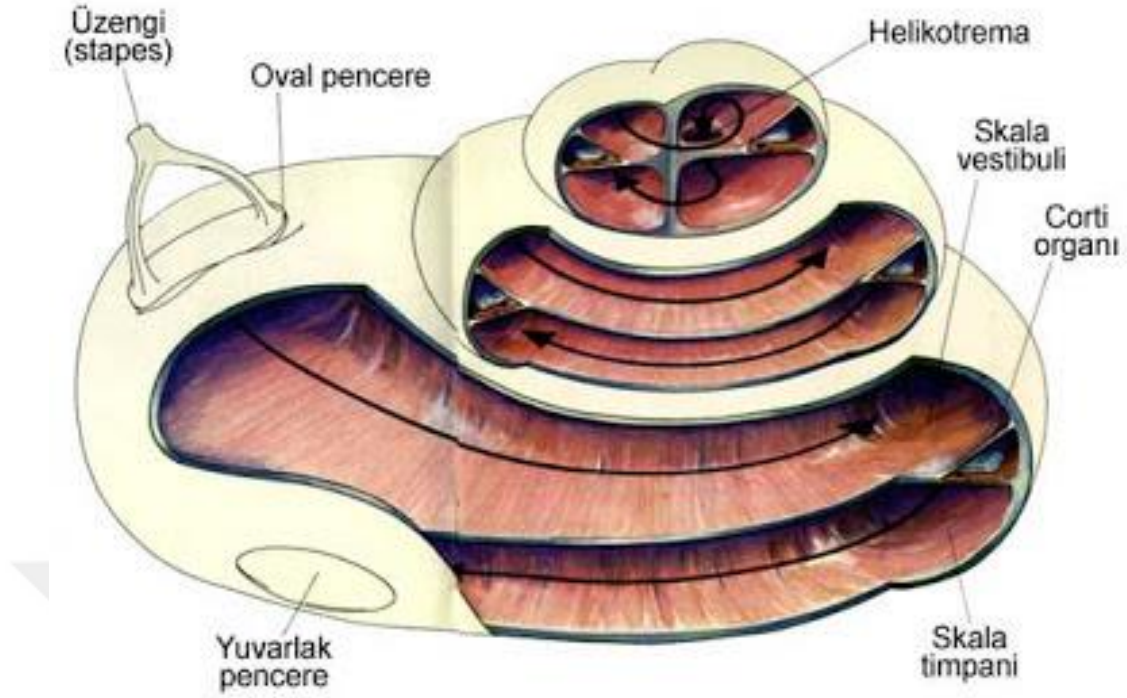
Kemik labirent şu kısımlardan oluşur:

1. Vestibulum
2. Kemik semisirküler kanallar
3. Koklea
4. Aquaductus vestibuli
5. Aquaductus koklea

Vestibulum: Yaklaşık 4mm çapında düzensiz ovoid bir kavitedir. Dış yan duvarı yuvarlak ve oval pencere aracılığıyla timpanik kaviteye; ön duvarı kokleaya komşudur. Üst ve arka duvarda semisirküler kanallarla birleşir. İç yan duvarda ise ön altta *sakkulus*'un yerleştiği *sferikal resess*, arka üstte ise *utrikulus*'un yerleştiği *eliptikal resess* bulunmaktadır (8, 32).

Kemik semisirküler kanallar: Superior, posterior ve lateral olmak üzere üç adet semisirküler kanal uzayın üç ayrı düzlemine yerleşmiş şekilde bulunur. Bu kanallar *vestibulum* 'a açılır (8, 32).

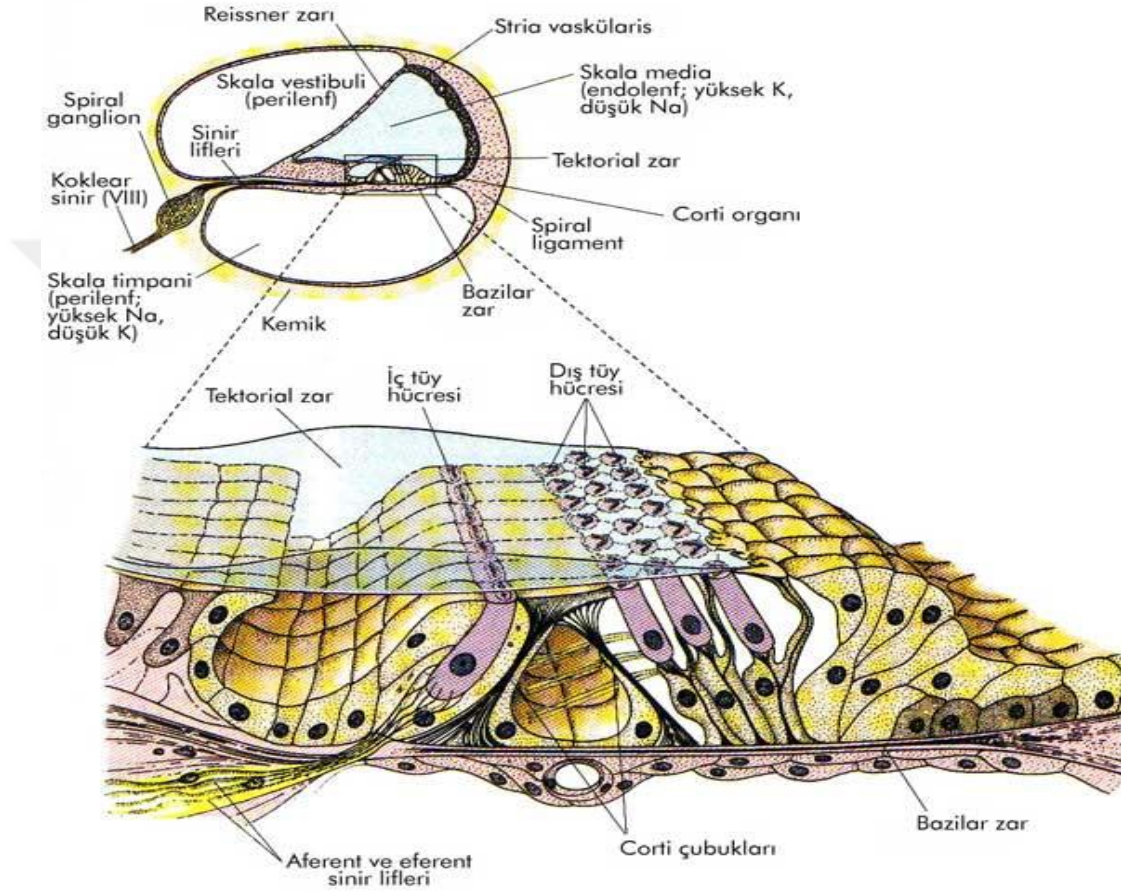
Koklea: Kemik labirentin salyangoza benzeyen bir kısmıdır. Ortasında modiolus adı verilen koni şeklinde bir kemik bulunmaktadır. Bu koninin etrafında ductus cochlearis bulunur. Yaklaşık 30 mm uzunluğundadır. Ductus cochlearis, modiolus çevresinde 2,75 tur yapar. Bu şekilde oluşan turlar apikal, medial ve basal tur olarak isimlendirilir. Koklea içinde içi sıvı dolu üç tane tüp şeklinde yapı yer alır. Kokleadan enine kesit alındığında bu yapılar yukarıdan aşağı doğru scala vestibüli, scala media ve scala timpani olarak görülür. Scala vestibüli ve scala timpani en üst kısımda birleşerek helikotremayı oluşturur. Scala media ise kapalı bir uç halinde helikotremada sonlanır. Scala vestibüli ve scala tympani, perilenf adı verilen Na oranı yüksek, K iyonu düşük olan bir sıvıyla doludur. Scala media ise K oranı yüksek, Na oranı düşük olan endolenf ile doludur. Endolenf ve perilenf, kokleanın metabolizmasında önemlidir. Scala media ile scala vestibüli birbirinden Reissner membranıyla, scala media ile scala tympani basilar membran ile ayrılır (Şekil 5) (33, 34).



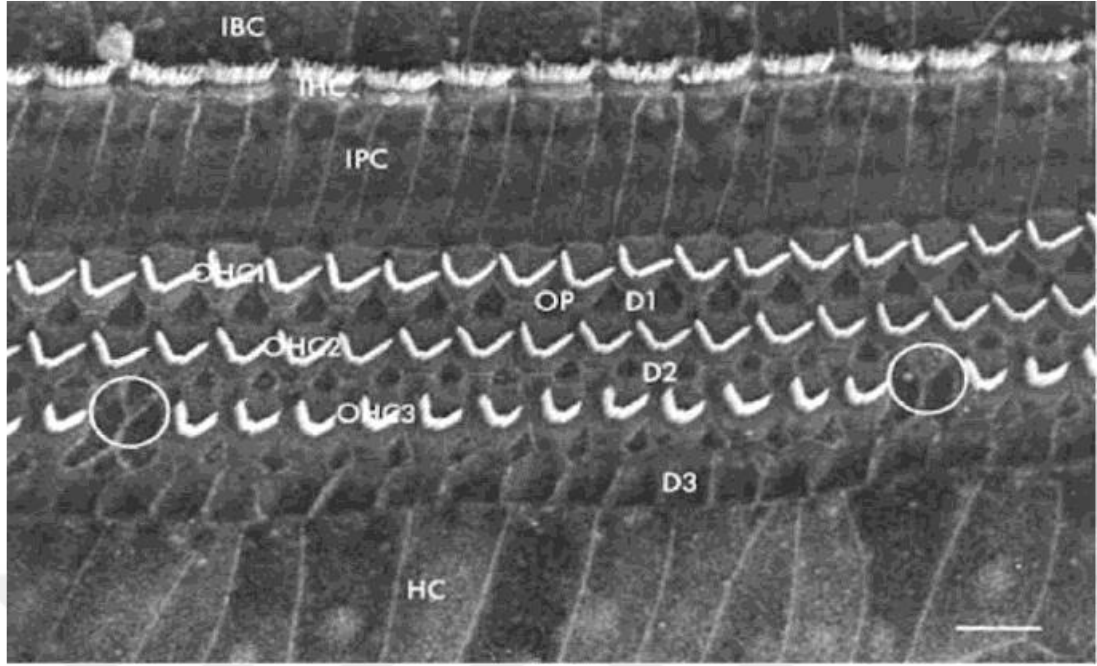
Şekil 5. Kokleanın şematik yapısı (35)

Basilar membran üzerinde Corti organı bulunur. Corti organında; ses titreşimleri nöroepitelyal hücreler aracılığıyla elektriksel potansiyellere dönüşür. Basilar membran üzerindeki Corti organında İSH ve DSH adı verilen sensorial hücreler ve destek hücreler vardır. İç kulaktaki toplam saçlı hücre sayısı 16.000-20.000 arasındadır. Bu saçlı hücrelerin %90-95'ini DSH'ler, geri kalan %5-10 kısmını İSH'ler oluşturur. İSH'ler tek sıralıdır ve şiddetli uyarılara cevap verir. DSH'ler ise üç-dört sıralıdır ve daha düşük şiddetteki uyarılara cevap verir. Saçlı hücrelerin üzerinde kalınlaşan yüzey olan kütiküler plakta titreşim tüyleri (stereocilia) yer alır. Titreşim tüyleri kendi aralarında bir düzen içinde sıralanmıştır. İSH'lerde bu düzen, ductus cochlearise paralel, DSH'lerde ise 'W' veya 'V' şeklinde görülür (Şekil 6). Titreşim tüyleri tektorial membran ile temas halinde bulunurlar. Tektorial membran kemik spiral laminadan başlayarak DSH'lerin üzerini örten ve jel kıvamında bir madde içeren yapıdır. İSH ise tektorial membran içine gömülü halde bulunmaz. Kütiküllerin akustik enerji yoluyla hareketi, hücre içinde elektriksel potansiyelleri değiştirmekte ve uyarı oluşmaktadır. Sensorial hücrelerin arasında Dieters, Cladius,

Hensen adı verilen destek hücreleri bulunur (Şekil 7). Sensorial hücrelerin her birinin alt yüzünden sinir fibrilleri çıkar. Bu sinir lifleri kümeler oluşturarak kemik spiral laminaya gider ve modiolusta bulunan işitme ganglionunda sonlanır. Bu gangliona spiral ganglion adı verilir. İSH ve DSH'leri innerve eden sinir lifleri, spiral ganglionda yerleşmişlerdir (33, 34).



Şekil 6. Corti organı (35)



Şekil 7. İç ve dış titrek tüylü hücreler ve stereosilyalarının elektromikroskopik görünümü (36)

Deiters Hücreleri (D1, D2, D3), Hensen Hücreleri (HC), İç Sıra Hücreler (IBC), İç Titrek Tüylü Hücreler (IHC), İç Parmaksı Hücreler (IPC) ve koklear skar bölgeleri görülmektedir (çemberler).

Aqueductus vestibuli: Bu kanalın içinde zar labirente ait *ductus endolenfatikus* ve onun ucunda *sakkus endolenfatikus* vardır.

Aqueductus koklea: Bu kanal içinde *ductus perilenfatikus* ve v. *kanalikuli koklea* vardır (8, 32, 37).

Zar (membranöz) labirent: Zar labirent kemik labirentin içinde yer alır. Zar labirent kemik labirentin tamamını doldurmaz; ancak 1/3 kısmını doldurur. Zar labirentin içinde K iyonundan zengin endolenf, zar ve kemik labirent arasında ise Na iyonundan zengin perilenf bulunur (8, 31).

Zar labirent şu kısımlardan oluşur:

1. Utrikulus
2. Sakkulus
3. Ductus semisirkularis

4. Ductus endolenfatikus
5. Ductus perilenfatikus
6. Ductus koklearis
7. Corti organı

Utrikulus: Denge organlarıyla ilgili olan iki keseden (utrikul ve sakkul) geniş olanı utrikulustur. Kemik labirent vestibulumun arka üst kısmında yer alır. Üç semisirküler kanal utrikulusun içine boşalır (23). Utrikulusun duvarının iç yüzünde vücut dengesiyle ilgili spesifik hücreleri barındıran macula utriculi adı verilen küçük bir saha vardır.

Sakkulus: Sakkulus kemik labirent vestibulumun ön alt kısmında uzanan daha küçük, yuvarlak bir kesedir. Bunun içine koklear kanal boşalır (23). İç yan duvarında *makula sakkuli* adı verilen kısımda denge hücreleri yer alır. Buralarda bulunan tüylü hücreler vücudun lineer hareketiyle uyarılır.

Ductus semisirkülaris: Kemik semisirküler kanalların içerisinde bulunur. Şekil ve durum bakımından içinde bulundukları canalis semisirkülarise tamamen uygundur. Yalnız kanal boşluğunun $\frac{1}{4}$ 'ünü doldururlar. Bu ductusların bütün uçları utriculusa açılır. Her bir zar kanalının şişkin ucunda, duyu ve destek hücreleri vardır. Bu hücreler vücudun dairesel hareketleriyle uyarılır.

Ductus endolenfatikus: *Ductus utrikulosakkularis* adlı borucuktan doğar. *Aqueductus vestibuli* adlı kemik kanal içinde ilerler. *Sakkus endolenfatikus* adı verilen şişlikte *dura mater* altında sonlanır. Sakkus endolenfatikusun endolenfanın emiliminde önemli rol oynadığı bilinmektedir.

Ductus perilenfatikus: *Aqueductus koklea* içerisinde bulunur ve *skala timpani* ile subaraknoid boşluğu birleştirir. İçinde perilenf vardır.

Ductus koklearis: İşitme duyusuyla ilgili zar labirent parçasıdır. Ductus koklearis kemik labirentteki koklea içinde merkezi bir konumdadır ve kemik labirenti scala tympani ve scala vestibuli olmak üzere iki kanala bölmektedir. Bu konumda

kalabilmesi için modiolustan uzanan ince bir kemik lamina olan lamina modioliye ve kokleanın dış duvarına tutunmaktadır. Ductus koklearisin alt duvarında işitmeyle ilgili duyu ve destek hücrelerinin yer aldığı Corti organı bulunur.

Reissner membranı (*membrana vestibularis*): Ductus koklearisin üst duvarını oluşturur. *Skala vestibuli* ve *skala mediyi* birbirinden ayırır.

Ligamentum spirale koklea: Ductus koklearisin dış duvarını oluşturur. Lamina basilarisin tutunduğu yerdeki çıkıntılı kenarına *krista basilaris*; hemen yukarısındaki oluğa *sulkus spiralis eksternus*; bu oluşumu yukarıdan sınırlayan çıkıntıya *prominenta spiralis* adı verilir. Dış duvarın iç yüzünde stria vaskülaris denilen damardan çok zengin bir tabaka bulunur.

Corti organı (*organum spirale*): Ductus koklearinin alt duvarında, membrana basillarisin üzerinde yer alır. Kupulaya kadar uzanır. Corti organında duyu ve destek hücreleri bulunur.

2.1.3.1. İç kulağın damarları ve sinirleri

İç kulak arterleri kemik labirente ve membranöz labirente kan sağlayan damarlardan gelecek şekilde ayrılmıştır. Kemik labirent maksillar arterden gelen a. tympanica anterior, a. auricularis posteriordan gelen a. stylomastoidea ve a. meningea mediadan gelen ramus petrosus ile kanlanır. Membranöz labirentin kanlanması ise a. labryrinthi tarafından sağlanır (23). A. labyrinth ya a. *inferior anterior cerebelli*'den köken ayrılır ya da a. basillaristen çıkar. Modiolus içinden geçen koklear kanala kan sağlayan a. cochlearis, vestibüler aygıtı kan sağlayan a. vestibülaris'tir (31, 38, 39).

Vestibülokoklear ve koklear arter, koklear kanalın lateral duvarında kapiller ağ oluşturarak sonlanır. Koklear arter apekse doğru ilerlerken spiral modiolar arter adını alır. Bu arter bir end arterdir ve tıkanıklığı sağırlığa yol açabildiğinden önemlidir (38). Spiral modiolar arterden arterioller ayrılarak kapiller dallar verir ve koklear beslenmeyi sağlar. Spiral kapiller sistem, sarmal yapısı nedeni ile anastomozlara

olanak sağlar. Özellikle basal kıvrımda anastomozlar sıktır ve kapiller alana geçebilecek şantlar mevcuttur. İç kulağın venöz drenajı v. *labyrinthi* ile olur (32, 40).

2.1.4. Santral işitme yolları

Vestibulokoklear (8. sinir) sinir: Vestibulokoklear (8. sinir) sinir superior vestibüler sinir, sakküler sinir, inferior vestibüler sinir ve koklear sinirden oluşur. Bu sinirler otik kapsülü geçerek iç kulak yoluna girer ve buradan n. facialis ve n. intermediusla birlikte seyreder (3).

Koklear çekirdekler: Koklear nucleus, işitme siniri lifleri için önemli bir noktadır. Çünkü işitme sisteminin fonksiyonu olan uyarım ve iletimin ilk durağıdır.

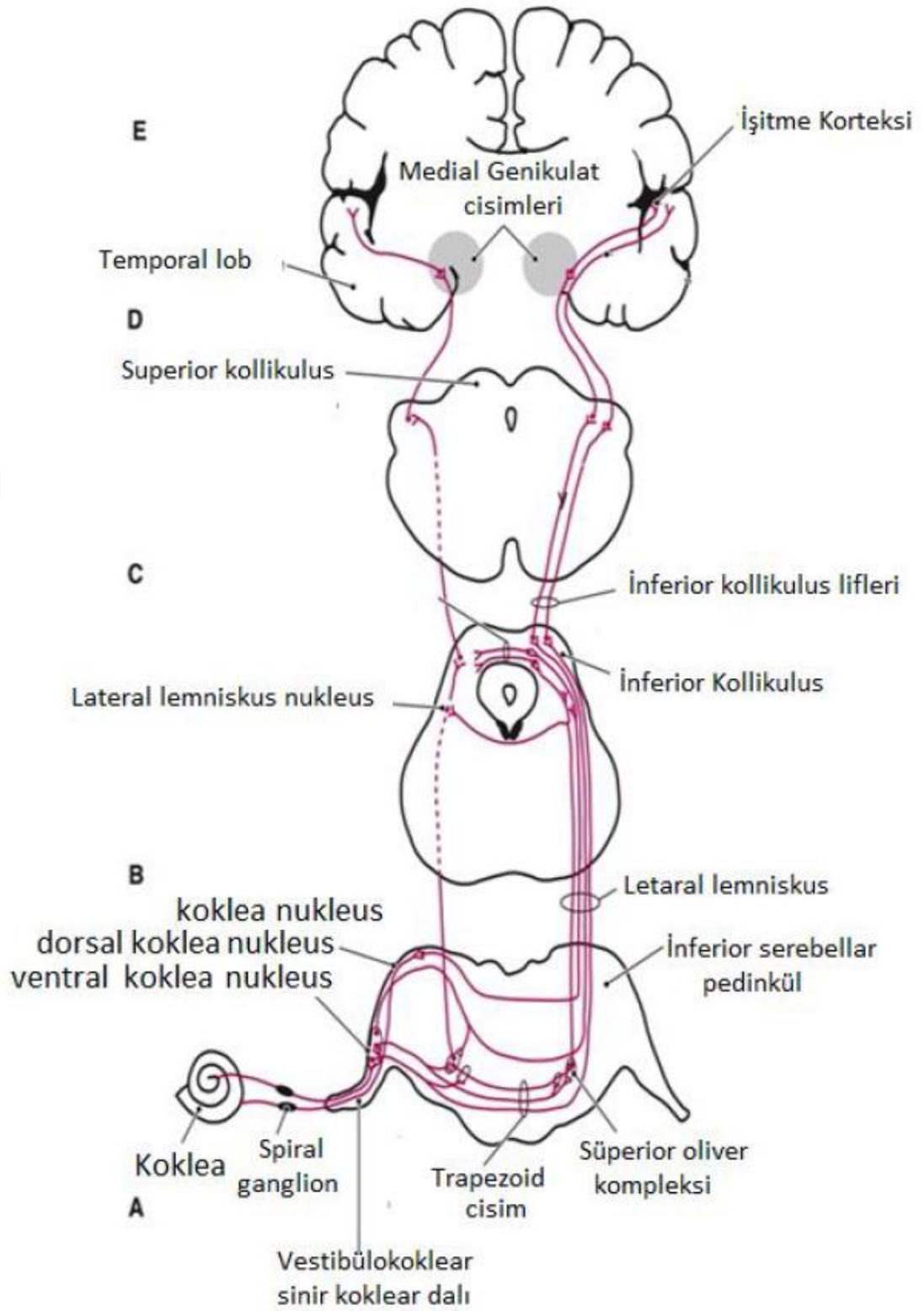
Superior olivary kompleks ve olivokoklear demet: Superior olivary kompleks, ponsta yer alır. Koklear nucleustan gelen bilginin entegrasyonunda görev alır.

Lateral lemniskus: Beyin sapının yan tarafında bulunan bu yapı sesteki zamanlama ve amplitüd değişikliklerine hassastır.

Inferior kollikulus: İki taraflıdır ve mezensefalonda yer alır. Alt beyin sapından gelen bilgileri üst kısımdaki medial genikulat cisme ve işitme korteksine gönderir.

Medial genikulat cisim: Talamusa yerleşmiştir. Ses lokalizasyonu ve ses lateralizasyonunun analiz edildiği yerdir.

İşitme korteksi: Temporal lobun üst kısmında yerleşmiştir. Primer işitme korteksi Broadmann'ın 41 ve 42 alanlarını kapsar. Hem akustik hem de diğer duyuşal girdileri alır (3) (Şekil 8).



Şekil 8. Santral işitsel yollar (41)

2.2. İşitme Fizyolojisi

2.2.1. Ses dalgası ve özellikleri

Ses enerjisi mekanik bir titreşimdir. Ses, maddesel bir ortamda yayılabilen titreşimlerin boyuna dalgalar şeklinde ilerlemesidir. Ses aynı zamanda hem havanın titreşimiyle oluşan işitme duyusuna verilen addır hem de bu titreşimin kendisine verilen addır. Kapsamlı anlamıyla ses; titreşim kaynağının bir enerji ile titreşime geçmesi sonucu ortam moleküllerinin birbirlerine yaklaşıp uzaklaşması sonucu ortaya çıkan mekanik dalga'nın insan kulağı tarafından algılandığı şeklidir. Ses dalgalarının hızı, yayıldığı ortamın özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Ses, katı ortamlarda en hızlı, gaz ortamlarda ise en yavaş yayılmaktadır. Hava tabakasında sesin yayılım hızı 331 m/sn'dir. Suda ise havaya nazaran 4 kat daha hızlı olarak 1433 m/sn ile hareket etmektedir. Kemikte yayılma hızı 3013 m/sn, çelikte ise 4704 m/sn hızla yayılmaktadır. Sesin saniyedeki titreşim sayısına sesin frekansı, tonu ya da perdesi adı verilir. Sesin frekans birimi Hertz (Hz) olarak ifade edilir. Normal bir insan kulağı her titreşim enerjisini ses olarak algılayamaz; ancak 20–20.000 Hz aralığındaki sesleri duyabilecek kapasitededir ve 50-5000 Hz arasındaki seslere karşı daha hassastır. Sesin şiddet birimi desibeldir (dB) (42). Bir ortamın ses dalgalarının yayılmasına gösterdiği direnç akustik direnç ya da impedans olarak ifade edilir. İmpedans, ortam moleküllerinin yoğunluğu ve esnekliği ile orantılıdır. Ses dalgaları ortam değiştirirken her iki ortamın impedansı birbirine ne kadar yakınsa yeni ortama geçen enerji miktarı da o kadar fazla olmaktadır (3).

2.2.2. İşitme

Dış ortamda bulunan ve ses olarak adlandırdığımız mekanik titreşimlerin DKY'ndan içeri girerek, iç kulağı uyarması ve oluşan 'ses' bilgisinin beyindeki merkezlerde anlam ve karakter olarak algılanmasına kadar olan süreç işitme olarak isimlendirilir ve işitme sistemi diye adlandırılan geniş bir bölgeyi ilgilendirir. Dış, orta ve iç kulak ile merkezi işitme yolları ve işitme merkezi bu sistemin parçalarıdır. İşitme birbirini izleyen bir kaç fazda gerçekleşmektedir.

2.2.2.1. İletim (conduction) fazı

İşitmenin gerçekleşmesi için öncelikle ses dalgalarının atmosferden dış ve orta kulak aracılığıyla Corti organına iletilmesi gereklidir. Bu olaya iletim-kondüksiyon denir. Bu mekanik olay sesin bizzat kendi enerjisiyle sağlanır.

Sesin atmosferden Corti organına iletilmesi: Ses dalgasının Corti organına iletilmesi sürecinde başın ve vücudun engelleyici, kulak kepçesi, DKY ve orta kulağın yönlendirici ya da şiddetlendirici etkileri vardır. Ses dalgaları başa çarpınca yansır ya da az miktarda da olsa kırılır. Sesin geliş yönüne göre, ses dalgalarının çarptığı kulak tarafında ses dalgalarının basıncı artar aksi taraftaki kulak bölgesinde ise basınç düşer. Bu olay sonucunda sesin iki kulağa ulaşması arasında 0,6 ms'n'lik bir fark oluşur. Bu fark interaural zaman farkı diye ifade edilir ve interaural zaman farkı sesin geliş yönünü belirlemede önemli bir rol oynar. Kulak kepçesi biçimi ve konumu ile çevredeki sesleri toplamayı ve dış kulak kanalına yönlendirmeyi sağlar. Böylece ses şiddetini 6 dB arttırdığı düşünülmektedir. DKY ses dalgalarını sadece yönlendirmez aynı zamanda şiddetlendirir. Yaklaşık 3,5 cm uzunluğu olan ve bir ucu kapalı silindir biçiminde olan DKY, bu haliyle fiziki bakımdan bir rezonatöre benzetilebilir. Bu özelliği sayesinde 3500 frekansındaki bir ses dalgası DKY'nda yaklaşık olarak 15-20 dB kuvvetlenebilmektedir. DKY'nun işitmedeki görevlerinden birisi de, havayı vücut sıcaklığına getirmesidir. Sesin alınmasında orta kulak ve DKY'ndaki hava ısısının birbirine yakın olması önemlidir çünkü ortamın ısısına göre ortamdaki gaz moleküllerinin hızı değişim göstermektedir.

Kulak zarının ses dalgalarının iletimindeki rolü: Kulak zarının timpan kemik içinde kalan gergin parçası pars tensa, kulak zarının ses dalgaları ile titreşen parçasıdır. Kulak zarının fibröz tabakası sirküler, radyal, parabolik ve semilüner liflerden oluşmaktadır. Parabolik ve semilüner lifler kulak zarına sürekli bir gerginlik sağlamaktadır. Bu gerginlik elastiki olmamasına rağmen kolaylıkla titreşebilir. Kulak zarı titreşimleri sadece dış yüzü ile alır ve ancak belli frekanslarda titreşir. Her taraftan gelen sesle titreşebilir, sesin geliş açısının titreşime bir etkisi yoktur. Yapılan ölçümlere göre kulak zarı ses enerjisinin orta kulağa direkt geçişini engellemekte ve 17 dB'lik bir kayba sebep olmaktadır.

Orta kulağın ses dalgalarının iletimindeki rolü: Orta kulak kendisine gelen ses titreşimlerini iç kulağa geçirmekte görev alır. Bu geçiş iki yolla olur; ses dalgaları ya kulak zarı ve kemikçikler sisteminin titreşimi ile oval pencereden perilenfe geçer ya da ses titreşimleri kulak zarı ve orta kulaktaki havanın titreşimi ile yuvarlak ve oval pencere yoluyla perilenfe aktarılır. Bu iki sistemle iç kulağa aktarılan enerjiler arasında önemli bir fark vardır. Kulak zarı ve kemikçik sistemi ile aktarılan enerji, diğer iletim yoluna göre daha kazançlıdır ve bu iki iletim mekanizması arasındaki fark 30 dB’i bulur. Ses dalgaları hava ve perilenf arasında ortam değiştirdiğinden rezistans farkından dolayı 30 dB’lik bir kayba uğrar. Orta kulak olmazsa ses titreşimleri iç kulağa 30 dB’lik bir kayıpla geçer. Orta kulak bir çeşit amplifikatör görevi görerek bu kaybı telafi etmektedir.

Orta kulağın yükseltici etkisi: Orta kulakta sesin şiddetini arttırıcı başlıca üç mekanizma vardır.

- a. Kulak zarının tahterevalli etkisi (*Katanery lever*): Kulak zarının titreşim bakımından kemik annulus ve manibrium mallei olmak üzere iki sabit noktası bulunur. Kulak zarı kemiğe sıkıca yapıştığı için annulusta titreşmez; ancak ince olan orta kısımda titreşir. Ses enerjisi fibröz tabakadaki elastik lifler yardımı ile manibrium malleide yoğunlaşmaktadır. Bu şekilde ses enerjisi kısmen hareketli manibriumla büyüyerek geçer. Buna katanery lever adı verilir. Sonuç olarak DKY’ndan kulak zarına gelen ses enerjisi kemikçikler sisteminde amplifiye edilerek iç kulağa ulaştırılır.
- b. Kemikçikler sisteminin yükseltici etkisi (*Ossiküler lever*): Malleus ve incus ses iletimi sırasında bir manivela gibi hareket eder ve sesi 1.3/1 oranında yükseltir. Bu yükseltme yaklaşık 2,5 dB’dir. Kemikçik sisteminin önemli bir özelliği, ses titreşimlerinin stapes tabanına ve yuvarlak pencereye aynı anda gitmesini önlemesidir.
- c. Kulak zarı ile stapes yüzeyleri arasındaki büyüklük farkı (*Hidrolik lever*): Kulak zarının titreşen bölümlerinin genişliği ile stapes tabanı arasında 1/15 – 1/20 oranında değişen fark bulunur. Zarın titreşen alanı 55 mm², stapes tabanı ise 3,2

mm²'dir. Aralarındaki oran 17'dir. Yani akustik enerji iç kulağa yaklaşık 17 kat yükselerek geçer. Bu kazanç yaklaşık olarak 24 dB'dir.

Orta kulağın koruyuculuk görevi: Orta kulak havalı bir boşluktur. İç kulak için havalı bir tampon görevi yaparak travmaların etkisini azaltmaktadır. Ayrıca orta kulaktaki iki kas yardımı ile yüksek şiddetteki ses titreşimlerinin iç kulağa geçmesini engellemekte görev alır.

Orta kulağın transfer fonksiyonu: Orta kulağın ses iletimi frekanslarla sınırlıdır. Esnekliğin azalmasıyla alçak frekanslarda işitme kaybı ortaya çıkar. Aynı şekilde sistemin kütesinin artması yüksek frekanslarda işitme kaybına neden olur.

Orta kulak kaslarının ses iletimine etkisi: M. tensor timpani ve M. stapedius ses uyaranlarıyla harekete geçer. Bu refleksif bir olaydır ve akustik refleks olarak isimlendirilir. Reflekslerin meydana gelmesi için işitme eşiğinin 80 dB üstünde bir ses verilmesi gerekir. Kaslar yüksek şiddetteki ses uyaranlarına karşı iç kulağı korumakta görev alırlar. Ayrıca kemikçiklere yani iletim sistemine gerginlik ve rijidite sağlamak, kaslarla ossiküler zincire kan damarlarının gelmesini sağlayarak beslenmelerine olanak sağlamak ve çiğneme, vokalizasyon ve kendi sesi ile ortaya çıkan gürültülerden korumak gibi çeşitli görevleri vardır.

Orta kulağın kemik iletimindeki rolü: Kemik yolu ile sesin iç kulağa iletimi üç yolla gerçekleşir. Kafatasının blok olarak titreşimiyle iç kulak sıvıları ve dolayısıyla basilar membran titreşir. DKY'ndaki havanın titreşmesiyle kemik iletimi gerçekleşir; ancak bu olasılık sadece alçak frekanslar için geçerlidir. Mandibula kondilinin titreşimi de DKY kartilajı yoluyla ses enerjisinin iç kulağa iletimini sağlamaktadır. Kafatasının titreşimi aynı zamanda stapes tabanına da geçebilmektedir.

Pencerelerin ses iletimindeki rolü: Timpanik membran titreştiği zaman ses titreşimleri pencerelelere iki şekilde ulaşır; kemikçikler yoluyla oval pencereye ve hava yolu ile yuvarlak pencereye varır. Bu şekilde, yuvarlak ve oval pencereye ulaşan ses dalgaları arasında iletim hızının farklı olmasından dolayı faz farkı ortaya çıkar. Buna defazaj denir. Yani oval ve yuvarlak pencereye gelen ses dalgaları

arasında faz farkı ortaya çıkar. Ses dalgaları, farklı fazlarda iletildiği zaman, koklear potansiyeller optimum seviyede olur. Buna karşılık, pencerelere aynı fazda ulaşan ses dalgaları, koklear potansiyelin minimum seviyede olmasına sebep olur. Aynı fazlarda gönderilen ses dalgaları perilenfte aynı yönde hareket ederek birbirlerinin etkilerini yok eder.

Ses titreşimlerinin basilar membrana ulaşabilmesi için perilenfin hareket etmesi gerekir; ancak stapes tabanı titreşimi iletmek için perilenfe doğru hareket ettiğinde perilenfin de harekete geçebilmesi için ikinci bir pencereye ihtiyaç vardır. Yuvarlak pencere membranı stapes hareketi sırasında bombeleşerek perilenfe hareket imkanı sağlar. Yuvarlak pencerenin olmaması durumunda otik kapsülde esnek bir ortam olmadığından sıvılar sıkıştırılamayacak ve perilenf hareketi gözlenemeyecekti.

Eustachi borusunun ses iletimindeki rolü: Orta kulak basıncıyla atmosfer basıncı arasındaki denge Eustachi tüpü aracılığıyla sağlanır. Kulak zarının normal titreşim yapabilmesi için orta kulağın normal havalanıyor olması ve iki taraftaki hava basıncının dengeli olması gerekir. Ani yükseklik kaybı veya dış ortamdaki basıncın ani değişiklikleri işitmede azalmaya sebep olur; ancak bu geçici bir durumdur. Eustachi borusu, dış ortamdaki basınç ile orta kulak hava basıncını dengeli hale getirmektedir ve işitme eski haline dönebilmektedir.

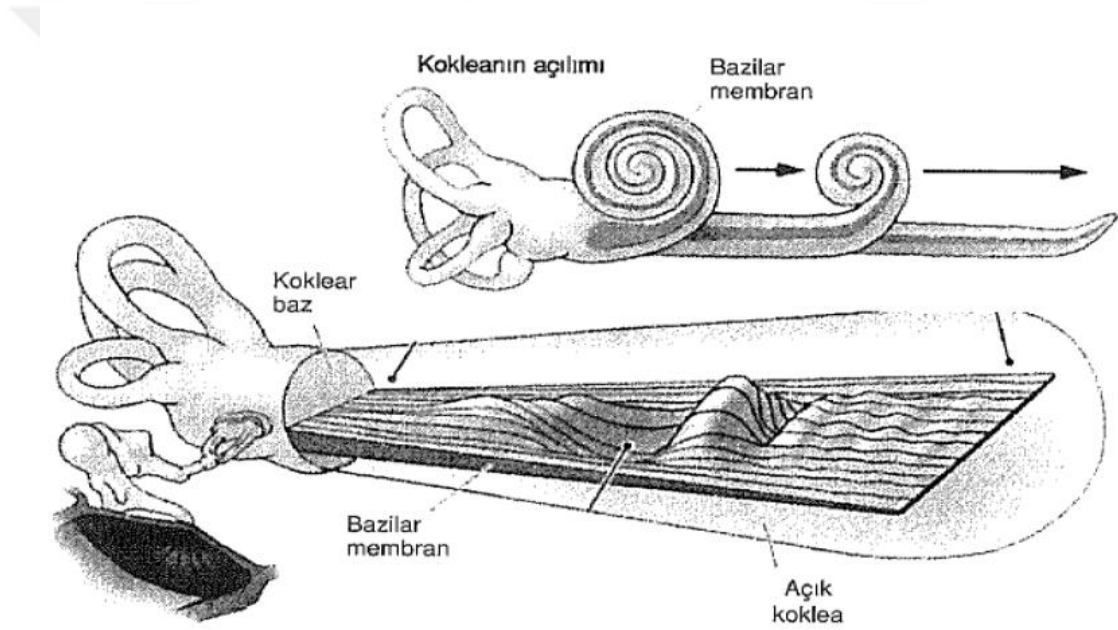
2.2.2.2. Koklear mekanik; Ses dalgalarının sinirsel enerji haline dönüştürülmesi fazı (transdüksiyon)

İç kulakta frekansların periferik analizi yapılır ve Corti organında ses enerjisi biyokimyasal olaylarla sinir enerjisine dönüştürülür.

Ses dalgalarının perilenfe iletilmesi: İşitsel titreşimler basilar membranda yer değişimlerine yol açmaktadır. Bekesy bu harekete ilerleyen dalga “travelling wave” adını vermiştir (Şekil 9). Titreşimlerle oluşan bu yer değiştirme basilar membranın basal ucundan başlayarak apekse doğru ilerler. Bu yayılma hem enine hem de boyuna yönde gerçekleşir. Basal membran basal turda dar (0,12 mm) ve apikal tura

nazaran gergindir. Apikal turda daha geniştir (0,5 mm) ve apekse doğru genişliği arttıkça gerginliği giderek azalır gösterir. Bu fark nedeniyle ses dalgası, basal turdan apikal tura kadar gezinen dalgayla götürülmüş olur. Bekesy'nin ortaya koyduğu diğer bir özellik de bu dalgaların basilar membran üzerinde en büyük titreşim yaptığı yerin her frekans için belirli bölgelerde oluşudur.

Basilar membran amplitüdü sesin frekansına göre değişiklik göstermektedir. Genellikle basal membran amplitüdüleri yüksek frekanslı seslerde basal turda en yüksek iken alçak frekanslı seslerde apikal turda en yüksek seviyeye ulaşır (4, 40, 42, 43, 45, 46).



Şekil 9. İlerleyen dalga modeli (44)

Kokleada 3 tür elektrik potansiyeli bulunur.

Aksiyon potansiyeli: İşitme sinirinin aksiyon potansiyelleri, sinir üzerinden yuvarlak pencereden ya da kokleadan kayıt edilebilir. İnsanlarda DKY'ndan ya da saçlı deriden de kayıt edilebilir. İşitsel uyarın iç kulaktaki iletim dalgasından sonra elektriksel gerilimlere dönüşür ve işitme sinir liflerinin bir grubunda aksiyon potansiyelleri oluşur. Bir ses uyarının beyne kadar iletilmesinde taşıyıcı nöronların

tümünün toplam aksiyon potansiyelleri, işitme sinirinin o andaki aksiyon potansiyelini verir.

Koklear mikrofonik: Koklear mikrofoninin kaynağı büyük ölçüde DSH'dir ve bunların meydana getirdiği K iyonu akımına bağlıdır. Koklear mikrofonu DSH harabiyetinde kaybolur. Ses uyarıları ve basılar membran hareketleri ile direkt ilişkilidir.

Sumasyon potansiyeli: Sumasyon potansiyelini, İSH içindeki elektriksel potansiyelin oluşturduğu düşünülmektedir. Yüksek şiddetteki uyarılarla daha belirgin hale gelirler ve bu yönüyle koklear mikrofonikten ayrılırlar. Ses uyarısına, frekansına ve şiddetine göre değişiklik gösterir (3, 42, 43).

2.2.2.3. Sinir şifresi (neural coding) fazı

İSH ve DSH'lerde oluşan elektriksel akım, kendisi ile ilişkili sinir liflerini uyarır. Bu şekilde sinir enerjisi şiddetine ve frekansına göre Corti organında kodlanmış olur (3, 43).

2.2.2.4. Algı (cognition) – birleştirme (association) fazı

Tek tek gelen bu sinir iletimleri, işitme merkezinde birleştirilmekte ve çözümlenmektedir. Böylece sesin karakteri ve anlamı anlaşılır hale getirilmiş olur (48).

Cortinin spiral ganglionundan çıkan sinir lifleri medullanın üst bölümünde bulunan dorsal ve ventral koklea çekirdeklerine girer. Düşük frekanslı seslerle oluşan uyarı ventral nucleusta, yüksek frekanslı seslerle oluşan uyarı dorsal nucleusta sonlanır. Bu liflerin çoğu beyin sapının karşı tarafına geçerek superior olivar komplekse katılırlar. Superior olivar kompleksten kalkan sinir yolağı lateral lemniscus içinde yukarı tırmanır. Bu işitsel sinir liflerinin tümü inferior kollikulusa gider. Yolak buradan kalkıp tüm liflerin kavşak yapacağı medial genikulat nucleusa geçer. Yolak son

olarak odituvar radyasyonlar aracılığıyla temporal loptaki Sylvian fissürüne yerleşmiş işitsel kortekse gelir ve algı fazı gerçekleşmiş olur (43, 47).

2.3. Akustik İmpedans ve Timpanometri

2.3.1. Akustik impedans

Akustik impedans ölçümlerinin klinik uygulaması 1940'lı yıllarda Danimarka'da başlamıştır. Otto Metz, normal ve patolojik kulaklardaki impedans ölçüm çalışmalarıyla akustik impedansta dönüm noktası olmuştur. Metz normal ve patolojik birçok kulakta test yaparak akustik impedans teorisini geliştirmiştir. Birçok araştırmacı akustik impedans ölçümlerine katkıda bulunmuş olmasına rağmen, timpanometri ancak 1959 yılında Terkildsen ve Thomsen tarafından dünyaya tanıtılmıştır. 1960-1970 yılları arasında klinik araçların gelişimi, timpanogram üzerinde spesifik kulak patolojilerinin etkilerinin gözlenmesini sağlamıştır (49).

Elektroakustik impedansmetre, orta kulağın mekanik durumunun test edilmesinde ve akustik refleks arkının fonksiyonunun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Akustik immitans (iletkenlik); akustik admittans (geçirgenlik) ve akustik impedans (direnc) kavramlarının ikisini birden ifade eden kollektif bir terimdir. Akustik admittans (akustik mmho), kulak zarı ve orta kulak sisteminin akustik enerji akışına gösterdiği geçirgenliktir. Akustik impedans (akustik ohm) ise orta kulağın, orta kulak iletim sistemi içerisindeki akustik enerjinin akışına karşı gösterdiği direncin ölçümüdür (50, 51).

American National Standards Institute (ANSI) tarafından 1987 yılında klinik akustik immitans sisteminin özelliklerini tanımlayan ve standartlaştırmayı amaçlayan bir yayın yapılmıştır. Bu sistemin üreticileri genellikle bir standarda uymak için kendi araçlarını tasarlamışlardır. Standardın amacı ise; işitsel akustik immitans ölçümlerinin 226 Hz prob ton kullanarak standart özellikleri karşılayan herhangi bir araç ile ölçüldüğünde eşdeğerlik sağlayabilmektir. Ayrıca oluşturulan standart ortak,

tek yönlü terminolojinin geliştirilmesine ve formatın planlanmasına yardımcı olmaktadır (52).

ANSI'ye göre immitans kavramını ve immitansın kapsadığı unsurlarını ölçü birimleri ile kısaca ifade edecek olursak;

Akustik İmmitans: Admittans ve impedansın her ikisini birden ifade eden kolektif terimdir.

Akustik Admittans (Ya): Birimi akustik mmho'dur. Akustik bir sistemden ses enerjisinin geçiş kolaylığını ifade eder.

Akustik Kondüktans (Ga): Birimi akustik mmho'dur. Admittansın reel unsurudur ve rezistans ile karşılıklı ilişki içindedir. Sistemin direnç (rezistans) gösteren unsurlarından enerjinin geçiş kolaylığıdır.

Akustik Suseptans (Ba): Birimi akustik mmho'dur. Admittansın varsayılan unsurudur ve sistemin kütle ve yay özelliği gösteren mekanik-akustik unsurlarından enerjinin geçiş kolaylığını ifade etmektedir. Kütle ve komplians suseptans değerlerinin sayısal çokluklarının cebirsel toplamıdır.

Akustik İmpedans (Za): Birimi akustik ohm'dur. Sistemin ses enerjisinin geçişi esnasında, enerjinin geçişine karşı oluşturduğu dirençtir.

Akustik Rezistans (Ra): Birimi akustik ohm'dur. İmpedansın reel unsurudur ve enerji geçişine sistemin direncini ifade eder.

Akustik Reaktans (Xa): Birimi akustik ohm'dur. İmpedansın varsayılan unsurudur, kütle reaktansı ve komplians reaktansın sayısal çokluklarının cebirsel toplamıdır (52).

Admittansın komplians, kütle ve sürtünme olmak üzere üç önemli komponenti vardır. Komplians; timpan zar, orta kulakta bulunan ligaman ve tendonların gerginliğinden oluşan “katılığı (stiffness)” tersidir. Terminoljik olarak “komplians suseptansı (Bc)” olarak isimlendirilir. İkinci değişken olan kütle ise, timpan

membranın pars flaksidası, orta kulak kemikçikleri gibi komponentlerin kütleli etkileriyle oluşur. “Kütleli suseptans (B_m)” olarak adlandırılır. Bu iki komponentin vektörel yönleri birbirlerine zıttır ve toplamı total suseptansı (B_t) verir. Üçüncü komponent olan sürtünme ise ses enerjisinin timpan zar ve kemikçiklerden geçerken maruz kaldığı absorpsiyonu tanımlar. Terminolojik olarak konduktans (G_a) olarak isimlendirilir (53). Günümüzde akustik immitans ölçümünü yapan cihazlar sadece akustik admittansı (Y_a) ve admittansın iki alt ögesi olan akustik suseptans (B_a) ile akustik konduktansı (G_a) ölçer. İmpedans yerine admittans ölçmenin bir sebebi probe ile timpanik membran arasındaki havanın admittans değerini pek etkilememesi ancak impedans değerinde değişikliklere yol açmasıdır. Diğer sebep ise admittans değerinin orta kulağın mekanik-akustik sistemindeki farklı unsurlarının fonksiyon farklılıklarına karşı daha hassas olmasıdır (54, 55).

Orta kulağa ulaşan akustik uyaranlar değişik frekanslara sahiptir ve bu değişik frekanslarda orta kulağın admittans özellikleri değişiklikler gösterir. Frekansıel değişimden etkilenmeyen admittans komponenti konduktanstır (G_a). Her iki suseptans vektörü ise frekansa bağımlı olarak değişkenlik gösterirler. Kütleli suseptans (B_m) frekans ile doğru orantılı, komplians suseptansı (B_c) ise ters orantılı olarak değişir. Yani, frekans arttıkça admittans vektörünün açısı (θ) negatife yönelir, yani orta kulak yüksek frekanslarda daha çok kütle etkisi altına girer. Düşük frekanslardaki uyaranlarda ise admittans vektörü pozitifeye doğru yönelir. Bu durumda orta kulak katılık (stiffness) etkisindedir (53).

Birbirine zıt vektörel komponentler olan komplians ve kütleli suseptansların vektörel magnitüdüleri birbirine eşit olduğunda total suseptans değeri “0” olacaktır. Bu durumda orta kulağın rezonans durumu oluşur. Bu rezonans durumunda, yani total suseptansın sıfırlandığı anda elde edilen frekans, “orta kulağın rezonans frekansı (RF)” olarak tanımlanmaktadır (53). Başka bir deyişle kulağın kütle ve sertlik elemanları dengede ise orta kulak rezonanstadır. Sürtünme komponenti frekansa bağımlı bir parametre değildir. RF’nda orta kulak admittansını belirleyen komponent sürtünme komponentidir. Orta kulak RF birçok patolojiden etkilenir. Özellikle sertlik etkisinin arttığı patolojilerde orta kulak RF değeri de artmaktadır (56, 57).

Akustik admittans karmaşık iki parametrenin ilişkide olduğu bir çokluğun ifadesidir. Dolayısıyla tek bir sayısal değer veya parametre ile açıklamak mümkün olmamaktadır. Admittansın iki parametresi olan suseptans ve kondüktans vektörel birer büyüklüktür. Kondüktans parametresi sürtünme unsuru ile ilgili olduğundan negatif değer alamaz, bu yüzden X ekseninde gösterilir. Suseptansın iki parametresi komplians suseptans ve kütle suseptans hız-kuvvet ilişkilerine göre Y ekseninde pozitif ya da negatif değer alabilir (54).

Komplians ve kütle suseptanslarının toplamının 0'a eşit olduğu nokta rezonans noktasıdır. Orta kulak rezonans noktasının altındaki frekanslarda komplians suseptansın etkisi altındadır yani sertlik özellik gösterir. RF'nin üstündeki frekanslarda ise orta kulak sistemi kütle suseptansının etkisi altındadır.

Orta kulak sisteminde patolojik bir durum söz konusu olduğunda bu durum orta kulağın mekanik-akustik özelliklerinde bir takım değişiklikler meydana gelir. Bu da admittans değerinin değişeceği anlamına gelir. Bu anlamda immitansmetrik ölçümler orta kulak fonksiyonları hakkındaki değişikliklere ve bunlarla ilişkili olabilecek patolojilere dair bilgi edinmemizi sağlar.

İmmitansmetrik ölçüm bataryasında akla ilk gelen timpanometri olsa da, timpanometrinin yanı sıra akustik refleks ve refleks decay testleriyle Eustachi tüpü fonksiyon testleri de yer alır. İmmitansmetre effüzyon, otoskleroz, kemikçik zincir fiksasyonu ve kopukluğu, orta kulakta sıvı birikimi, orta kulakta tümör varlığı, timpanik membran zedelenmesi ve perforasyonu gibi orta kulağı ilgilendiren hastalıkların yanı sıra 8. kraniyal sinir fonksiyonu ve fasiyal sinir fonksiyonu gibi birçok hastalığın teşhisinde de yardımcı olur (58, 59).

2.3.2. Timpanometri

Timpanometri, DKY'ndan yapılan basınç değişiklikleri ile orta kulağın akustik immitansını ölçmeye yarayan test yöntemidir (60). Orta kulak fonksiyonunu objektif

olarak değerlendirmemizi sağlar. Timpanometrik ölçümleri yapan cihazların beş unsuru bulunur (61):

1. **Probe:** Sinyal veren bir hoparlör, basınç pompası ve yansıyan basıncı kayıt eden mikrofondan oluşur.
2. **Pnömatik sistem:** Basınç değişikliğini sağlayan sistemdir.
3. **Akustik immitans ölçüm sistemi:** Kayıt edilen değerleri ölçen sistemdir.
4. **Akustik refleks aktivatör sistemi:** İpsilateral, kontralateral ya da ikisine birden saf ses sinyali veren sistemdir.
5. **Kayıt cihazı**

Timpanometri, orta kulak fonksiyonlarının objektif ölçümüdür. Timpanometri, dış kulak kanalındaki hava basıncının değiştirilmesiyle akustik immitansın dinamik ölçümü olarak tanımlanmıştır. Değişken basınç noktalarından alınan akustik admittans ölçümleridir (11).

DKY'na yerleştirilen probe ile 226 Hz'de 85 dB SPL şiddetinde uyaran verilir. Aynı zamanda DKY'ndaki probe ile kulak zarı arasındaki hava basıncı + 200 daPa ile -400 daPa (decapascal, 1 daPa = 1.02 mm H₂O) arasında değiştirilirken timpanogram adı verilen bir grafik çizdirilir (42, 62).

Basıncın + 200 mm H₂O olarak verildiği anda orta kulak yapıları itileceği için mobilizasyon ortadan kalkar ve verilen ses zardan geri yansır. Bu durumda impedans maksimum, kompians ise minimum değerdedir. Verilen basınç azaltıldıkça orta kulağın mobil yapıları gevşemeye başlar ve kompians değerinde belirli bir seviyeye kadar artış, bir noktada peak ve sonrasında azalma gözlenir. Bu peak noktası DKY'na uygulanan basınçla orta kulaktaki basıncın eşit olduğu değerdir. Eustachi fonksiyonu normal ise, peak noktası, DKY'na uygulanan basınç 0 mm H₂O civarındayken olduğu nokta olacaktır. DKY'na uygulanan basınç eksi değerlere düştükçe timpanik membran ve kemikçikler DKY'na doğru çekileceği için mobilizasyon tekrar azalır. Dolayısıyla kompiyansta azalır ve -400 mm H₂O'ya gelindiğinde kompians tekrar minimum değere düşer (63, 64).

Timpanometrinin yorumlanabilmesinde önemli parametreler bulunmaktadır;

Timpanometrik tepe noktası basıncı: Maksimum tepe noktasının olduğu basınç düzeyini gösterir. Bu nokta orta kulak geçirgenliğinin en yüksek olduğu basınç değeridir. Normal kulaklarda -100 ile +50 daPa arasında değişkenlik göstermektedir. Eustachi disfonksiyonu ve effüzyonlu otitlerde tepe basıncı negatif alana kayar. Akut otit başlangıcında ise tepe basıncı pozitif alanda olabilir (60).

Dış kulak yolu hacmi: DKY'na yerleştirilmiş olan probe ile kulak zarı arasında kalan boşluğun mililitre olarak değerini vermektedir. Zar sağlam ise, DKY hacmini gösterirken, perfore ya da ventilasyon tüpü yerleştirilmiş zarlarda, orta kulak ve mastoid hücre sisteminin de hacmi hesaba katılacağı için değerin yüksek olarak bulunacağı belirtilmektedir (65).

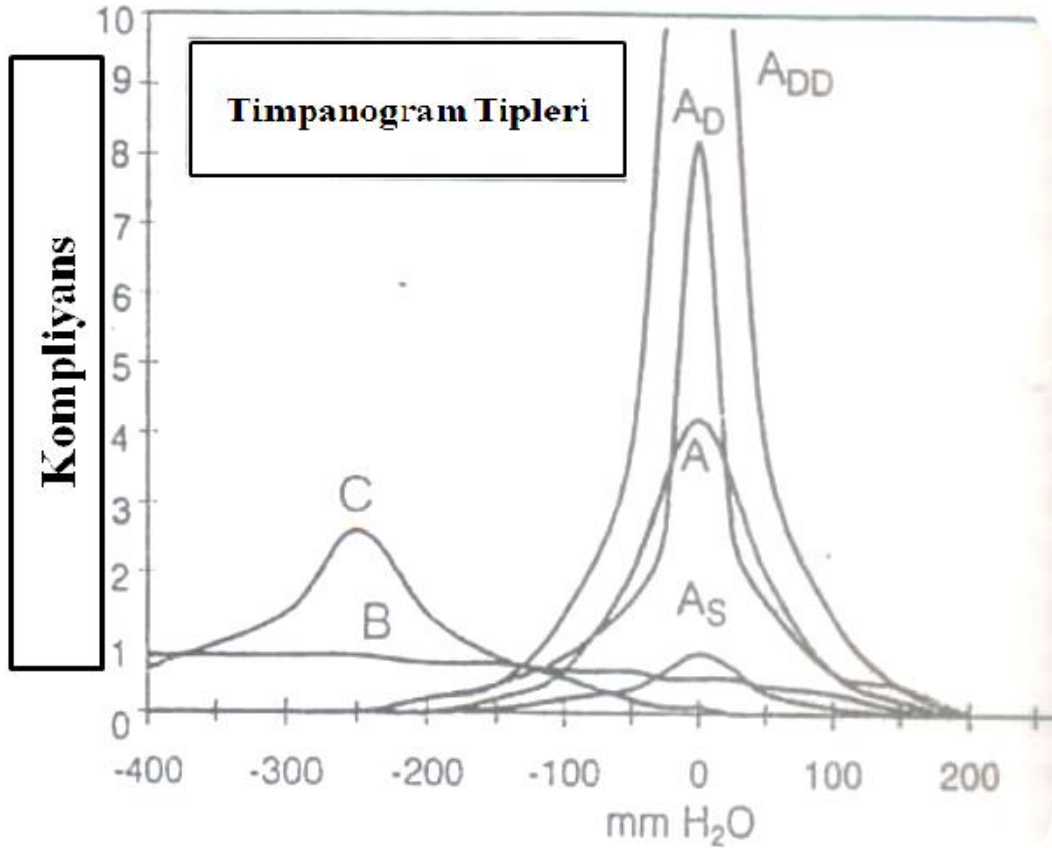
Timpanometrik genlik: Timpanogram eğrisinin genişliğinin ifadesidir. Timpanogramdaki tepe yüksekliğinin yarısında ölçülen genişliktir. Timpanogram genişliği fazla ise effüzyon olma olasılığı yüksektir.

Timpanogram Gradienti: Timpanogramın şeklini belirleyen en önemli değerlerdendir. Tepe noktasının dikliğini belirleyen açıyı ifade eder. Bu değer daPa cinsinden elde edilmektedir ve orta kulak admittansının tepe noktasıyla ortalama değeri arasındaki farkı gösterir. Bazı çalışmalarda orta kulakta bulunan sıvının gradient değerini düşürdüğü belirtilmiştir.

Tepe Noktası (Peak) Telafili Akustik Admittans: Orta kulak admittansı olarak da isimlendirilebilir. DKY'ndaki hava hacminin admittansının toplam admittans değerinden çıkarılmasıyla bulunur. Timpanogram değerinin yüksekliği bu değeri verir. Bazı orta kulak rahatsızlıkları, direkt olarak timpanogramın yüksekliğiyle alakalıdır. Güvenilirlik değeri yüksek olan bir değerdir çünkü yükseklik ölçüsü hastanın ölçüm esnasındaki nefes örüntüsünden ya da yutkunmasından etkilenmez (66).

2.3.2.1. Timpanogram tipleri

Timpanogram tipleri ilk olarak 1969 yılında Liden tarafından sınıflandırılmıştır. Sonrasında 1970'lerde Jerger ve Liden ile çalışma arkadaşları tarafından sınıflandırma daha da geliştirilmiştir ve günümüzde en yaygın kullanılan ve kabul gören sınıflandırma şeması haline getirilmiştir (54, 67, 68).



Şekil 10. Timpanogram Tipleri (60).

Tip A: A tipi timpanogramın 3 alt tipi vardır. Tip A timpanogram, kulak zarının 0 mm H₂O atmosfer basıncında maksimum kompliyans gösterdiği timpanogramdır. Normal orta kulak sistemine sahip kişilerde gözlenir. Tip Ad normal basınç alanında normalden daha yüksek amplitüdle tepe veren timpanogram tipidir. Kemikçik zinciri kopukluklarında görülür. Tip As normal basınç altında düşük amplitüdle tepe veren timpanogram tipidir. Sert ve kalın kulak zarında, kemikçik zincir hareketliliğinin azaldığı otoskleroz, kemikçik zincir fiksasyonu hastalıklarında görülür.

Tip B: Tip B timpanogram tepe noktası vermeyen, düz ve yaygın tepeli, düşük amplitüdlü timpanogram olup çizgi şeklindedir. Orta kulak effüzyonu, timpan zar perforasyonu, probun serümenle tıkanması, kulak kanalını tıkayan serumen, tüpün ağzının DKY'na dayanması gibi probun yanlış yerleştirildiği durumlarda görülür.

Tip C: Normal amplitüdle tepe veren ancak peak basıncının -50 daPa'dan düşük değerlerde gerçekleştiği timpanogram eğrisidir. Orta kulakta negatif basıncı veya Eustachi disfonksiyonunu gösterir (4, 42, 69).

Jerger'in 1970'li yıllarda sunduğu bu parametreler klinik ortamlarda geçerliliğini hala korumaktadır; ancak bu analiz şekilleri sadece 226 Hz ile ölçüm yapan alçak frekans timpanometrisi için geçerlidir. Jerger tarafından 226 Hz prob ton için bildirilen bu üç timpanogram çeşidine (A, B ve C tipleri) ek olarak yüksek frekans prob ton için iki ilave D tipi ve E tipi olarak adlandırılan birden fazla tepe noktalı timpanometrik kalıp daha ortaya çıkmıştır (58).

Tip D: Tip D timpanogram “w” şeklindedir. Timpanik membranın atrofik, skarlı ya da flasid olmasını gösterir (55).

Tip E: Birden fazla alçak tepe noktalarına sahiptir ve geniş, inişli çıkışlı tepe noktalarıyla karakterizedir. Jerger ve Northern (1970) tarafından tip E timpanogramın kemikçik zincir devamsızlığına işaret ettiği ileri sürülmüştür (55).

Timpanometrinin tek başına kullanımı orta kulak patolojilerinin teşhisini koyabilmek adına yeterli bir test bataryası değildir. Timpanometri, klinik uygulamada anemnez, otoskopik muayene sonuçları ve saf ses odyometrisiyle beraber bir hastalığın teşhisini mümkün kılabilir (11).

Timpanometride, alçak frekansın tercih edilmesinin nedeni yüksek frekanslarda oluşabilecek mikrofon düzensizliklerini ve ölçüm esnasında akustik refleks oluşumunu engellemektir. Alçak frekans timpanometri orta kulağın fonksiyonuna dair çok önemli bilgiler sunar; fakat bazı yetersizlikleri de vardır. Bu eksikliklerden biri her orta kulak patolojisi için ayrı bir veri sunmadığından timpanometri ölçümünün sonucuna dayanarak net bir teşhis koymanın mümkün olmamasıdır (58, 60).

Orta kulak sisteminin anatomik unsurlarının her birinin toplam admittans değerine farklı katkıları vardır ve timpanometri bunların katkılarının toplamını ölçmektedir. Dolayısıyla otoskleroz veya timpanik membran perforasyonu gibi hastalıklarda farklı farklı verilere sebep olabileceği gibi birbirinden farklı orta kulak rahatsızlıklarında benzer timpanometrik veriler de kayıt edilebilir (54, 61).

Timpanometriyle ilgili diğer bir yetersizlik ise, DKY'na yerleştirilen probe timpanik membrana en yakın olduğundan, timpanik membranın altında yatan diğer patolojileri maskeleyebilmesidir (54).

Yetersizlik ve eksikliklere rağmen timpanometri, otoskopi, saf ses odyometrisi ve akustik refleks ölçümleriyle beraber kullanıldığında orta kulak hastalıklarının tespitinde önemlidir. Ayrıca saf ses odyometrisinin sağlamasını yapma imkanı vermektedir (54).

Timpanometrideki yanılgılar cihaza, hastaya ya da uygulayan kişiye bağlı olarak değişebilir. Öncelikle hastanın hareket etmesi ya da yutkunması yanlış veriler elde etmeye sebep olabilir. Cihaza bağlı voltaj veya kalibrasyon bozukluğunun olmaması gereklidir. En önemlisi ise uygulayana bağlı olan hatalardır. Probun yanlış konumlanması, buşonun iyi temizlenememiş olması, testin uygun protokolde uygulanmaması ve test sırasındaki sağ/solu karıştırmak, refleksleri yanlış kaydetmek gibi dikkatsiz kayıtlar sonuçları olumsuz etkiler (69).

2.3.2.2. Akustik refleks

Akustik refleks, konvansiyonel timpanometri test bataryası içinde değerlendirilen bir başka parametredir. Simülatörlerin tespitinde, rekrutman araştırmasında, fasial paralizilerde lezyonun lokalizasyonunda faydalı bir testtir. Koklear, retrokoklear ve iletim tipi işitme kayıplarının ayırıcı tanısında kullanılabilir (70). Bu testin uygulanabilmesi için kulak zarının perfore olmaması gerekir. Sağlıklı kulağa sahip kişilerde işitme eşiğinin yaklaşık 70-90 dB üzerinde saf ses uyaran verildiğinde, tensor timpani kası malleusu kulak zarından uzaklaştırırken, stapedius kası stapes footplate'ini oval pencereden orta kulağa doğru çeker. Orta kulaktaki bu iki kasın ters yöndeki hareketi iç kulağı yüksek şiddetteki seslerden korur. Akustik refleks,

orta kulak içindeki istemsiz kas kasılmalarını gösterir. M. stapediusun belirli bir şiddetteki ses uyarını sonucu refleks olarak kasılması iki taraflı olarak gerçekleşir. Yani esas uyarın hangi kulaktan verilirse verilsin her iki kas birden kasılır; ancak bunun için refleks arkının sağlam olması gereklidir. Ses uyarını koklear sinir lifleriyle ventral koklear nucleusa ve oradan trapezoid cisme ve medial superior olivary komplekse ve buradan da fasiyal sinirin motor nucleusunun medial bölümüne gelir. Fasiyal sinirle M. stapediusa iletilir. Bu refleks yoluyla yedinci ve sekizinci kraniyal sinir ve beyin sapı alt merkezleri sorgulanmış olur (42, 71).

2.3.2.3. Multifrekans timpanometri



Şekil 11. GSI (Grason-Stadler Inc.) Tympstar Middle Ear Analyzer Version 2 (72).

Günümüzde kullanılan klasik timpanometri sıklıkla 226 Hz prob tonla uygulanmaktadır; ancak değişik frekanslarda prob ton uygulanması, özellikle orta kulak patolojilerinin tanısında yarar sağlamaktadır. Multifrekans timpanometri (MFT), 226 Hz ile 2000 Hz arasında değişik prob tonlarla elde edilen

timpanogramların analizini sağlayan bir yöntemdir. Alçak frekans prob ton kullanıldığı zaman timpanogram daha çok timpanik membran ve orta kulak katılığı hakkında bilgi sunar. Yüksek frekanslı prob tonlar ise orta kulak sisteminin katılık etkisini artıran otoskleroz, ossiküler zincir deformasyonları, orta kulak malformasyonları, kolestoatom, orta kulak tümörleri, osteogenesis imperfecta gibi patolojilerde daha değerli bilgiler sunmaktadır. Bu anlamda bu rahatsızlıkların ayırıcı tanısında multifrekans timpanogramın değeri daha da önem kazanmıştır (61, 69).

RF multifrekans timpanometriden elde edilen önemli verilerden biridir. İmmittans kavramından bahsederken değinildiği gibi admittans bir sistemin enerjiyi iletme yeteneğini gösterir. İki unsuru vardır. Bunlardan ilki sürtünme unsurundan geçiş kolaylığını ifade eden kondüktans, enerjinin kayba uğramadan sistemden geçişi anlamına gelmektedir ve frekans değerinden bağımsız bir faktördür. Admittansın ikinci diğer unsuru olan suseptans ise, enerjinin komplians ve kütle elemanlarından geçiş kolaylığını ifade eder ve frekans değerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Suseptansın iki alt elemanı komplians suseptans ve kütle suseptansının cebirsel toplamı toplam suseptansı vermektedir. RF, toplam suseptans (Bt) değerinin sıfıra eşit olduğu ve sistemin doğal frekansında titreştiği frekansı ifade eder (54).

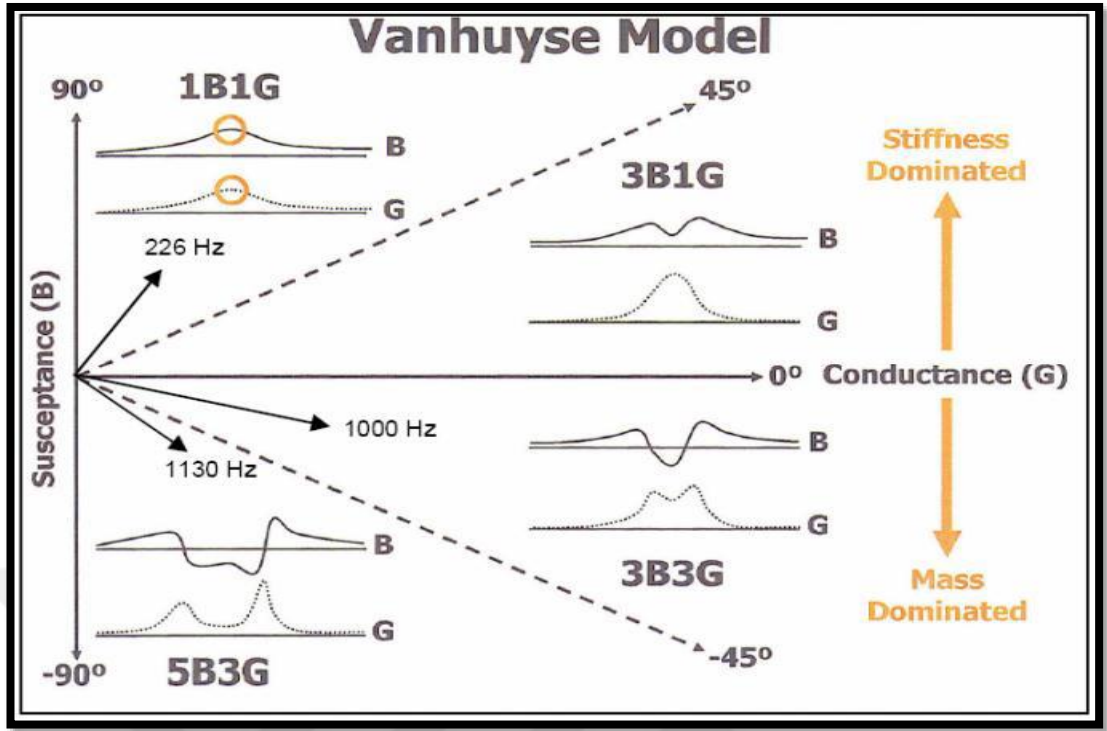
Multifrekansiyel timpanometri'nin çalışma prensibi: İlk olarak 226 Hz'lik prob ton kullanılarak timpanogram ve statik admittans değerleri kaydedilir. Timpanogram kaydı, hava basıncı +200 ile -400 daPa arasında 200 daPa /saniye oranında değiştirilerek yapılır. Sonrasında orta kulağın RF, prob tonu 200 Hz ile 2000 Hz arasında 50 Hz lik basamaklar şeklinde taranarak ve kulak kanalına +200 daPa basınç uygulanılarak ölçüm yapılır. Bu ölçümler esnasında saptanan faz açısı ölçümleri kayıt altına alınır. İkinci bir prob ton ise timpanometrinin tepe değerindeki basınç kulak kanalına uygulanılarak verilir. Her iki ölçüm arasındaki veri farkları frekansiyel fonksiyonlu bir grafikte değerlendirmeye alınır. Düşük frekans prob tonlu timpanogramlarda tek tepe noktası gözlenirken, tam zıttı olarak yüksek frekans prob tonlu timpanogramlarda çok sayıda tepe noktaları görülür.

Akustik immitans (Y), akustik impedansın (Z) tersi olarak tanımlanmaktadır. Akustik immitans aşağıdaki formülüyle açıklanmaktadır (73).

$Y=1/[c+j (2fm-k/2f)]$. Bu formülde c: kondüktansı, m: orta kulak kütlesini, k: kemikçik ve timpanik membran ligamentlerinin sertliğini, 2fm: kütle suseptansını, k/2f: komplians ya da sertlik suseptansını ifade eder. Sesin frekansı arttıkça sistem daha çok kütlelen, frekans azaldıkça sistem daha çok komplianstan etkilenmektedir (74).

$Y=1/c$ olan tek bir frekans vardır ve bu frekansta total suseptans değeri 0'dır. Bu değer RF olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak kondüktanstan bağımsız olarak yüksek RF olan sistemler yüksek sertliği olan sistemlerdir ve düşük RF olan sistemler de yüksek kütleli sistemlerdir. Kütle etkisi altındaki orta kulak rahatsızlıklarına örnek kolesteatoma veya kemikçik zincir ayrılması verilebilir. Sertlik etkisi altındaki orta kulak hastalıklarına da otoskleroz ve timpanoskleroz örnek olarak gösterilebilir (74).

Vanhuyse, Creten ve Van Camp 1975 yılında değişik frekanslarda timpanometri verilerini incelemişler, suseptans (B) ve kondüktans (G) timpanogramlarını değişik frekanslarda sahip oldukları tepe sayılarına göre sınıflandırmışlar ve referans modellerini belirlemişlerdir. 1B1G paterninde faz açısı 45-90 derece arasında yer alır. 226 Hz standart düşük frekans timpanometri 1B1G paterninde bulunur. Orta kulak komplians etkisi altındadır ve admittans orta kulağın katılık etkisi altında olduğu düşük frekanslı uyarılarda oluşmaktadır. 3B1G paterninde faz açısı 0-45 derece aralığındadır. Suseptans eğrisi, üç tepe noktası içerir. Orta kulak hala katılık etkisi altındadır; ancak 0° rezonans durumundaki kulaktaki admittansı gösterir. 3B3G paterninde faz açısı -45 ile 0 derece arasındadır ve hem kondüktans hem de suseptans timpanogramlarında üç tepe noktası bulundurur. Suseptans eğrisinde oluşan çentik daha derinleşir. 5B3G paterninde faz açısı -90 ve -45 dereceler arasındadır ve suseptans eğrisi beş tepe noktası içerir. Orta kulak artık tamamen kütle etkisi altındadır (75, 76) (Şekil 12).



Şekil 12. Vanhuysen Modeli Paternleri (77).

Suseptans eğrisinde çentik oluşumu incelendiğinde (3B'nin oluşması); çentik alt noktasının eğrinin pozitif ucuyla ilişkisi önemlidir. Çentiğin alt noktası pozitif uç seviyesinin üzerindeyse orta kulak katılık etkisinde, alt nokta bu seviyenin altındaysa kütle etkisindedir. Alt nokta pozitif uçla aynı seviyede ise rezonans durumu oluşmuştur. Dolayısıyla böyle bir suseptans eğrisinin elde edildiği frekans RF olacaktır (78).

2.4. Vücut Kitle İndeksi

Vücut Kitle İndeksi (VKİ), Qutelet İndeks: Qutelet tarafından 1835 yılında ilk kez tanımlanan bu indeks boy ve ağırlık ölçümlerinden yararlanılarak hesaplanır. VKİ: Ağırlık (kg) / Boy (m²) formülüyle hesaplanır. Örneğin boyu 165 cm, ağırlığı 55 kg olan kişinin VKİ: $55 / (1.65 \times 1.65) = 20,2$ olur. VKİ'nin 18,5-24,9 kg/m² aralığında olması normal kilo sınırlarında kabul edilmektedir (79).

Dünya Sağlık Örgütüne Göre Yetişkinlerde VKİ Sınıflaması

VKİ (Kg/m²)	DSÖ Sınıflandırması	Genel Tanımı
< 18,5	Düşük kilo	Zayıf
18,5-24,9	Normal	Sağlıklı normal
25,0-29,9	Pre-obez	Fazla kilolu
30,0-39,9	Obez	Şişman
>40	Morbid obez	Aşırı obez

3. BİREYLER VE YÖNTEM

Bu çalışma, Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu tarafınca onaylanmış (Proje no: KA15/313) ve Başkent Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir. Çalışma Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı'nda Odyoloji, Konuşma ve Ses Bozuklukları Ünitesi'nde otoskopik muayenesi normal ve işitme kaybı şikayeti olmayan gönüllü katılımcılarla gerçekleştirilmiştir.

3.1. Bireyler

Çalışma grubu 18-40 yaş aralığında VKİ <18,5 kg/m², 18,5-24,9 kg/m², >25 kg/m² arasında olan 78 (156 kulak) gönüllü bireyden oluşmuştur. Örneklem genişliği çalışma öncesi yapılan istatistiksel ön değerlendirmeyle hesaplanmıştır.

Çalışma grubunu oluşturan 78 kişinin çalışmaya dahil olmasında şu kriterler dikkate alınmıştır;

- Bilinen sağlık sorunu olmaması (kronik hastalıklar, nörolojik hastalıklar, immünolojik hastalıklar),
- Herhangi bir kulak hastalığı olmaması,
- İlaç kullanım öyküsü olmaması,
- Yapılan otoskopik muayenede herhangi bir DKY ya da kulak zarı patolojisinin olmaması,
- Odyometrik değerlendirmede, işitme eşiklerinin saf ses ortalamasına göre ≤ 15 dB işitme seviyesinde olması (ANSI 1988),
- İmpedansmetrik taramada tepe değeri ± 50 daPa A tipi normal timpanogramı olan ve 500-4000 Hz arasındaki akustik reflekslerin normal düzeyde bulunması, katılımcıların çalışmaya dahil edilme şartlarını oluşturur.

Çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayandığı için ilk olarak katılımcılardan, “Gönüllü Denek Bilgilendirme ve Onam Formu” nu doldurmaları ve imzalamaları istenmiştir.

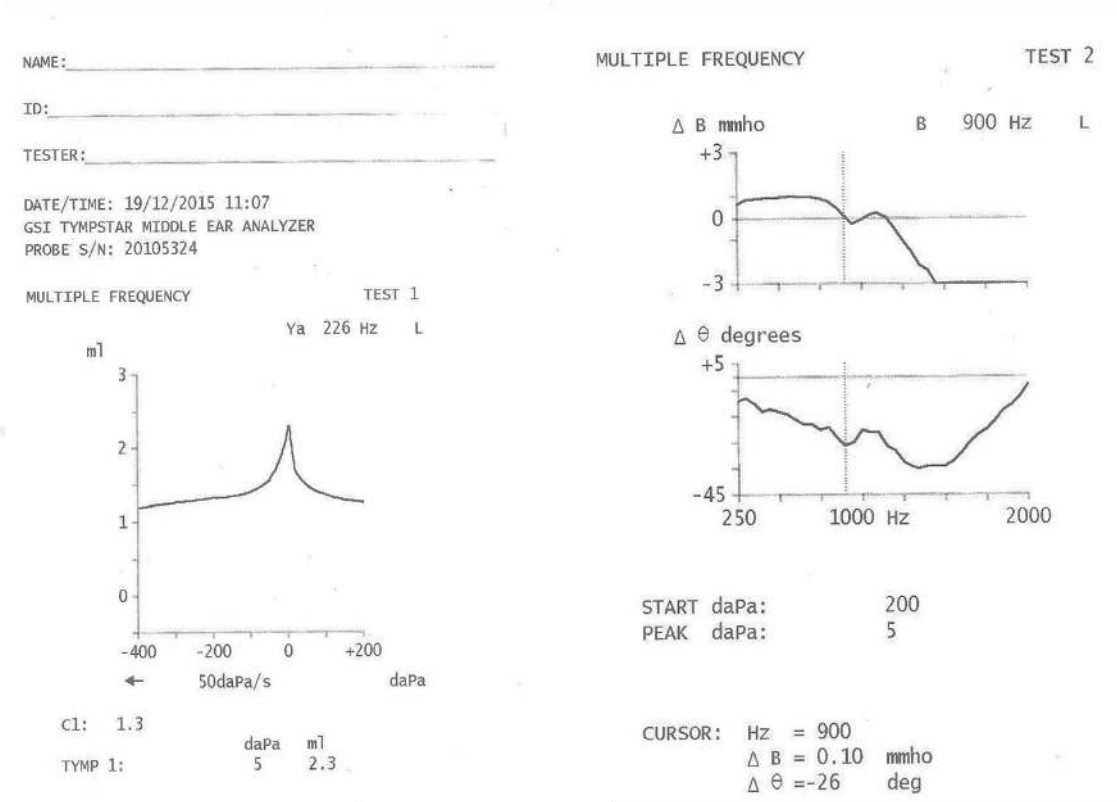
Katılımcılar öncelikle bir KBB uzmanı tarafından otoskopik muayeneden geçmişlerdir. Muayene sonrasında timpanik membranda skar, perforasyon ya da kulağında herhangi bir patoloji tespit edilen kişiler çalışma dışında bırakılmışlardır.

KBB uzmanı tarafından otoskopik muayenesi yapılan bireylere saf ses odyometrisi uygulanarak işitme eşikleri saptanmıştır. Saf ses odyometrisi değerlendirmelerine Industrial Acoustic Company (IAC) standardındaki sessiz odalarda Interacoustics AC-40 klinik odyometreyle bakılmıştır. Kliniğimizde kullanılan üç heceli kelime listeleri ile konuşmayı anlama eşiği testi; tek heceli fonetik dengeli kelime listeleri (FD-300) ile konuşmayı ayırt etme testi uygulanmıştır. Hava yolu işitme eşikleri 125-8000 Hz arasındaki frekanslarda TDH-39 standart kulaklık kullanılarak ölçülmüştür. Kemik yolu işitme eşikleri 250-4000 Hz arasındaki frekanslarda Radioear B-71 kemik vibratörü kullanılarak ölçüm yapılmıştır.

3.2. Kullanılan Test ve Yöntem

Tüm katılımcıların immitansmetrik ölçümlerine Grason Stadler (GSI) Tymptar Version 2 elektroakustik immitansmetre kullanılarak bakılmıştır. İlk olarak 226 Hz’lik prob ton kullanılarak timpanogram ve statik admittans değerleri kayıt altına alınmıştır. Timpanogram kaydı, hava basıncı +200 ile -400 daPa arasında 200 daPa /saniye oranında değiştirilerek yapılmıştır. Sonrasında çoklu frekans timpanometri ölçümüne geçilmiştir. Cihaz, çoklu frekans timpanometri ölçümünü iki aşamada gerçekleştirmektedir. Öncelikle ilk aşamada, sabit frekansta prob ton vererek +200 ile -400 daPa arasında basıncı değiştirerek statik admittans, timpanometrik tepe basıncı ve gradient değeri gibi standart timpanometri verilerini araştırmakta ve timpanograma çizmektedir. İkinci aşamada basıncı sabit düzeyde tutarak çalışmaya katılan her bireyin her iki kulağına 200-2000 Hz frekans aralığında ardışık olarak 50

Hz aralıklarla uyaran verilerek orta kulak RF değerini tespit etmekte ve diğer immitansmetrik değerlerle beraber çıktıları kayıt altına almaktadır.



Şekil 13. Multifrekans timpanometri çıktısı

Çalışmaya dahil olan bireylerin cinsiyet, yaş, boy, kilo, VKİ değerleri multifrekans timpanometrik değerleri yönünden incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Verilerin istatistiksel analizi SPSS for Windows 16.0 paket programıyla yapılmıştır. Analizlerde tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma), iki sürekli değişkenin karşılaştırılmasında, normal dağılıma uyan sürekli değişkenler için Student t testi, korelasyon analizlerinde normal dağılıma uyan sürekli değişkenler için Pearson korelasyonu kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışma RF değerlerini karşılaştırmak amacıyla 18-40 yaş aralığında ve VKİ <18,5 kg/m², 18,5-24,9 kg/m², >25 kg/m² arasında olan 78 (156 kulak) gönüllü bireyden oluşmuştur. Her grupta 13'ü kadın 13'ü erkek olmak üzere toplamda 26 birey yer almıştır. Tablo 1. Katılımcıların cinsiyet, yaş, boy, kilo, boy, VKİ ve her iki kulaktan alınan RF değerlerini göstermektedir.

Tablo 1. Cinsiyet, yaş, kilo, boy ve VKİ'ne göre RF değerleri

	ADI SOYADI	CİNSİYET	YAŞ (yıl)	KİLO (kg)	BOY (cm)	VKİ (kg/m ²)	SAĞ KULAK RF (Hz)	SOL KULAK RF (Hz)
1	M.S.	K	26	54	162	20.6	850	850
2	M.Ç.	K	25	53	170	18.3	1000	900
3	Y.B.	K	26	46	163	17.3	750	800
4	S.K.	K	39	60	165	22	800	900
5	B.E.	K	34	66	168	23.4	850	750
6	D.K.	K	39	61	155	25.4	800	800
7	E.A.	K	33	68	158	27.2	800	650
8	S.C.	E	29	74	171	25.3	800	600
9	G.P.	K	39	61	161	23.5	800	750
10	G.N.	E	26	70	165	25.7	900	700
11	S.D.	K	34	48	157	19.5	800	800
12	G.B.	K	30	67	172	22.6	900	800
13	M.M.	K	22	47	160	18.4	800	900
14	G.U.	K	27	60	165	22	850	850
15	K.S.	E	27	58	163	21.8	800	850
16	S.İ.	E	28	74	177	23.6	1050	1050
17	G.Y.	E	22	65	160	25.4	750	750
18	F.K.	K	39	76	168	26.9	750	850
19	G.B.	E	20	76	190	21.1	750	800
20	E.Ç.	E	18	111	189	31.1	850	800
21	S.Ş.	K	30	53	160	20.7	750	850
22	C.T.Ö.	E	20	61	174	20.1	800	750
23	M.Ç.	E	25	77	178	24.3	750	950
24	N.A.	K	39	57	169	20.0	650	800
25	A.P.	K	27	53	167	19.0	800	700
26	S.K	K	22	98	162	37.3	900	650
27	D.Ö.	K	39	76	170	26.3	850	1000
28	Y.Y.	E	18	83	178	26.2	750	850
29	S.K	E	27	69	172	23.3	750	600
30	D.O.	K	24	80	174	26.4	650	700

Tablo 1 Devamı. Cinsiyet, yaş, kilo, boy ve VKİ'ne göre RF değerleri

	ADI SOYADI	CİNSİYET	YAŞ (yıl)	KİLO (kg)	BOY (cm)	VKİ (kg/m ²)	SAĞ KULAK RF (Hz)	SOL KULAK RF (Hz)
31	M.S.Y.	E	28	83	181	25,3	600	650
32	N.S.	E	30	61	162	23,2	850	950
33	B.Ç.	E	23	59	179	18,4	700	900
34	İ.H.	K	40	88	165	32,3	700	750
35	D.N.	K	20	47	163	17,7	850	800
36	E.K.	K	29	76	165	27,9	850	900
37	O.G.	E	21	65	188	18,4	800	800
38	S.A.	E	32	76	179	23,7	850	800
39	S.B.	K	22	48	173	16,0	900	900
40	S.A.	K	21	51	169	17,9	850	1100
41	B.Ö.	E	21	53	181	16,2	850	900
42	T.A.	E	37	83	188	23,5	750	1000
43	N.B.	K	35	48	163	18,1	750	800
44	C.K.	K	27	50	168	17,7	750	850
45	İ.K.	K	20	49	163	18,4	850	850
46	G.A.	K	23	53	170	18,3	850	850
47	B.Y.	E	25	80	178	25,6	750	650
48	M.S.	K	28	71	161	27,4	900	1000
49	H.Ç.	K	28	52	172	17,6	800	700
50	N.K.	K	27	79	163	29,7	650	600
51	E.K.	K	22	60	158	24,0	700	600
52	F.Ç.	K	34	71	156	29,2	850	750
53	B.D.	E	30	60	181	18,3	900	900
54	N.S.	K	30	48	162	18,3	750	650
55	E.K.	E	32	61	183	18,2	750	750
56	H.S.	E	32	63	185	18,4	850	900
57	İ.D.	K	23	50	171	17,1	700	950
58	İ.G.	E	36	83	170	28,7	750	550
59	E.M.	K	23	90	175	29,4	750	700
60	M.K.	E	30	90	178	28,4	700	800
61	M.Y.	K	35	88	175	28,7	850	700
62	N.T.	E	35	72	167	25,8	1100	950
63	E.S.	E	39	65	188	18,4	750	850
64	K.C.	E	25	66	190	18,3	850	800
65	C.T.	E	29	51	167	18,3	850	750
66	R.Y.	E	31	58	178	18,3	650	650
67	T.S.	E	37	85	171	29,1	650	800
68	K.U.	E	34	82	170	28,4	750	700
69	B.O	K	33	57	171	19,5	650	750
70	T.U.	E	25	71	180	21,9	900	850
71	O.A.	E	38	122	193	32,8	850	750
72	E.T.	E	23	60	181	18,3	800	850
73	D.Y.	K	32	55	164	20,4	800	900
74	M.D.	E	33	59	179	18,4	850	750
75	E.M.	E	37	63	186	18,2	900	850
76	C.C.	E	24	63	168	22,3	900	900
77	M.F.	E	21	60	170	20,8	850	800
78	B.C.	E	27	75	175	24,5	800	900

Örnekleme de yer alan kadınların yaşları 20-40 arasındayken, erkeklerin yaşları 18-39 arasında değişmektedir. Aşağıda yer alan tablolarda elde edilen temel istatistikler sunulmuştur. Tablolarda “sağ kulak RF” sağ kulağa ait RF değerlerini, “sol kulak RF” sol kulağa ait RF değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 2. Tüm örnekleme ilişkin temel istatistikler

Değişkenler	N	Min.	Max.	Ortalama	Std. Sapma
Yaş	78	18	40	28,73	6,11
Kilo	78	46	122	66,69	14,99
Boy	78	155	193	171,36	9,25
Sağ kulak RF	78	600	1100	802,56	88,6
Sol kulak RF	78	550	1100	805,13	112,11

Tablo 2’de verildiği üzere, çalışmaya katılan tüm kişilerin yaş ortalaması $28,73 \pm 6,11$ yıl, kilo ortalaması $66,69 \pm 14,99$ kg, boy ortalaması $171,36 \pm 9,25$ cm olarak bulunmuştur.

Tüm katılımcılardan elde edilen sağ ve sol kulak RF değerleri cinsiyet ayırt edilmeden incelenmiştir. Sağ ve sol kulak RF değerleri ayrı ayrı incelendiğinde sağ kulak için RF değeri ortalaması $802,56 \pm 88,6$ Hz, sol kulak için RF değeri ortalaması $805,13 \pm 112,11$ Hz olarak bulunmuştur. Sağ ve sol kulak RF değerlerinin istatistiksel analizi yapılmıştır ve aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0,874$).

Tablo 3. Cinsiyete göre sağ ve sol kulak RF değerleri analizi

	Cinsiyet	N	Ortalama (Hz)	Std. Sapma	p değeri
Sağ kulak RF	Kadın	39	797,44	80,25	$p=0,612$
	Erkek	39	807,69	97,02	
Sol kulak RF	Kadın	39	805,13	112,27	$p=1,0$
	Erkek	39	805,13	113,43	

Cinsiyete göre sağ ve sol kulak RF değerinin istatistiksel analizi yapılmıştır ve kadınlarda sağ kulak RF değeri $797,44 \pm 80,25$ Hz, sol kulak RF değeri $805,13 \pm 112,27$ Hz olarak; erkeklerde sağ kulak RF değeri $807,69 \pm 97,02$ Hz, sol kulak RF değeri $805,13 \pm 113,43$ Hz bulunmuştur. Tablo 3'te cinsiyete göre yapılan istatistiksel analiz sonucunda kadın ve erkek RF değeri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu nedenle VKİ'ne göre orta kulak RF değerinin araştırılmasında sağ-sol kulağa ve cinsiyete bağımlılık göz önünde bulundurulmamıştır. Sonuçların analizinde VKİ'ne göre  gruba ayrılmış kişilerin gruplar arası analizi cinsiyetten ve sağ-sol kulaktan bağımsız olarak toplam kişi sayısı alınarak yapılmıştır.

Tablo 4. VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi

VKİ	N	Ortalama (Hz)	Std.Sapma	p değeri
$< 18,5 \text{ kg/m}^2$	52	823,08	86,58	0,747
$18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$	52	817,31	94,91	

Tablo 4'te VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$ olan kişiler arasındaki orta kulak RF değerleri analizlenmiştir. VKİ $< 18,5 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin RF ortalaması $823,08 \pm 86,58$ Hz olarak, VKİ $18,5\text{-}24,9 \text{ kg/m}^2$ arasında olan kişilerin RF ortalaması $817,31 \pm 94,91$ Hz olarak bulunmuştur. İki grup RF değeri karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0,747$).

Tablo 5. VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $>25 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi

VKİ	N	Ortalama (Hz)	Std.Sapma	p değeri
$<18,5 \text{ kg/m}^2$	52	823,08	86,58	0,01
$>25 \text{ kg/m}^2$	52	771,15	112,61	

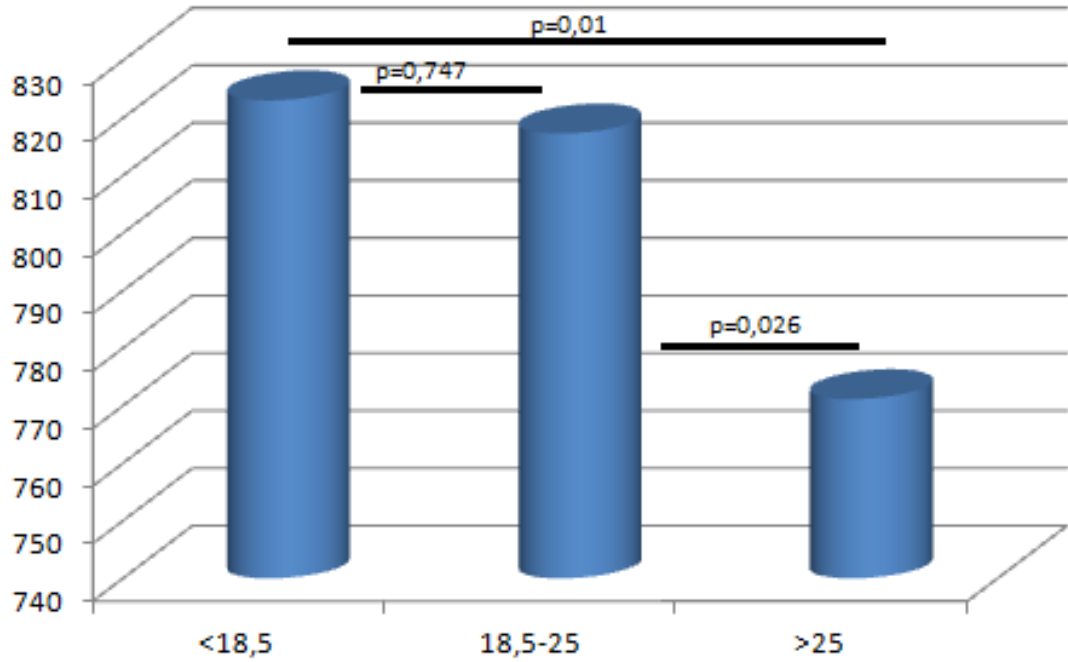
Tablo 5'de VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $>25 \text{ kg/m}^2$ olan kişiler arasındaki orta kulak RF değerleri incelenmiştir. VKİ $< 18,5 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin RF ortalaması $823,08 \pm 86,58$

Hz olarak, VKİ >25 kg/m² olan kişilerin RF ortalaması 771,15±112,61 Hz olarak bulunmuştur. İki grup karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu saptanmıştır (p=0,01).

Tablo 6. VKİ 18,5-24,9 kg/m², >25 kg/m² olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi

VKİ	N	Ortalama (Hz)	Std.Sapma	p değeri
18,5-24,9 kg/m ²	52	817,31	94,91	0,026
>25 kg/m ²	52	771,15	112,61	

Tablo 6’da VKİ 18,5-24,9 kg/m², >25 kg/m² olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi değerlendirilmiştir. VKİ 18,5-24,9 kg/m² arasında olan kişilerin RF ortalaması 817,31±94,91 Hz olarak, VKİ >25 kg/m² olan kişilerin RF ortalaması 771,15±112,61 Hz olarak bulunmuştur. İki grup karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı bir olduğu fark olduğu gözlemlenmiştir (p=0,026).



Grafik 1. VKİ’ne göre üç grup arasındaki p değeri karşılaştırması

Grafik 1’de VKİ’ne göre üç gruba ayrılmış katılımcılar arasındaki p değerleri gösterilmiştir. VKİ değeri $<18,5 \text{ kg/m}^2$ ve $18,5-24,9 \text{ kg/m}^2$ arasında olan katılımcılar arasında RF ortalaması analizinde anlamlı bir fark gözlenmezken ($p=0,747$), VKİ $<18,5$ ve >25 olan katılımcılar arasında ($p=0,01$), VKİ $18,5-24,9 \text{ kg/m}^2$ ve $>25 \text{ kg/m}^2$ olan katılımcılar arasında ($p=0,026$) RF değerleri karşılaştırılmasında anlamlı bir fark bulunmuştur.

Tablo 7. VKİ’ne göre toplam RF değerlerinin korelasyonu

		Toplam RF*	VKI**
Toplam RF	Pearson Correlation	1	-,195*
	Sig. (2-tailed)		,015
	N	156	156
VKI	Pearson Correlation	-,195*	1
	Sig. (2-tailed)	,015	
	N	156	156

*RF: Rezonans Frekans **VKİ: Vücut Kitle İndeksi

VKI ile RF değerleri arasında negatif korelasyon gözlenmiştir ($p=0,015$) (Tablo 8).

5. TARTIŞMA

MFT, farklı patolojilerde değişen orta kulak RF'nın saptanması prensibine dayanır. 200-2000 Hz arasında değişik frekanslardaki timpanogramların analiziyle sonuçlanır. Timpanik membran, kulağa gelen farklı frekanslardaki ses uyaranları içinde en fazla RF'nda hareket eder. RF, timpanik zarın minimum enerjiyle maksimum hareketini sağlayan ve orta kulak tarafından kokleaya en fazla ses enerjisinin iletilebildiği frekans olarak tanımlanabilir. Orta kulağın kütle ve komplians değerleri RF'nı etkileyebileceğinden, bu faktörlerdeki değişim RF'nda değişikliğe yol açar (80, 81). Bizim çalışmamızda da VKİ'nin orta kulak RF değerine etkisi araştırılmıştır. VKİ <18,5 kg/m², 18,5-24,9 kg/m² ve >25 kg/m² olmak üzere üç gruba ayırdığımız katılımcıların orta kulak RF değerleri incelenmiştir. VKİ <18,5 kg/m² olan kişilerin RF ortalaması 823,08±86,58 Hz olarak, VKİ 18,5-24,9 kg/m² arasında olan kişilerin RF ortalaması 817,31±94,91 Hz olarak, VKİ >25 kg/m² olan kişilerin RF ortalaması 771,15±112,61 Hz olarak bulunmuştur. Gruplar arası istatistiksel analiz yapılmıştır ve VKİ ile orta kulak RF değeri arasında negatif bir korelasyon saptanmıştır.

Standart timpanometri uygulamasında kullanılan 226 Hz prob ton veya 678 Hz prob tonlu timpanometrelerle kesin ayırıcı tanısı yapılamayan hastalıklarda MFT yardımcı olabilmektedir. Yüksek frekanslı prob tonlar özellikle orta kulak sisteminin kütsel etkisini arttıran patolojilerde daha büyük bir önem taşımaktadır. MFT otoskleroz gibi orta kulak patolojilerin ayırıcı tanısında önemli tanı değerleri sunabilmektedir (69).

MFT admittans ve admittansın alt unsurlarına dair ayrıntılı bilgi veren bir test bataryasıdır. Admittans kompleks bir niceliktir. Vektörel bir büyüklüktür. Admittans ve unsurlarını belirleyen üç değişken vardır; sertlik, kütle ve sürtünme. Sertlik değişkeni admittansın kendisiyle aynı ismi taşıyan unsur sertlik suseptansını, kütle değişkeni ise admittansın diğer unsuru olan kütle suseptansını belirlemektedir. RF'nda total suseptans 0'dır. RF değerinin altında kalan frekanslarda sistem sertlik kontrollü; üstünde kalan frekanslarda ise kütle kontrollüdür. Sonuçta kondüktansdan bağımsız olarak düşük rezonans frekansı olan sistemler yüksek kütle etkisi altında olan, yüksek rezonans frekansı olan sistemler yüksek sertliği olan sistemlerdir. Kütle

etkisi altındaki orta kulaklara örnek kemikçik zincir ayrılması veya kolesteatoma iken sertlik etkisi altındaki kulaklara da timpanoskleroz ve otoskleroz örnek olarak gösterilebilir (69). MFT'nin özellikle otosklerotik kulağı normal kulaktan ayırmada standart timpanometriye göre daha başarılı olduğu bildirilmiştir. Bunun sebebi otosklerozun önemli bir etkisini olarak orta kulağın sertliğini ve RF değerini artırmasıdır (51, 57).

Son yıllarda RF değerinin birçok faktöre bağlı olarak değişebileceğini gösteren çalışmalar yapılmıştır. Literatürde RF normalizasyon değerlerinin farklılıklar göstermesi orta kulak ve dış kulak yapılarının kalıtsal özelliklere ve yaşa göre farklılık göstermesiyle açıklanmakta, dolayısıyla farklı popülasyonlardan farklı değerlerin elde edilmesi olası olabilmektedir (78, 82). Çinli ve Kafkas kişilerde yapılan bir çalışmaya göre Çinlilerin RF değeri Kafkaslara göre daha yüksek bulunmuştur (83). Dağ'ın hamilelerle yaptığı bir çalışmada hamile kadınların hamile olmayan kadınlara göre RF değerini anlamlı olarak düşük bulmuştur. Hamilelik boyunca ödemin artmasıyla orta kulak doku ve sıvılarında da ödemin artmasıyla ilişkili olarak RF'nın düşebileceğini savunmuştur. Yazar alçak frekans işitme eşiklerinin düşmesiyle birlikte değerlendirildiğinde gebelikte iç kulaktaki olası basıncın artması RF değerini düşebileceğini öne sürmüştür (84). Yine vücut duruş pozisyonuna göre RF değerinin araştırıldığı bir çalışmada aradaki fark anlamlı bulunmasa da ayakta duruş pozisyonunda bakılan RF değeri ile 20 derece eğimle baş aşağı yatarak bakılan RF değeri arasında fark bulunmuştur (85). Bizde çalışmamızı bu değişikliklere bağlı olarak VKİ'nin de orta kulak RF'nı değiştirip değiştirmeyeceğini, değiştirecekse ne yönde değiştireceğini araştırmak için yaptık. Çalışmamız VKİ <18,5 kg/m², 18,5-24,9 kg/m², >25 kg/m² arasında olan 78 (156 kulak) gönüllü bireyden oluşmuştur. Her üç gruptaki kadın ve erkek sayısı eşit olacak şekilde her bir grupta 26 kişi yer almıştır. Tüm katılımcıların orta kulak RF değerleri sağ ve sol kulak için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonrasında tüm katılımcıların cinsiyet ayırt edilmeden sağ ve sol kulak RF değerlerinin ortalaması incelenmiştir ve istatistiksel olarak sağ ve sol kulak arasında anlamlı bir fark çıkmamıştır. Cinsiyete göre sağ ve sol kulak RF değerleri incelenmiştir ve iki grup arasındaki yapılan istatistiksel analize göre kadın ve erkek RF değeri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Cinsiyete ve sağ-sol kulak RF değerine göre anlamlı bir fark

bulunmadığı için sağ-sol kulak ve cinsiyet ayrımı gözetmeksizin VKİ değerinin RF'na etkisi tüm katılımcılar alınarak incelenmiştir. VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5-24,9 \text{ kg/m}^2$ olan kişiler arasında anlamlı bir fark çıkmamıştır. VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $>25 \text{ kg/m}^2$ ve VKİ $18,5-24,9 \text{ kg/m}^2$, $>25 \text{ kg/m}^2$ aralığında olan kişilerin arasında RF değerinin istatistiksel analizinde gruplar arasında anlamlı bir fark çıkmıştır ve VKİ artıkça RF değerinin düştüğü gözlenmiştir.

Literatüre bakıldığında ülkemizde ve uluslararası literatürde araştırmaların büyük kısmının sağlıklı kulaklarda RF normatif değerleri belirleme ve otoskleroz, orta kulak effüzyonu tanısı üzerinde durulduğu görülmektedir. Ülkemizde bu konuda yapılmış çalışmalara örnek olarak, Ögüt'ün "Multifrekansiyel Timpanometri Ölçümlerinin Otosklerotik ve Normal Orta Kulaklardaki Karşılaştırılması" adlı yüksek lisans tezinde, 50 normal işitmeye sahip yetişkinden elde ettiği verilerde sağ kulak RF ortalama değerini $956,4 \text{ Hz}$, sol kulak değerini ise $912,8 \text{ Hz}$ olarak bulmuş, her iki kulaktan elde edilen verilerin ortalamasını ise $142,69$ 'luk bir standart sapma derecesi ile $934,6 \text{ Hz}$ olarak belirlediği çalışma vardır (69).

Sezin'in "Normal İşitmeye Sahip Yetişkinlerde Multifrekans Timpanometri Normalizasyon Sonuçları" adlı çalışmasına katılan, yaşları 21 ile 46 arasında değişen, 60 gönüllü yetişkinin her iki kulağından (120 kulak) alınan RF değerlerinin ortalaması $999,6 \pm 134,9 \text{ Hz}$, sağ kulaklardan elde edilen değerlerin ortalaması $1020,8 \pm 140,6 \text{ Hz}$, sol kulak ortalamaları ise $978,3 \pm 180,5 \text{ Hz}$ olarak belirlenmiştir (86).

Uluslararası literatüre bakıldığında Lutman 1984'te orta kulak admittans komponentleri mekanizmasını teorik olarak açıkladığı çalışmada baktığı 67 normal kulakta ortalama multifrekans değerini 871 Hz olarak bulmuştur (87). Wada 1989'da normal kulaklarda multifrekans değerini ortalama 1000 Hz civarında bulmuştur (88). Yapılan bir çalışmada yaşları 19-45 arasında değişen bireylerin multifrekans değerleri $710-1250 \text{ Hz}$, ortalama 948 Hz olarak ölçülmüştür (89). Bu çalışmada otit teşhisi koyulmuş 50 kişilik olguların multifrekans değerleri $350-700 \text{ Hz}$ arasında ve ortalama 428 Hz olduğu belirlenmiştir. Buna göre iki grup arasında anlamlı fark olduğunu ifade etmişlerdir (89). Valvik ve arkadaşları (1994) geniş bir

hasta grubuyla çalışmışlar ve orta kulak RF normatif değerini 1049 ± 261 Hz olarak, otosklerotik kulaklardan elde edilen ortalama RF değeri 1238 ± 209 Hz, postoperatif stapedektomili kulaklardan elde edilen ortalama RF değeri ise 692 ± 127 Hz olarak saptamışlardır (90). Uluslararası literatür bize bu verileri sunarken, çalışmamızda kullandığımız GSI Tymptstar Version 2 model MFT ölçümü sağlayan elektroakustik immitansmetre cihazının dağıtımçı firması Meders'in internet sitesinde yayınladığı broşürde patolojisi bulunmayan sağlıklı kulaklardan elde edilmesi beklenen RF değerlerinin 800-1200 Hz aralığında olduğu belirtilmektedir (91).

Bazı çalışmalarda MFT değerlerinin yetişkin kişilerde yaşa bağlı değişmediği savunulmuştur. Örneğin Holte ve ark yaptığı çalışmada; 16-79 yaş arasındaki bireyleri 20 yaş aralıklarıyla gruplara ayırmış ve MFT verileri arasında yaşa bağlı anlamlı farklılık bulamamışlardır (92). Uchida ve ark yaptığı bir çalışmada 40'lı, 50'li, 60'lı ve 70'li yaş gruplarının odyolojik ve multifrekans timpanometrik bulguları karşılaştırılmış, odyolojik bulgular açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanırken multifrekans timpanometrik bulgular açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (93).

Literatür incelendiğinde VKİ'nin orta kulak RF'na etkisiyle ilgili herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Yaptığımız çalışmada cinsiyetler arası ve sağ/sol kulak arasındaki RF değeri farkının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur. Bu sebeple VKİ'ne göre RF değerinin nasıl etkilendiğini araştırmak için cinsiyet ve sağ-sol kulak ayrımı yapılmadan tüm katılımcılar değerlendirilmiştir. VKİ değeri arttıkça RF değerinin düştüğü gözlenmiştir. RF değerinin kafa içi basıncı ve vücut su oranıyla ilişkisine bakılmaması çalışmamızın kısıtlılığını oluşturmuştur. VKİ kafa içi basınç ve vücut su oranıyla ilişkili olabilir. Bundan sonraki çalışmalarda VKİ ve orta kulak RF'na hangi mekanizmaların etki ettiğine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Vücut Kitle İndeksinin Orta Kulak Rezonans Frekansına Etkisi adlı çalışmamıza normal otoskopik muayene bulgularına ve normal işitme eşiklerine sahip, 18-40 yaş aralığında ve VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5-24,9 \text{ kg/m}^2$, $>25 \text{ kg/m}^2$ arasında olan 78 (156 kulak) gönüllü birey katılmıştır.

Gönüllü olarak katılan tüm kişilerin yaş ortalaması $28,73 \pm 6,11$ yıl, kilo ortalaması $66,69 \pm 14,99$ kg, boy ortalaması $171,36 \pm 9,25$ cm olarak bulunmuştur. Katılımcıların her iki kulağından RF değerleri alınmıştır. Tüm katılımcıların cinsiyet ayırt edilmeden orta kulak RF değerleri sağ ve sol kulak için ayrı ayrı incelendiğinde sağ kulak RF değeri ortalaması $802,56 \pm 88,6$ Hz, sol kulak RF değeri ortalaması $805,13 \pm 112,11$ Hz olarak bulunmuştur ve sağ-sol kulak arasında RF değeri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark çıkmamıştır.

Cinsiyete göre sağ ve sol kulak RF değerlerinin analizi yapılmıştır. Kadınlarda sağ kulak RF değeri $797,44 \pm 80,25$ Hz, erkeklerde sağ kulak RF değeri $807,69 \pm 97,02$ Hz; kadınlarda sol kulak RF değeri $805,13 \pm 112,27$ Hz, erkeklerde sol kulak RF değeri $805,13 \pm 113,43$ Hz olarak bulunmuştur. İki grup arasındaki yapılan istatistiksel analize göre kadın ve erkek sağ-sol kulak RF değeri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Cinsiyete ve sağ-sol kulağa göre RF değerlerinin analizinde bir fark çıkmadığı için VKİ değerleri kadın ve erkek ayırt etmeksizin incelenmiştir. VKİ değerlerine göre üç gruba ayırdığımız katılımcılar ikişerli gruplar halinde karşılaştırılarak istatistiksel analiz yapılmıştır.

VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$, $18,5-24,9 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin iki grup arasındaki RF değeri analizi yapılmıştır. VKİ $<18,5 \text{ kg/m}^2$ olan kişilerin RF ortalaması $823,08 \pm 86,58$ Hz olarak, VKİ $18,5-24,9 \text{ kg/m}^2$ arasında olan kişilerin RF ortalaması $817,31 \pm 94,91$ Hz olarak bulunmuştur. İki grup RF karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

VKİ <18,5 kg/m², >25 kg/m² olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi yapılmıştır. VKİ < 18,5 kg/m² olan kişilerin RF ortalaması 823,08±86,58 Hz olarak, VKİ >25 kg/m² olan kişilerin RF ortalaması 771,15±112,61 Hz olarak bulunmuştur. İki grup karşılaştırıldığında iki grup arasında anlamlı bir fark olduğu analiz edilmiştir.

VKİ 18,5-24,9 kg/m², >25 kg/m² olan kişilerin iki grup arasındaki RF analizi yapılmıştır. VKİ 18,5-24,9 kg/m² arasında olan kişilerin RF ortalaması 817,31±94,91 Hz olarak, VKİ >25 kg/m² olan kişilerin RF ortalaması 771,15±112,61 Hz olarak bulunmuştur. İki grup karşılaştırıldığında iki grup arasında anlamlı bir olduğu fark olduğu gözlemlenmiştir.

MFT avantajlı bir test olmasına rağmen klinik ortamlarda henüz rutin uygulamaya dahil olamamıştır. Bunun sebebi ülkemizde ve dünyada MFT hakkında yeterli bilginin olmamasıdır. Bizim elde ettiğimiz sonuçların ışığında; öncelikle kliniğimizde ve ülkemizde multifrekansın yaygın olarak kullanılması, farklı hastalık gruplarında multifrekans değerleri üzerine çalışma yapılması, MFT'nin sunduğu diğer parametrelerle ilgili normatif ve patolojileri inceleyen ileri araştırmalar yapılması önerilmektedir.

Sonuç olarak elde ettiğimiz bu verilerle kliniğe gelen bir hastanın RF'na bakılırken VKİ'nin de göz önünde bulundurulması gerektiği düşünülmektedir.

7. KAYNAKÇA

1. Akyıldız NA. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi Vol 1 Bilimsel Tıp Yayınevi; Temporal Kemik ve İşitme Organının Anatomisi, Ankara, 1998 s: 22-57.
2. Anatomy of human ear poster. Erişim: (www.zazzle.co.uk). Erişim Tarihi: 18.09.2015.
3. Akyıldız AN. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi Cilt 1. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi, 1998.
4. Esmer N, Akıner NM, Karasalioglu AR, Saatçi MR. Klinik Odyoloji. 1.Baskı, Ankara: Özışık Matbaacılık, 1995.
5. Cruz OLM. Kafa tabanı, temporal kemik, dış kulak ve orta kulak anatomisi. Cummings CW, Flint PW, Harker LA, et al. (Editors). Koç C. (Çeviri Editörü). Cummings Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi. 4. Cilt, Ankara: Öncü Basımevi 2007: 2801 - 2814.
6. Aslan A, Belgin E. Kulak anatomisi ve işitme fizyolojisi. Koç C, editör. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi. Ankara: Güneş Tıp Kitapevi; 2004. p. 45-71
7. Gulya AJ. Anatomy of the temporal bone. Shambaugh GE Jr, Glasscock ME III, editors Surgery of the ear. Ed 5 Philadelphia: WB Saunders; 2003 35-49
8. Austin DF. Kulak anatomisi. In Ballenger JJ, Snow JB, editors. Hafız G. çev. ed. Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 2000. p. 838-57

9. Duckert LG. Anatomy of the skull base, temporal bone, external ear and middle ear. In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Richardson MA, Schuller DE, editors. Otolaryngology Head & Neck Surgery. 3rd ed. St Louis: Mosby-year Book; 1998. p. 2533 – 46
10. Akyıldız AN: Çocukluk Çağı Kulak Burun Boğaz Hastalıkları-1, Otitis Media, Ankara, Bilimsel Tıp Yayınevi, 2000: 15-24.
11. Tahincioğlu, Z. “Orta Kulak Patolojilerinde Multifrekans Timpanometri Bulguları”, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2003).
12. Austin DF. Anatomy of The Ear. In: Ballenger J. Diseases of the Nose, Throat, Ear, Head and Neck. 14ed. Philadelphia: Lea and Febiger; 1991. p. 922-947
13. Akyıldız AN. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi I. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi, 2002: 77 -99.
14. Pearson AA. Development of anatomy of the ear. In: English GM, editor. Otolaryngology. Philadelphia: Harper and Row Publishers; 1984. 1 -68.
15. Karasalihoğlu A. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi. Ankara: Güneş Tıp Kitabevi 2003.
16. Akyıldız AN. Kulak Hastalıkları ve Mikroirüjisi. Cilt I, Ankara: Ongün Kardeşler Matbaacılık, 1986:118-163
17. Moller, M. Hearing Its Physiology and Pathophysiology, ch.3. Academic Press, California, 74-75, 2000
18. Haaga JR, Lanzieri CF, Gilkeson RC. CT and MR Imaging of the Whole Body, 4th edition. St. Louis Mosby Inc., 2003:495-514

19. Passali D, Bellussi L, De Lauretis A. Relapsing infective-phlogistic pathology of Waldeyer's ring and its relationship with secretory otitis media. Arch Otolaryngol 1996; 523 (Suppl): 138-41
20. Akyıldız N. Kulak Hastalıkları ve Mikroşirürjisi. Cilt I, Ankara: Ongün Kardeşler Matbaacılık, 1986:1-33, 52, 65, 89-104, 118-126, 313-334
21. Cingi E. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Cilt I, Eskişehir: Etam Matbaacılık, 1995 12-19
22. Eustachian tube: Erişim: (<https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/imagepages/19596.htm>). Erişim Tarihi:18.09.2015
23. Drake LR, Vogl W, Mitchell AWM, Auris Media, Tıp Fakültesi Öğrencileri İçin Gray's Anatomy (Yıldırım M, ed). İkinci baskı. Ankara, Güneş Tıp Kitabevi, 861-869, 2007
24. Uygur K, Kılıçkaya M, Tüz M. Kronik Otitis Media Cerrahisinde Fonksiyonel Sonuçlarımız, Türkiye Klinikleri KBB 2001; 1: 148-52
25. Swartz JD, Harnsberger RH. Imaging of the Temporal Bone, 3th edition. New York, Thieme Medical Publishers Inc., 1998:47 -107
26. Tuncer M. Çoklu Frekans Timpanometri Ölçümlerinin Uçucularda ve Uçucu Adaylarında Karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, Ankara, 2014
27. Pabuşçu Y. Bilgisayarlı Tomografi. 23. Ulusal Radyoloji kongresi, Nurol Matbaacılık A.Ş. Ankara, 2002:52-73
28. Som PM, Curtin HD. Head and Neck Imaging, 4th edition. St.Louis, Mosby Inc., 2003:1058-1071

29. Donaldson JA, Duckert L. Anatomy of the Ear. In Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhoff WL (eds): Otolaryngology 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Company 1991; 23-58.
30. Bony and membranous labyrinth. Erişim: (<http://global.britannica.com/science/ear>). Erişim tarihi:19.09.2015
31. Santi PA, Mancini P. Cochlear anatomy and central auditory pathways. In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA et al. (eds): Otolaryngology Head & Neck Surgery. 3 rd ed. St. Louis: St. Louis: Mosby-Year Book 1998; 2803-2826.
32. Arıncı K, Elhan A. Anatomi. cilt 1. Ankara: Günes Kitapevi 1997.
33. Akyıldız N. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi. Ankara: Bilimsel tıp yayınevi, Cilt I, 1998; 22–61, 77– 101.
34. Esmer N, Akıner M.N, Karasalihoğlu A.R, Saatçi M.R. Klinik Odyoloji. Özışık Matbaacılık, 1995; 17–43.
35. Kokleanın şematik yapısı. Erişim: (<http://isitmeфизиология.blogspot.com.tr/p/isitme-organlar.html>). Erişim Tarihi: 19.09.2015
36. Karayel F. Koklear anatomi ve santral işitme yolları. In C.W. C (ed) Cummings Otolaringoloji, Baş ve Boyun Cerrahisi, 4 Edition. Ankara: Güneş Tıp Kitabevi 2007; 3373-3401.
37. Ömür M, Dadaş B. Klinik Baş ve Boyun Anatomisi.1.cilt. İstanbul: Ulusal Tıp Kitapevi 1996.
38. Donaldson JA. The ear: adult anatomy. In Donaldson JA, Duckert LG, Lambert PM, Rubel EW (eds): Surgical Anatomy of the Temporal Bone. New York: Raven Pres 1992; 143-175.

39. Ickleys OJ. Physiology of the ear. In Wright D (ed) Scott-Brown's Otolaryngology. 5th ed. London: Butterworths – Heinemann 1998; 47-80.
40. Lee KJ. Anatomy of the ear. In Lee KJ (ed) Essential Otolaryngology. Connecticut: Appleton&Lange Company 1999.
41. Central auditory pathway. Erişim: (www.studyblue.com). Erişim Tarihi: 19.09.2015
42. Belgin E, şahlı AS. Temel odyoloji. Ankara, Güneş tıp kitapevi, 2015
43. Brenda L, Lonsbury-Martin, Martin GK, Luebke AE. İşitme ve vestibüler sistemlerin fizyolojisi. In Ballenger JJ, Snow JB (eds): Otolaringoloji Bas Boyun cerrahisi. 15. baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri 1996; 879-929.
44. Belgin E. İşitme fizyolojisi. In C K (ed) Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi. Ankara: Güneş kitapevi, 2004; 63-71.
45. Bluestone CD. Physiology of the Middle Ear and Eustachian Tube. In Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhpff WL (eds): Otolaryngology. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Company 1991; 163-197.
46. Brownell WE, Bader CR, Bertrand D, Deribaupierre Y. Evoked Mechanical Responses of Isolated Cochlear Outer Hair-Cells. Science 1985; 227 (4683): 194-196.
47. Abbas PJ, Miller CA. Physiology of the auditory system. In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA et al. (eds): Otolaryngology Head & Neck Surgery. 3 rd ed. St. Louis: Mosby-Year Book 1998; 2831–2874.
48. Guyton AC, Hall JE. Textbook of Medical Physiology 7th ed. Philadelphia: WB Saunders Company 1986

49. Musiek FE, Rintelmann W. Contemporary Perspectives in Hearing Assessment. Needham Heights, Allyn and Bacon. 1999.
50. Özgirgin N, Çelik O. Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi. İstanbul, Turgut yayıncılık, 1/12:217, 2002.
51. Shahnaz N, Polka L. Standard and multifrequency tympanometry in normal and otosclerotic ears. Ear Hear 1997;18: 326–341.
52. Shanks, E. Janet & Diğerleri. (1988). “Tympanometry”, American Speech-Language-Hearing Association, August 1987.
53. Bilgen C. Meniere Hastalığı'nın Tanısında Multifrekans İmmitansmetrenin Değeri. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
54. Katz, J, Robert F, Larry Medwetsky. Handbook of Clinical Audiology. Lippincott Williams & Wilkins. 159-175, 2002.
55. Roeser RJ, Valente M, Hosford-Dunn H. Audiology Diagnosis. Second ed. NewYork, Thieme. Vol. 5, 381-402, 2000.
56. Göde S. Epizodik Vertigonun Ayırıcı Tanısında Vestibüler Uyarılmış Kas Potansiyelleri ve Multifrekans Empedansmetrenin Katkısı. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, KBB Anabilim Dalı, İzmir, 2009.
57. Margolis RH, Goycoolea HG. Multifrequency tympanometry in normal adults. Ear Hear. 14: 408-13, 1993.
58. Stach B. Clinical Audiology: An Introduction, New York: Delmar, s. 313-331, 2010
59. Esmer N., Akıner M.N., Karasalihoğlu A.R.Klinik Odyoloji, Ankara:Özışık Matbaacılık, s. 92-93, 1995

60. Gelfand S.A. Essentials of Audiology. New York, Thieme. 226-236, 2001.
61. Margolis RH, Van Camp KJ, Wilso RH. & Creten WL. Multifrequency tympanometry in normal ears. J. Audiology. 24: 44-53,1985.
62. Akyıldız N. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi cilt 1, bilimsel tıp yayınevi, 1998:3-195
63. Lalwani A.K., Current Diagnosis and treatment: Otolaryngology head and neck surgery.2004
64. Baldwin, M. (2006) Choice of probe tone and classification of trace patterns in tympanometry undertaken in early infancy. International Journal of Audiology, 45, 417-427.
65. Stanley A. Gelfand, PhD. (2001) Essentials of Audiology (second edition), Chapter 7, 219-255. New York, Stuttgart: Thime
66. Nozza RJ., Bluestone CD., Kardatzke D. & Bachman R. (1994). "Identification of Middle Ear Effusion by Aural Acoustic Admittance and Otoscopy", Ear and Hearing, Sayı 15, s. 310-323.
67. Jerger J. Clinical experience with impedance audiometry. Arch Otolaryngol. 92: 311-324, 1970.
68. Liden G, Harford E, Hallen O. Tympanometry for the diagnosis of ossicular disruption. Arch Otolaryngol. 19: 23-29, 1974.
69. Ögüt F. Multifrekansiyel Timpanometri Ölçümlerinin Otoklerotik ve Normal Kulaklarda Karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, İzmir, 2006
70. Jerger J, Sheed J, Harford E. On the detection of extermely small changes in sound intensity. Arch Otolaryngol. 1959;69:200-211

71. Akyıldız, N. İşitme Fonksiyonunun Değerlendirilmesi. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi. Bilimsel Tıp Kitabevi. Ankara 1998 Sayfa 143-197
72. İçmen D. Multifrekans Timpanometri Ölçümlerinin Seröz Otitli ve Sağlıklı Çocuklarda Karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, Ankara, 2014
73. Koç C, Arıkan O. Pediatrik seröz otitler. Klinik Pediatri. 2002; 1: 93 98.
74. Gok U, Bulut Y, Keles E, Yalcın S, Doymaz S. Bacteriological and PCR analysis of clinical material aspirated from otitis media with effusions. Int J Ped ORL 2001; 60: 49-54.
75. Jerger J, Northern J. Clinical Impedance Audiometry. Stuttgart, Thieme. 18-64, 1970.
76. Vanhuysse VJ, Creten WL, Van Camp KJ. On the Wnotching of tympanograms. Scand Audiol. 4: 45-50, 1975.
77. Fowler, CG, and Shanks JE. Tympanometry. Handbook of Clinical Audiology. (Katz J, ed.) 5th ed. London, Lippincott Williams & Wilkins, 175-204, 2002.
78. Shanks J, Shelton C. Basic principles and clinical applications of tympanometry. Clin Audiol. 24: 299-328, 1991.
79. İnci A. Tip 2 Diyabeti Olan Ve Olmayan Obezlerde Adiponektin Düzeyinin İnsülin Direnciyle İlişkisi. Uzmanlık Tezi, Sağlık Bakanlığı İzmir Atatürk Eğitim Ve Araştırma Hastanesi 1.Dahiliye Kliniği, İzmir 2007; ss 19,23,26.
80. Büyüklü F. Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi. 1'nci baskı, 1'nci cilt. Ankara, Anadolu Sanat Dijital Baskı. 2013.
81. Madanoğlu N. Dış ve orta kulağın işitme mekanizmasındaki yeri. Otoskop. 1: 33-38, 2003.

82. Margolis, R., & Shanks, J. E. (1991). "Tympanometry: Principles and Procedures" In W. F. Rintelmann (Ed.), *Hearing Assessment*, Pro-Ed., Texas: Austin, s. 179-246.
83. Shahnaz N, Davies D, Standard and multifrequency tympanometric norms for caucasian and chinese young adults. *Ear & Hearing* 27:75–90, 2006.
84. Kutlu Dağ E. Gebeliğin Orta Kulak Akustik Özelliklerine Etkisi. Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, Ankara, 2014
85. Vidal VF, Bonnard D, Bellec O, Thomeer H, Darrouzet V, Effects of body tilt on multifrequency admittance tympanometry. *Otology & Neurotology* 36:737-740, 2014.
86. Sezin RK. Normal İşitmeye Sahip Yetişkinlerde Multifrekans Timpanometri Normalizasyon Değerleri. Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, Ankara, 2011
87. Lutman ME. (1984). "Phasor admittance measurements of the middle ear: I. Theoretical approach." *Scand Audiol*, Sayı 13, s. 253–264.
88. Wada H, Kobayashi T, Suetake M, Tachizaki H. (1989). "Dynamic Behavior of Middle Ear Based on Sweep Frequency Tympanometry." *International Journal of Audiology*, Sayı 28 (3), s. 127-134.
89. Russolo M., Bianchi M., Miani C. (1991). "La timpanometria multifrequenziale nella diagnosi di otosclerosi fenestrare." *Audiol Ital*, Sayı 8, s. 87–94.
90. Valvik B.R., Johnsen M., Laukli E. (1994). "Multifrequency tympanometry. Preliminary experiences with a commercial available middle-ear analyzer." *Audiology*, Sayı 33, s. 245–253.

91. <http://www.meders.com.tr/tr/gsi-odyolojik-tani-cihazlari/diagnostik-tani-cihazlari/tympstar-middle-ear-analyzer.html>. Erişim tarihi:21.12.2015
92. Holte L:Aging effects in multifrequency tympanometry. Ear Hear. 1996 Feb;17 (1):12-8.
93. Uchida Y:The effects of age on hearing and middle ear function. J Epidemiol. 2000 Apr;10 (1 Suppl):S26-32.

