



**T.C.  
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KULAK BURUN BOĞAZ ANABİLİM DALI  
ODYOLOJİ VE KONUŞMA SES BOZUKLUKLARI BÖLÜMÜ**

**ÇOKLU FREKANS TİMPANOMETRİ ÖLÇÜMLERİNİN  
UÇUCULARDA VE UÇUCU ADAYLARINDA  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Melisa Melek TUNCER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA  
2014**



**T.C.  
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KULAK BURUN BOĞAZ ANABİLİM DALI  
ODYOLOJİ VE KONUŞMA SES BOZUKLUKLARI BÖLÜMÜ**

**ÇOKLU FREKANS TİMPANOMETRİ ÖLÇÜMLERİNİN  
UÇUCULARDA VE UÇUCU ADAYLARINDA  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Melisa Melek TUNCER**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Erdinç AYDIN**

**ANKARA – 2014**

**T.C**  
**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

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

Tez Savunma Tarihi: 30/09/2014

Tez Konusu: “Çoklu Frekans Timpanometri Ölçümlerinin Uçucularda ve Uçucu Adaylarında Karşılaştırılması”

**TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Erdiñç Aydın**

**TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ**

Prof. Dr. Erdiñç Aydın

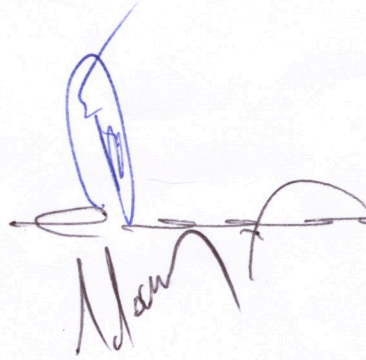
Başkent Üniversitesi

Prof. Dr. Erol Belgin

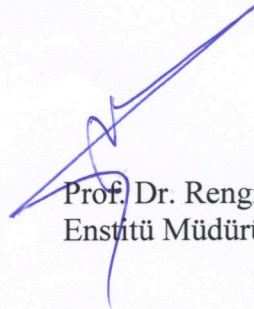
Başkent Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe Sanem Şahlı

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 02 / 10. / 2014 tarih ve 178... Karar Sayısı ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Rengin ERDAL  
Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca mesleki bilgilerini bizle paylaşan, destek veren değerli hocam, Başkent Üniversitesi Odyoloji Ses ve Konuşma Bozuklukları Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Erol Belgin'e,

Yüksek lisans eğitimim boyunca sağladığı bilimsel katkılardan dolayı değerli hocam, Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz anabilim dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Levent N. Özlüoğlu'na,

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam sürecinde tez danışmanlığımı üstlenen, tez konumun belirlenmesi, çalışmamın planlanması, gerçekleştirilmesi ve sonuçlandırılmasında bana yol gösteren değerli tez danışmanım, Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Ana Bilim Dalı Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Erdinç Aydın'a,

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım, Hacettepe Üniversitesi Odyoloji Ses ve Konuşma Bozuklukları Bilim Dalı Öğretim Üyelerinden Sayın Prof. Dr. Aydan Genç ve Doç. Dr. Ayşe Sanem Şanlı'ya,

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilimsel desteğini esirgemeyen değerli hocalarım, Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz anabilim dalı Öğretim Üyelerinden Sayın Doç. Dr. H. Seyra Erberk ve Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı Odyoloji Konuşma ve Ses Bozuklukları bölümü Öğretim Üyelerinden Sayın Doç. Dr. Özgül Akın Şenkal'a,

Klinik çalışmamız boyunca destek veren değerli odyometristler Güldeniz Pekcan, Sinem Kapıcıoğlu, Nesrin Öztürk'e,

Desteklerini gördüğüm bölüm arkadaşlarıma,

Son olarak bu süreçte ve öncesinde eğitimim için her türlü imkanı tanıyan ve her zaman destekçim olan canım babam Ali Tuncer'e, canım annem Claudia Tuncer'e sonsuz teşekkür ederim.

## ÖZET

**Melisa Melek Tuncer, Çoklu Frekans Timpanometri Ölçümlerinin Uçucu ve Uçucu Adaylarında Karşılaştırılması, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Odyoloji Konuşma ve Ses Bozuklukları Yüksek Lisans tezi, 2014.**

Uçuş sırasında yükseliş ve alçalışta dış basınç ile orta kulak basıncı östaki borusu tarafından dengelenir. Östaki borusunun fonksiyon bozukluğunda özellikle inişte bu basınç dengelenemez ve barotravma gerçekleşebilir. Uçucularda en sık görülen kulak rahatsızlıklarından biri de barotravmadır. Bunun sonucunda kulakta ciddi ağrı, işitme kayıpları ve baş dönmesi, genellikle kulak zarı arkasında sıvı toplanması gibi belirtiler ortaya çıkabilir.

Literatürde, klasik timpanometri performansının orta kulak akustik özelliklerini değerlendirmede yeterli olup olmadığı tartışılmaktadır. Geleneksel timpanometriler de sıklıkla 226 Hz prob ton kullanılmaktadır. Çoklu frekans 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 yöntemidir. Çoklu frekans timpanometrenin sunduğu önemli parametrelerden biri de rezonant frekanstır (RF). Belli patolojilerin varlığında RF değeri normal ve sağlıklı kulaklara kıyasla daha alçak ya da yüksek değerler almaktadır. Avantajlı bir test olmasına rağmen çoklu frekans timpanometrinin ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi klinik uygulamada yaygınlaşmamış olması birçok araştırmacı tarafından da belirtilen bir gerçektir. Bu nedenle çalışmanın amacı, uçucuların orta kulak rezonans özelliklerinin, uçmaya bağlı değişim gösterip göstermediğini çoklu frekans timpanometriyle ortaya koymaktır.

Bu amaçla, Başkent Üniversitesi Kulak-Burun-Boğaz Anabilim Dalı ve Odyoloji ve Konuşma Ses Bozuklukları Ünitesi'nde Sivil Havacılık Kanunu gereği yapılan muayenelerden geçen 140 uçucu ve uçucu adayı çalışmaya dahil edilmiştir. KBB uzmanı tarafından otoskopik muayenesi yapılan bireylere saf ses odyometresi uygulanarak işitme eşikleri tespit edilip, immitansmetrik ölçümleri yapılmıştır. Tüm katılımcıların, her iki kulaklarından (140 kulak) alınan RF değerleri değerlendirmeye

alınmıştır. Yapılan ölçümlerde sol kulak için uçucu adaylarının RF ortalaması 862,50 Hz, 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların RF ortalaması 605,88 Hz ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların RF ortalaması ise 547,78 Hz olarak bulunmuştur. Sağ kulak ortalamaları ise uçucu adayları için 882,95 Hz, 200-3000 saat uçuş yapan uçucular için 609,22 Hz ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçucular için 606,67 Hz olarak bulunmuştur. Bu verilerle uçuşa bağlı orta kulakta gerçekleşen değişimleri daha açık şekilde ortaya koymak ve ileride yapılacak daha kapsamlı çalışmalara da bir alt yapı sağlaması umut edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çoklu frekans timpanometri, barotravma, aerotitis media, timpanometri, östaki borusu.

## ABSTRACT

**Melisa Melek Tuncer, Comparison of Multifrequency Tympanometry Measurements in Pilots and Student Pilots, Başkent University Institute of Health Sciences M. Sc. Thesis in Audiology and Speech – Voice Disorders, 2014**

During the ascent and descent of the airplane, middle ear pressure and the external pressure is balanced by the eustachian tube. When the eustachian tube functions blocked during the descent, the middle ear pressure can not be stabilized and barotrauma can occur. One of the most common ear disease in aviators is barotrauma. As a result of barotrauma, ear pain, dizziness, hearing loss, serouse otitis media symptoms can occur.

In the literature, the performance of conventional tympanometry on the characteristics of middle ear is still discussing. On the conventional tympanometry 226Hz prop tone is used often. Multifrequency tympanometry is an advantageous test method which can assess the resistance and permeability of the middle ear in a wide frequency interval by providing the analysis of the tympanograms which are obtained with different probe tones between 226 Hz and 2000 Hz. One of the important parameters of Multifrequency tympanometry is the resonant frequency. Under the presence of some specific pathologies; resonant frequency value is normal and gets lower or higher values when compared to the healthy ears. Although it is an advantageous test, it is a fact known by several investigators that Multifrequency tympanometry has not become widespread in clinical applications in our country as the world. Because of this the purpose of our study is showing the changes of multifrequency tympanometry depending on flight.

For this reason, 140 pilot and student pilot measured who are between the ages 20-55 have a normal autoscopic examination at the Otorhinolaryngology Department and Audiology and Speech Disorders Unit of Baskent University. RF values taken from both ears of all the participants. The average of the student pilots RF right ears was found 882,95Hz, and their left average was found 862,50 Hz. The average of the who flight 200-3000 hour pilots RF right ears was found 609,22Hz, and their left average was found 605,88 Hz. The average of the who flight 3000-10000 hour pilots RF right ears was found 606,67Hz, and their left average was found 547,78 Hz. With this data,

the change in the middle ear due to flights can reveal clearly. Also we hope that the resonance frequency value which is one of the important parameters of Multifrequency tympanometry will be an infrastructure for the studies which will investigate the effects of this value on the diagnosis of the pathologies.

**Key Words:** Multifrequency tympanometry, barotrauma, aerotitis media, tympanometry, eustachi tube.



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xi
ŞEKİLLER.....	xii
TABLolar .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. Kulak Anatomisi .....	4
2.1.1. Dış kulak.....	4
2.1.2. Orta Kulak .....	5
2.1.3. İç kulak .....	9
2.2. Kulak Fizyolojisi.....	11
2.2.1. Ses dalgası ve özellikleri .....	11
2.2.2. İşitme .....	12
2.3. Östaki Borusu Fizyolojisi.....	15
2.3.1. Orta Kulak Basıncının Dış Ortam Basıncıyla Dengelenmesi .....	16
2.3.2. Östaki Borusunun Açılma ve Kapanma Mekanizması.....	17
2.4. Orta Kulak Basınç Değişiklikleri .....	18
2.4.1. Orta Kulak Havalanması ve Östaki Borusu .....	20
2.4.2. Kulak Zarının Orta Kulak Basıncındaki Rolü .....	21
2.4.3. Orta Kulak ile Kan Dolaşımı Arasındaki Gaz Değişimi .....	21
2.4.4. Orta Kulak Basıncının Nöronal Kontrolü .....	22
2.4.5. Uçuşa Bağlı Ortaya Çıkan Orta Kulak Barotravması .....	23
2.4.6. Gecikmiş Orta Kulak Barotravması .....	25
2.4.7. Aerotitis Media.....	26
2.5. Akustik İmmitans .....	26

2.5.1. Timpanometri .....	29
2.5.2. Timpanometrik Ölçümler ve Timpanogram Çeşitleri .....	29
2.5.4. Çoklu Frekans Timpanometrinin Çalışma Prensibi .....	34
3. BİREYLER VE YÖNTEM.....	36
4. BULGULAR.....	39
5. TARTIŞMA .....	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
7. KAYNAKLAR .....	68

## SİMGELER VE KISALTMALAR

ANSI	: American National Standards Institute
daPa	: Decapascal
dB	: Decibel
Hz	: Hertz
DKY	: Dış kulak yolu
DSH	: Dış saçlı hücre
İSH	: İç saçlı hücre
TM	: Timpanik membran
Mmho	: Acoustic Millimhos
ÇFT	: Çoklu frekans timpanometri
RF	: Rezonant Frekans
F45	: 45 derecelik admitans faz açısına denk gelen frekans
Ya	: Admitans
Z	: Empedans
Ba	: Akustik suseptans
Ga	: Akustik kondüktans
SA	: Statik admitans

## ŞEKİLLER

	<b><u>Sayfa No:</u></b>
<b>Şekil 1.</b> Orta Kulak kemikçikleri.....	8
<b>Şekil 2.</b> Orta Kulak.....	11
<b>Şekil 3.</b> Kitle ve sertliğe göre susseptans ve konduktans eğrileri .....	28
<b>Şekil 4.</b> Timpanogram çeşitleri .....	31
<b>Şekil 5.</b> GSI (Grason-Stadler Inc.) Tymptar Middle Ear Analyzer Version 2.....	32
<b>Şekil 6.</b> Grupların sol kulak timpanogram dağılımı .....	40
<b>Şekil 7.</b> Grupların sağ kulak timpanogram dağılımları .....	41

## TABLULAR

	<u>Sayfa No:</u>
<b>Tablo 1.</b> Grupların yaş dağılımı.....	39
<b>Tablo 2.</b> Gruplar arası vücut kitle indeks değerleri .....	40
<b>Tablo 3.</b> Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları .....	42
<b>Tablo 4.</b> Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları .....	42
<b>Tablo 5.</b> 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları .....	43
<b>Tablo 6.</b> Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların akustik refleks bulguları.....	43
<b>Tablo 7.</b> Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapmış uçucuların akustik refleks bulguları.....	44
<b>Tablo 8.</b> 200-3000 ile 3000-10000 saat uçuş yapmış uçucuların akustik refleks bulguları.....	44
<b>Tablo 9.</b> Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapmış uçucuların sol kulak tüm frekanslardaki odyolojik bulguları .....	45
<b>Tablo 10.</b> Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak tüm frekanslardaki odyolojik bulguları .....	46
<b>Tablo 11.</b> Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları .....	47
<b>Tablo 12.</b> Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları .....	48
<b>Tablo 13.</b> 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları.....	49
<b>Tablo 14.</b> 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları .....	50
<b>Tablo 15.</b> Grupların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri.....	51
<b>Tablo 16.</b> Grupların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri.....	51
<b>Tablo 17.</b> Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri.....	52
<b>Tablo 18.</b> Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri.....	52

<b>Tablo 19.</b> Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri.....	53
<b>Tablo 20.</b> Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri.....	53
<b>Tablo 21.</b> 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri .....	54
<b>Tablo 22.</b> 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri.....	54

# 1. GİRİŞ

Atmosferin katmanlarındaki hava miktarı bütün kademelerinde farklılık gösterir. Yerdeki toplam hava molekülü sayısı ile 10 bin metredeki miktar aynı değildir. Dolayısıyla yeryüzünde maruz kaldığımız hava basıncı yüksekliklerden farklı olacaktır.

Uçuş esnasında sık sık orta kulak havasının hacminde değişiklikler meydana gelir. Yükseliş sırasında orta kulaklarda bir problem olmamasına rağmen, en büyük problem alçalış sırasında gerçekleşir.

Uçaklarda kabin basınçları sabitlenmiştir ancak, uçuş yüksekliğinde kabin havası basıncı deniz seviyesindeki basınca göre daha düşüktür. 11000 metrelik (37000 feet) tipik bir uçuş yüksekliğinde; kabindeki hava basıncı, deniz seviyesinden 1500-2500 metre (5000-8000 feet) yükseklikte olan hava basıncına denktir. Sonuç olarak, mevcut oksijen düşer ve vücuttaki gazlar genleşir.

Orta kulağın hava hacmi kişiden kişiye değişmekle birlikte ortalama 5-10ml kadardır. Uçuş sırasında yükselişte atmosfer basıncı düşeceği için orta kulaktaki hava miktarı artar ve kulak zarı buna bağlı dışarı doğru hareket eder. Östaki borusunun fizyolojik yapısı nedeniyle genleşen havanın fazla miktarı pasif olarak dışarı çıkar ve orta kulak basıncı ile atmosfer basıncı eşitlenir. Kişi bu durumdan fazla bir rahatsızlık duymaz. Ancak inişe geçildiği zaman atmosfer basıncı yükseldiğinden orta kulaktaki hava miktarı azalır. Östaki borusundan pasif olarak hava geçemeyeceği için yutkunma, esneme ve valsalva manevrası ile faringeal kaslar kasılarak normal şartlarda kapalı duran östaki borusu açılır ve orta kulağa hava geçişi sağlanarak orta kulak ile atmosfer basıncı birbirine eşitlenebilir. Sağlıklı kişilerde bu sonuç beklenirken östaki disfonksiyonu mevcutsa orta kulakta oluşan negatif basınca bağlı kulak zarının içeri doğru hareket etmesi ile barotravma gelişir. Buna bağlı olarak da kulak ağrısı, kulakta dolgunluk hissi, çınlama, işitme azlığı ortaya çıkabilir. Eğer bu travmanın süresi ve şiddeti artarsa kulak zarında yerleşen damarlardaki kanamaya bağlı olarak hematimpanum, kulak zarı perforasyonu, kemikçik zinciri dislokasyonu ve buna bağlı ileri derecede işitme kaybı, orta kulak mukozasındaki ödemlenmeye ve transuda

şeklinde sıvı birikimine bağlı ‘aerotitis media’ gibi ciddi komplikasyonlar da ortaya çıkabilir. Bu komplikasyonları saptamak için hikaye, fizik muayene ve bazı odyolojik testler kullanılabilir. Ancak birçok kişide fizik muayene normal saptanabilmekte ve orta kulakta meydana gelen değişiklikler fizik muayeneye yansımayaabilmektedir. Bu durumda odyometri, timpanometri ve çoklu frekans timpanometri gibi odyolojik tetkikler bu değişiklikleri yansıtmada yardımcı olabilmektedir.

Timpanometri, orta kulak fonksiyonunun hızlı, non-invaziv (cilt ya da mukozayı geçmeden tamamlanan tıbbi girişim) ve ekonomik biçimde değerlendirilebilmesini sağlayan bir testtir. Bu test kulağa verilen sese ve beraberinde dış kulak yolu basıncında yapılan değişikliklere karşı orta kulaktan alınan yanıtı bir mikrofon ile ölçerek orta kulak sisteminin direnç ve geçirgenliğinin değerlendirilmesini sağlar. İlk olarak Terkildsen ve Thomsen (1959) tarafından dünyaya tanıtılmıştır (1,2).

Tek frekans prob ton kullanan standart timpanometrilerin yetersizliği nedeniyle araştırmacılar orta kulak değerlendirmesinde kullanılacak yeni bir metot arayışına girmişlerdir (3). Çoklu frekans timpanometrinin gelişimi orta kulak direnç ve geçirgenliğinin geniş bir frekans yelpazesinde değerlendirilebilmesine olanak sağlamıştır. Çoklu frekans timpanometriyi hastalar üzerinde çalışan ilk kişi Colletti (1976)’dir ve farklı prob ton frekanslarında timpanogram değerlerinin çeşitli orta kulak rahatsızlıklarını sistematik olarak değişkenlik göstererek ortaya koyduğunu gözlemlemiştir (4). Bu sayede standart alçak frekans timpanometriye oranla çoklu frekans timpanometrinin farklı frekanslarla ortaya çıkabilecek orta kulak patolojilerinin değerlendirilmesinde daha kullanışlı olduğu kabul edilmiştir (5).

Çoklu frekans timpanometri 226 Hz-2000 Hz arasında değişik prob tonlar ile elde edilen timpanogramların analizini sağlayan daha kapsamlı bir test yöntemidir. Katılık etkisinin belirgin olduğu otoskleroz gibi hastalıklarda rezonans frekansı yüksek frekanslara, kütle etkisinin belirgin olduğu otitis media, ossiküler zincir kopuklukları gibi hastalıklarda düşük frekanslara kaymaktadır (6).

Bu çalışmanın amacı uçucuların orta kulak rezonans özelliklerinin, uçmaya bağlı değişim gösterip göstermediğini çoklu frekans timpanometriyle ortaya koymaktır. Literatürde benzer çalışma bulunmadığından ileride yapılacak çalışmalara yol açmış



olmak ve çoklu frekans timpanometrinin yaygınlaşmasına katkıda bulunmak hedeflenmektedir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kulak Anatomisi

Kulak işitme ve denge fonksiyonlarının periferik organı olup, temporal kemik içine yerleşmiştir. Görevleri ve yapı bakımından birbirinden farklı üç parçadan oluşur (7).

#### 2.1.1. Dış kulak

Dış kulak üç kısma ayrılarak incelenir; Kulak kepçesi, dış kulak yolu, kulak zarı (timpanik membran-TM). Kulak kepçesi, perikondrium ve deri ile örtülmüş ince elastik kartilajdan oluşan bir yapıdır. Kulak kepçesi; deri, dış kulak yolu kıkırdağı, kas ve bağlar aracılığı ile kafatasına yapışmıştır. Kulak kepçesinin beslenmesi a. temporalis superficialis ve a. auricularis posterior tarafından sağlanır. Venler ise arterlere eşlik ederek, v. jugularise dökülürler. Lenfatik akımı preauriküler, retroauriküler ve infraauriküler lenf düğümlerine dökülür. Kulak kepçesinin ön yüzünün duyarlılığını, V. kranial sinirin n. auriculatemporalis dalı sağlar. Diğer bölgeleri VII. Kranial sinir ve 2.-3. servikal sinirler inerve eder (7,8).

Dış kulak yolu (DKY) kavum konkadan timpanik zara kadar olan bölümdür. Yaklaşık 2,5 cm uzunlukta olup, dış 1/3 bölümü kıkırdak, geri kalan 2/3 iç bölümü ise kemikten yapılmıştır (9). DKY'nun beslenmesi eksternal karotid arterin a. auricularis posterior dalı ve a. Temporalis superficialis dalı tarafından sağlanır. Venöz drenajı; v. maxillaris ve v. jugularis externa aracılığı ile plexus pterygoideus'a olur. Lenfatikleri anterior, posterior ve inferior auriküler lenf nodlarıdır. İnnervasyonunu V. kranial sinir sağlar. Ayrıca VII., IX., X. kranial sinirler ve üçüncü servikal sinir de dal vermektedir. X. kranial sinirden gelen dal Arnold siniri adını alır ve bu sinir DKY'nun temizlenmesi sırasında öksürük refleksine neden olabilir (8,10,11).

Kulak zarı, dış kulak yolunu orta kulaktan ayıran oblik yerleşimli elips şeklinde bir perdedir. Vertikal çapı 9-10 mm, horizontal çapı 8-9 mm, kalınlığı ise yaklaşık olarak 0,1 mm dir. Kulak zarının timpanik kemikte yerleştiği yer olan sulkus timpanikusa "timpanik halka" denir. Kulak zarı anulus fibrosus ile timpanik halkaya, santral bir yapışıklıkla da malleusun kısa koluna ve manibrium malleiye bağlıdır. Manibrium mallei'nin ucu içe doğru çökük olduğundan kulak zarı konkav bir biçime sahiptir. Kulak zarının en derin noktası manibrium malleinin ucuna rastlar, buna umbo denir (12,13).

Kulak zarı, pars tensa ve pars flaksidadan oluşur. Pars tensa kulak zarının büyük kısmını oluşturan ve ses dalgaları ile titreşen timpanik kemik içindeki parçasıdır. Pars flaksida (Sharpnell zarı) ise timpanik kemiğin iki uzantısı arasındaki açıklık olan rivinius çentiğini doldurur. Bu iki parça arasında gerginlik ve histolojik farklar mevcuttur. Kulak zarı dışta skuamöz epitel, içte mukoza ve ikisi arasında yerleşmiş olan fibröz tabaka olmak üzere üç tabakadan oluşmuştur. Pars tensada bulunan fibröz doku, pars flaksidada yoktur (14). Kulak zarı a. maxillaris interna'nın dalı olan a. auricularis profundus dalı ile beslenir. Membranın dış kısmı V. IX. ve X. kranial sinirler tarafından, iç kısmı ise VII. ve IX. Kranial sinirler tarafından innerve olur.

### **2.1.2. Orta Kulak**

Orta kulak (cavum timpani) timpanik membran ile kemik labirent arasında, yüzeyi mukoza ile örtülü boşluktur. Bu boşluğun ön-arka çapı yaklaşık 15 mm'dir. Mediolateral çapı ise üstte 6 mm, umbo hizasında 2 mm kadardır. Ortalama hacmi 0,5 cm<sup>3</sup> kadardır. Orta kulak boşluğu, östaki borusu aracılığı ile nazofarenks ile, aditus aracılığı ile mastoidin havalı boşluklarıyla, oval ve yuvarlak pencereler aracılığı ile iç kulakla bağlantılıdır. Orta kulak boşluğunda dış kulaktan iç kulağa ses dalgalarının iletimini sağlayan malleus, inkus ve stapes denilen üç adet kemikçik vardır. Bu kemikçikler orta kulak boşluğunda kulak zarı ile iç kulağın fonksiyonel girişi olan oval pencere arasında bir köprü oluşturur. Kemikçikleri orta kulak duvarlarına bağlayan iki kas (m. tensor timpani, m. stapedius) ve dört ligament bulunur (13,14).

**Alt Duvar:** Bu duvar enliğine daralmıştır. Bu darlık arkada daha belirgindir. İnce bir kemik duvarla bulbus vena jugularisten ayrılır. Alt duvarın ön kısmı biraz daha geniştir ve a.carotis interna ile komşuluk eder. Hipotimpaniumda Jacobson sinirinin orta kulağa girdiği canaliculi timpanici adı verilen bir delik bulunur.

**Ön Duvar:** Carotisin yaptığı çıkıntı nedeniyle daralmıştır. Üstte tensor timpani kasının çıkıntısı bunun altında ise tubanın timpanik orifisi bulunur.

**Üst Duvar:** Buraya tegmen timpani adı verilir. Orta kulak boşluğunu orta kafa çukurundan ayırır. Yer yer dehissanslar gösterebilir.

**İç Duvar:** Bu duvar iç kulakla komşudur. Promontorium, kokleanın bazal helezonunun çıkıntısına uyar. Promontoriumun arka ve alt kısmında fossula fenestra cochlea denilen bir çıkıntı bulunur. Çukurluğun tabanında, orta kulak boşluğunu iç kulaktan ayıran ikinci bir kulak zarı (yuvarlak pencere) bulunur. Promontorium arka ve üst kısmında üç önemli nokta bulunur. Fenestra vestibüli veya oval pencere scala vestibüliye açılır. Stapesin tabanı bu pencereye yerleşir. Oval pencerenin arkasında pencereyi bir kas gibi arka ve üstten örten fasial çıkıntı içinde fasial sinirin ikinci yatay parçası bulunur. Bunun da arka ve üstünde ise lateral semisirküler kanal yerleşmiştir.

Promontoryumun üstünde, arkada, tensor timpani kasının yaptığı processus kokleiformis adlı kemik çıkıntı bulunur. Bu çıkıntı fasial sinirin birinci ve ikinci parçalarının birleşme noktasıdır.

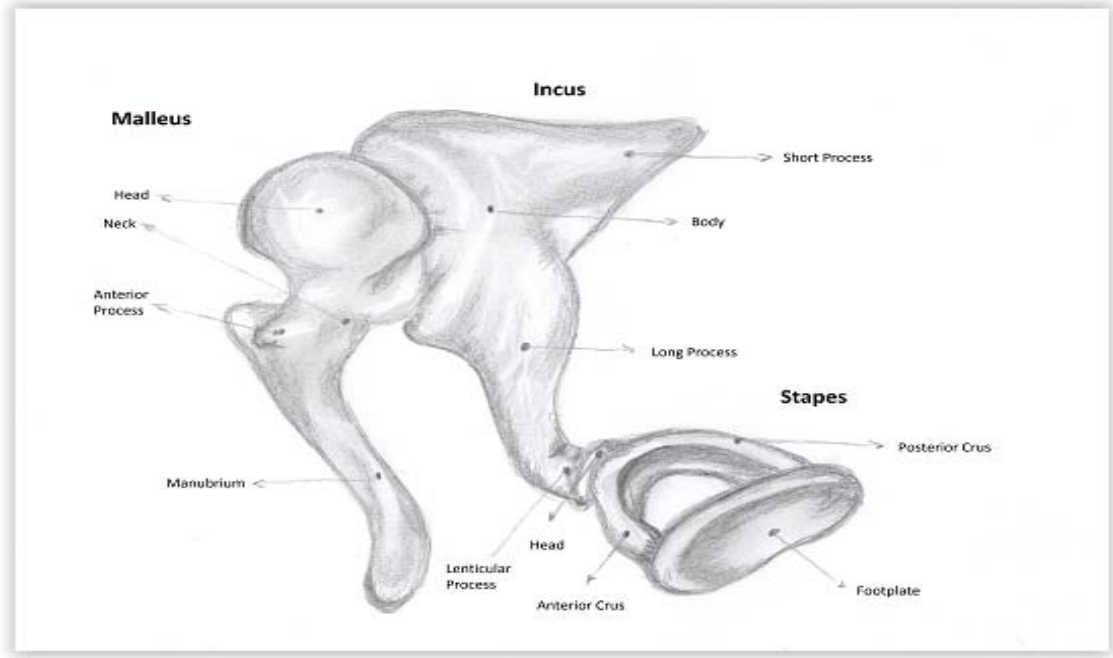
**Arka Duvar:** Bölgenin en önemli anatomik noktası, stapes tendonunun yaptığı eminentia pyramidalis adlı çıkıntıdır. Bu çıkıntıdan kulak zarına paralel giden dik bir düzlemle orta kulağı ikiye ayırdığımızda; içteki bölümde oval pencere, yuvarlak pencere ve sinüs timpani adında üç önemli oluşum vardır. Eminentia'nın dışında fasial reses adı verilen bir çukurluk vardır, bu çukurun dış tarafında dış kulak yolu ve corda timpani, arka ve üstünü ise fossa incudus sınırlar.

**Orta Kulak Kemikçikleri:** Orta kulak boşluğunda; kulak zarı ile iç kulak arasında üç tane hareketli kemikçik vardır. Bunlar dıştan içe doğru malleus, incus ve stapestir.

Malleus: Orta kulak kemikçiklerinin en büyük olanıdır. Lateralde yer alır. Yaklaşık olarak 8-9 mm uzunluğundadır. Capitulum ve manubriumdan oluşur. Manubrium ile capitulum mallei arasında 130 derecelik bir açı vardır. Malleusun ön ve dış kısımlarında iki küçük çıkıntı bulunur. Bunlardan dışta olanı manubriumun üst kısmında görüleni processus brevis/lateralistir. Önde bulunan çıkıntı farkedilmez. Bu çıkıntıya processus anterior adı verilir. Buraya plica malleolaris anterior yapışır. Manubrium kulak zarı iç tarafına yerleşmiştir ve ona sıkıca bağlıdır. Kulak zarı ile birlikte titreşir. Caput mallei yuvarlaktır, epitimpanumda bulunur ve arka-iç yüzü ile inkus eklem yapar. Malleusun boynunun hizasında arkadan korda timpani geçer. Tensor timpani kası tendonu malleusun boynuna ve manubriuma yapışır. Bu kas manubriumu mediale çekerek timpanik membranı içe doğru çeker (15,16).

İncus: Bir cismi (corpus incudis) ve iki uzantısı (Crus brevis ve crus longum) vardır. İnkusun gövdesi, capitulum mallei ile eklem yapar ve onun yuvarlaklığına uyan bir çukurluk gösterir. Crus brevis 5 mm uzunluğunda manubrium malleinin arka ve iç tarafında ve manubriuma paraleldir. Crus brevisin ucunda kıkırdak bir kısım bulunur. Crus longum ise 7 mm uzunluğundadır. Her iki bacak arasında aşağı yukarı 100 derecelik bir açı bulunur. Crus longum, manubriumun arka ve iç tarafında hemen hemen ona paralel bir seyir izler. Ucunda processus lenticularis denilen ve stapes başı ile eklem yapan bir kısım vardır (15).

Stapes: Ortalama 3,5 mm uzunluğundadır. Bir baş (Caput stapedis), bir boyun (Collum stapedis), iki bacak (Crus anterior, crus posterior) ve bir tabandan (Basis stapedis) oluşur. Taban oval pencereye oturur ve ligamentum annulare denilen bir bağ ile oval pencere kenarlarına sıkıca yapışır. Tabanın orta kulak yüzü düzdür. Bazen konveks olabilir. Vestibüler yüzü ise genellikle konkavdır. Ön bacağı daha kavislidir. Arka bacak ise daha düzdür. Bacakların içe bakan kısımları olukludur. Bacaklar arasındaki açıklık foramen obturatorum adını alır ve membran ile örtülüdür (membrana obturatoria). Bacaklar üstte birbirleri ile birleşir ve arkusu tamamlarlar. Baş ve arkus arasında kollum bulunur. Arka bacağın üst kısmında pürtüklü bir yüzey farkedilir. Buraya stapes kasının tendonu yapışır. Baş kısmı stapesin en çok biçim değişikliği gösteren parçasıdır. Bu fetal hayattaki kemik rezorpsiyonunun derecesi ile ilgilidir. Baş processus lenticularis ile eklem yapar. Eklem hemen hemen horizontal düzlemededir. Stapesin başı bacaklarla büyük bir açı yapmadan birleşir (15) (Şekil 1).



**Şekil 1.** Orta Kulak kemikçikleri

**Timpanik Kaslar:** Tensor timpani kası: Orta kulak ön duvarında semikanalis muskuli tensor timpaninin duvarından başlar ve kanalın ağzındaki küçük kemik çıkıntısının çevresini dolandıktan sonra arkaya ve dışa doğru bükülür ve malleusun boynuna yapışır. Buradan sonra, içe doğru bir seyir izleyerek kohleariform prosese ulaşır. Bu çıkıntıdan sonra kendi doğrultusuna dik bir yol izleyerek kendi için ayrılmış östaki borusunun üstündeki yarım kanala girer ve sfenoidin büyük kanadına yapışır. Ortalama 22 mm uzunluğundadır. Görevi, kasıldığı zaman manubriumu içe ve arkaya çekerek kulak zarını tespit etmektir. Bu kas sinirini n. mandibularisin dalı olan n. pterygoideustan alır.

Stapedius kası: Eminentia pyramidarum içinde bulunur. Tendonu bu çıkıntının ucundaki bir delikten çıkar ve stapesin boynuna ya da başına yapışır. Ortalama 6 mm uzunluğundadır. Kasıldığı zaman stapesin arka bacağına arkaya doğru çekerek, tabanı ön kısımda yukarı doğru kaldırır. Bu şekilde yüksek şiddetteki seslerin iç kulağa geçişini engeller. Sinirini n. fasialisten alır (17,18,19).

**Östaki Borusu:** Erişkinlerde östaki borusunun uzunluğu ırklara göre değişkenlik göstermekle birlikte 31-38 mm arasında değişir. Genelde kabul edilen, erişkin östaki borusunun posterior 1/3'ü kemik (11-14mm), anterior 2/3'ünün membranöz ve kartilajinöz (20-25mm) yapıda olduğudur. İki parçanın birleşim yeri östaki borusunun en dar yeri olup istmus adını alır ve östaki borusu buradan itibaren genişleyerek timpanik ağızda (orifis) en geniş çapına ulaşır. Nazofarinkse protrude olan östaki borusu kartilaj bölüme “torus tubarius” ismi verilir. Ufak çocuklarda östaki borusu daha kısa olduğundan nazofaringeal sekresyonların orta kulağa reflüsü kolaylaşır ve bu durum otitis media ile sonuçlanır. Östaki borusuyla ilişkili 3 kas bulunur; Tensor veli palatini, Tensor timpani (tensor veli palatininin devamıdır.) ve Levator veli palatini'dir. İstirahatta östaki borusu pasif olarak kapalıdır; orta kulak ve atmosfer basınçlarının eşitlenmesine olanak sağlayan yutkunma, esneme ve burun çekme gibi hareketler esnasında açılır. Östaki borusunun kapanması, çevre deforme dokular, tubal duvar ve kartilajdaki elastik ipliklerin geri çekilmesince oluşan ekstrinsik güçlerin borunun duvarları pasif olarak birbirine yaklaştırmasına bağlıdır (20).

### 2.1.3. İç kulak

İç kulak işitmeyele ilgili koklea ve dengeyle ilgili vestibül ve semisirküler kanalları içerir. Temporal kemiğin petröz parçasında yerleşmiş olup akuaduktus koklea ve akuaduktus vestibüli ile kafa içiyle bağlantılıdır. Orta kulak ile bağlantısı yuvarlak ve oval pencere yoluyla. Oval pencere stapes tabanı ile örtülüdür. Labirent kemik ve membranöz olmak üzere iki kısma ayrılır. Kemik labirent vestibulum, semisirküler kanallar ve koklea bölümlerinden oluşur.

Vestibulum yaklaşık 4 mm çapında bir kavite olup dış yan duvarda fenestra vestibüli (oval pencere) ve fenestra koklea (yuvarlak pencere) bulunur. Üst ve arka duvarlarında semisirküler kanalların açıldığı delikler vardır. Akuaduktus vestibüli vestibulumun iç duvarından başlayarak arka iç yana doğru ilerler ve petröz kemiğin arka üst yüzünde fossa subarkuata adı verilen çukurda sonlanır. Bu kanalın içinde duktus endolenfatikus bulunur. Akuaduktus koklea skala timpaniden başlayarak petröz kemiğin alt yüzünde subaraknoidal boşluğa açılır. Bu kanal içindeyse duktus

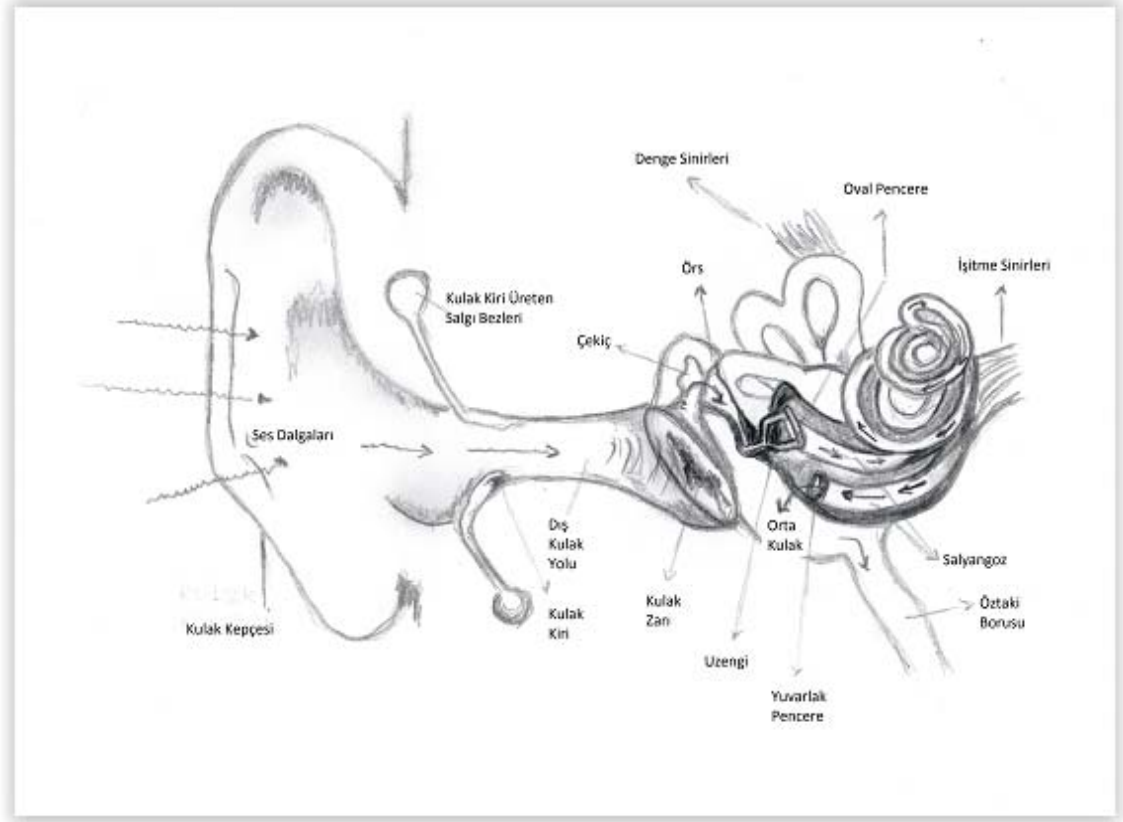
perilenfatikus vardır. Koklea, koni şeklinde modiulus denilen bir yapı etrafında arkadan öne, iç yandan dış yana doğru yaklaşık 2,5 defa dolanan bir kanaldır. Modiulus içinde damar ve sinirlerin geçtiği longitudinal ve spiral kanallar bulunur. Modiolustan osseöz spiral lamina isimli ince bir kemik lamel çıkar. Spiral laminadan uzanan baziler membran kokleayı iki boşluğa ayırır. Bu iki boşluk birbirleriyle modiulus tepesinde, helikotrema denilen küçük bir aralıkta birleşir. Kemik koklea kesitinde üç kompartman vardır. Üstte oval pencereye açılan skala vestibüli, altta yuvarlak pencereye açılan skala timpani, ortada ise skala media (duktus koklearis) bulunur.

Membranöz labirent şekil bakımından kendini çevreleyen kemik labirenti aynen taklit eder. Membranöz ve kemik labirent arasında sodyumdan zengin perilenf ve membranöz labirentin içinde potasyumdan zengin endolenf bulunur. Membranöz labirent, endolenfatik duktus ve kese, utrikulus, sakkulus, semisirküler kanallar ve duktus koklearisten meydana gelir. Endolenfatik duktus, duktus utrikulosakkularis ile bağlantılı olarak başlar ve akuaduktus vestibüli adı verilen kemik kanal içinde ilerleyerek fossa subarkuatadaki sakkus endolenfatikusa açılır. Bu yapıların endolenfin absorpsiyonuyla ilgili olduğu kabul edilir (17,21,22,23,24).

Denge ile ilgili membranöz labirentin yapıları; sakkulus, utrikulus ve semisirküler kanallardır. Sakkulus, vestibülün ön-alt kısmında sferikal reses içerisine yerleşmiştir. Utrikulus oval biçimdedir, vestibülün arka-üst kısmındaki eliptikal reses içerisine yerleşmiştir. Semisirküler kanallar utrikulusa bağlı yarım daire kanallarından oluşmuş olup üç tanedir. Süperior (anterior) semisirküler kanal, posterior semisirküler kanal ve lateral (horizontal) semisirküler kanaldır. Utrikulus yakınında her kanal genişler ve ampulla adını alır. Ampullada krista ampullaris adını alan nöroepitelyal plaklar yer alır. Epitelin titrete tüycükleri, üzerlerini örten ve kupula adını alan jelatinimsi bir tabaka içine gömülüdürler. Membranöz labirent içindeki endolenf hareket ettiği zaman kupula da yer değiştirir. Utrikulus ve sakkulusun her birinin içinde makula adı verilen nöroepitelyal plaklar mevcuttur. Buradaki hücrelerin siliaları sulfomukopolisakkarit yapısında jelatinöz bir tabaka içine gömülüdür. Bunun yüzeyinde otolit adı verilen kalsiyum karbonat kristalleri bulunur. İç kulağın kanlanması anterior inferior serebellar arterin (AICA) bir dalı olan labirentin arter ile sağlanır. Labirentin arter; sekizinci sinirle birlikte iç kulak yoluna girer. Burada dallanarak ana koklear arteri ve anterior vestibüler arteri verir. Ana koklear arter modiulus boyunca yükselir ve iki



önemli dal verir; spiral modioler arter (A. Koklearis propria) ve vestibülokoklear arter. Kokleanın yan duvarı venleri ile spiral limbus ve apikal gangliyon hücreleri venleri birleşip spiral modioler vene dökülürler (21,22,24). (Şekil 2)



Şekil 2. Orta Kulak

## 2.2. Kulak Fizyolojisi

### 2.2.1. Ses dalgası ve özellikleri

Ses enerjisi bir titreşimdir. Ses dalgalarının hızı yayıldıkları ortamın yapısına göre değişir; yoğunluğu fazla olan katı ortamlarda en hızlı, sıvıda daha düşük, gaz ortamlarda en düşük hızla yayılır.

Bir ses kaynağının iki özelliği olan “eylemsizlik” (inertia) ve “esneklik” nedeniyle titreşim siklüsü yaşanır. Her titreşim siklüsünde belirli bir enerji, ses şeklinde bulunduğu ortama yayılır (25).

Deniz seviyesinde 20°C derecelik sıcaklıktaki hava tabakasında sesin hızı 344 m/sn olarak bulunmuştur. Sıvı ortamlarda ise havaya göre 4 kat hızlı olarak yayılır (1437m/sn). Kemikte ise yayılma hızı 3013 m/sn olarak bulunmuştur. Sesin saniyedeki titreşim sayısına sesin frekansı, tonu ya da perdesi denir. Sesin frekansı saniyedeki titreşim sayısı, Hertz (Hz) ile ifade edilir. İnsan kulağı 16–20000 Hz aralarında sesleri duyar. Sesin şiddet birimi desibeldir (dB) ve insan kulağı tarafından duyulan en küçük ses şiddeti 20 dB olarak tanımlanır. Bir ortamın ses dalgalarının yayılmasına gösterdiği dirence akustik direnç ya da empedans denmektedir. Empedans, ortam moleküllerinin yoğunluğu ve esnekliği ile orantılıdır. Ses dalgaları ortam değiştirirken her iki ortamın empedansı birbirine ne kadar yakın ise yeni ortama geçen enerji miktarı da o kadar fazla olur (7).

### 2.2.2. İşitme

Atmosferde meydana gelen ses dalgalarının kulağımız tarafından toplanmasından beyindeki merkezlerde karakter ve anlam olarak algılanmasına kadar olan süreç işitme olarak adlandırılır ve işitme sistemi denilen geniş bir bölgeyi ilgilendirir. Dış, orta ve iç kulak ile merkezi işitme yolları ve işitme merkezi bu sistemin parçalarıdır. İşitme birbirini izleyen birkaç fazda gerçekleşir.

I. Sesin atmosferden korti organına iletilmesi.

II. Transdüksiyon: Ses dalgasının sinirsel enerji haline dönüştürülmesi.

III. Nöral kodlama: Ses enerjisinin sinir liflerine aktarılması.

IV. Assosiasyon: Tek tek gelen sinir iletimlerinin işitme merkezinde birleştirilmesi ve çözünmesi (25).

**I. İletim:** İşitmenin olabilmesi için ilk olarak ses dalgalarının atmosferden dış ve orta kulak aracılığı ile korti organına iletilmesi gereklidir. Bu mekanik olay sesin bizzat kendi enerjisi ile sağlanır.

Aurikula ses dalgalarının toplanmasında, dış kulak yolu da bu dalgaların timpanik membrana iletilmesinde rol oynar (26).

Sesin atmosferden korti organına iletilmesi sürecinde başın ve vücudun engelleyici, kulak kepçesi, dış kulak yolu ve orta kulağın yönlendirici ve/veya 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 basınç düşer. Bu sesin iki kulağa ulaşması arasında 0,6 m/sn bir fark oluşturur ki sesin geliş yönünü bu şekilde ayırt edebiliriz.

Orta kulak, timpanik membrana ulaşan ses dalgalarının iç kulaktaki sıvı ortama geçmesini sağlar. Ses dalgaları orta kulaktan iç kulağa geçerken yani direnci düşük olan gaz ortamdan direnci daha yüksek olan sıvı ortama geçerken ortalama 30 dB civarında bir enerji kaybına uğrar. Orta kulak, bu ses dalgalarındaki enerji azalmasını önlemek amacıyla ilempedans (direnc) denkleştirme görevi üstlenir (27,28).

1. Kulak zarının işitmede rol oynayan pars tensa kısmı, hem kemik anulus içine sıkıca yerleşmiştir hem de manubrium malleiye sıkı bir şekilde yapışıktır. Kulak zarı kemiğe sıkı bir şekilde yapıştığı için anulusta titreşemez, ince olan orta kısımda titreşir ve titreşim enerjisi yarı sabit manubrium mallei'de yoğunlaşır. Bu şekilde ses enerjisi iki katına çıkar.

2. Kemikçikler bir kaldıraç gibi etki eder. Bu kaldıraçta, manubrium mallei ve inkusun uzun kolu kaldıraçın kollarını, malleus başı da destek noktasını oluşturur. Ses dalgası ile inkudo-malleolar kompleks tek bir ünite gibi hareket eder. Bu şekilde kulak zarını titreştiren ve manubrium üzerinde yoğunlaşan ses enerjisi inkudo-malleolar kompleks aracılığıyla stapesin başına 1.3 kat güçlenerek ulaşmış olur.

3. Kulak zarı ve stapes tabanındaki titreşim alanları arasında ki oran yaklaşık olarak

$18/1$ 'dir. Kulak zarının en periferik bölgelerinin titreşmediği düşünülürse efektif oran  $14/1$ 'dir. Ses, kulak zarı ile stapes tabanının birbirine oranı ile orantılı olarak 14 kat güçlenerek iç kulağa geçer (7,27,28,29).

**II. Transdüksiyon:** İç kulakta frekansların periferik analizi yapılır ve corti organında ses enerjisi biyokimyasal olaylarla sinir enerjisi haline dönüştürülür (28).

Ses dalgalarının perilenfe iletilmesi: 1960 yılında Bekesy kobaylarda stroboskopik aydınlatma ile ses dalgalarının baziller membranda meydana getirdiği değişiklikleri araştırdı. Ses dalgalarının perilenfe geçmesi ile perilenf hareketlenir ve baziller membranda titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler bazal turdan başlayarak apikal tura kadar uzanır. Bekesy bu harekete ilerleyen dalga “travelling wave” adını vermiştir. Bazal membran bazal turda dar (0.12 mm), apikal turda daha geniştir (0,5 mm). Bazal turda baziller membran gergindir ve baziller membran genişliği arttıkça gerginlik giderek azalır. Bu fark nedeni ile ses dalgası, bazal turdan apikal tura kadar gezinen dalga ile götürülmüş olur. Bekesy'nin ortaya koyduğu diğer bir nokta da baziller membran amplitüdlerinin her yerde aynı olmadığıdır. Baziller membran amplitüdü sesin frekansına göre değişiklik gösterir. Genellikle yüksek frekanslı seslerde bazal membran amplitüdüleri bazal turda en yüksektir. Buna karşılık alçak frekanslarda bazal membran amplitüdüleri apikal turda en yüksek seviyeye ulaşır.

Kokleada yaklaşık 3500 iç saçlı hücre (İSH) ve 13000 dış saçlı hücre (DSH) bulunmaktadır. Bu hücreler ses enerjisinin, yani mekanik enerjinin, sinir enerjisine dönüşümünde rol alırlar. En uzun dış saçlı hücre stereosiliası tektorial membranın alt yüzüne bağlanır. Daha kısa silialar ve iç saçlı hücre stereosiliası tektorial membranın alt yüzüne bağlı olmadığı düşünülmektedir. Bazal membrandaki yer değişimi, tektorial membran ve retiküler lamina arasındaki DSH'lerini bükerek hareketlendirir. Tektorial membran ve retiküler lamina arasındaki sıvı kayma hareketi İSH'leri hareketlendirir. Böylece İSH hız, DSH yer değiştirme algılayıcısı olarak görev görür. Her saçlı hücrenin titreşim amplitüdünün en yüksek olduğu bir frekans vardır. Bu durum baziller membran amplitüdüleri için de geçerlidir (27,28,30,31).

Kokleada 3 tür elektrik potansiyeli vardır.

1. Endokoklear potansiyel: Stria vaskularis tarafından oluşturulur. Anoksiye ve oksidatif metabolizmayı bozan kimyasal ajanlara aşırı duyarlı olduğu için, varlığı stria vaskularisin aktif iyon pompalama sürecine bağlıdır.

2. Koklear mikrofonik: Büyük ölçüde DSH ve bunların meydana getirdiği Kiyonu akımına bağlıdır. Baziller membran hareketleri ve ses uyarıları ile direkt ilişkilidir. DSH harabiyetinde kaybolur.

3. Sumasyon potansiyeli: İSH içindeki elektriksel potansiyelin yönlendirdiği bir akımdır. Ses uyarısına, frekansına ve şiddetine göre değişir (7,28).

**III. Ses enerjisinin sinir liflerine aktarılması:** İç ve dış saçlı hücrelerde meydana gelen elektriksel akım, kendisi ile ilişkili sinir liflerini uyarır. Bu şekilde sinir enerjisi frekans ve şiddetine göre corti organında kodlanmış olur (7,28).

İnsanlarda işitme sınırı 30000 liften yapılmıştır. Bu liflerin %90-95'i miyelinli, bipolar ve İSH'nde sonlanan tip I nöron şeklindedir. Buna karşılık %5-10'u miyelinsiz, unipolar ve DSH'nde sonlanan tip II nöron şeklindedir. Tıpkı saçlı hücrelerde olduğu gibi her sinir lifinin duyarlı olduğu bir frekans vardır (26,30).

**IV. Assosiasyon:** Tek tek gelen bu sinir iletimleri, işitme merkezinde birleştirilir ve çözülür. Böylece sesin karakteri ve anlamı anlaşılır hale getirilir (29).

Spiral gangliondaki sinir hücrelerinin aksonları n.koklearis adını alarak ponstaki koklear nukleuslara ulaşırlar. Koklear nukleuslar, ventral ve dorsal olmak üzere iki gruptur. Düşük frekanslı seslerle oluşan uyarı ventral nukleusta, yüksek frekanslı seslerle oluşan uyarı dorsal nukleusta sonlanır. Bu liflerin çoğu beyin sapının karşı tarafına geçerek superior olivar komplekse katılırlar. Lifler buradan lateral lemniskus ve inferior kollikulusta giderler. İnférieur kollikulustan çıkan lifler medial genikulat nukleus aracılığı ile temporal loptaki Silvan fissürüne yerleşmiş işitme merkezine gelirler (26,28).

### **2.3. Östaki Borusu Fizyolojisi**

Östaki borusu, orta kulağın havalanmasını ve orta kulakta toplanacak her türlü normal veya patolojik salgıların boşaltılmasını sağlar. Orta kulağın havalanması, aslında kulak zarının her iki yanındaki hava basıncını dengelemek amacı ile yapılır. Bu

sebeplerden östaki borusunun basınç dengeleyici ve boşaltım olmak üzere iki temel görevi bulunur.

### **2.3.1. Orta Kulak Basıncının Dış Ortam Basıncıyla Dengelenmesi**

Normalde östaki borusu kapalıdır, zaman zaman bazı kasların hareketi ile kısa bir süre için açılır ve bu süre içinde belirli bir hava kitlesi orta kulağa girer.

Bir zarın iyi titreşebilmesi, gergin olmasına, yani her iki tarafındaki basıncın birbirine eşit olmasına bağlıdır. Eşitlik bozulursa kulak zarı basıncı az olan tarafa doğru aspire edilir ve bu durum normal titreşimi engeller.

Organizma içindeki havalı boşluklarda sürekli bir hava emilmesi olayı vardır. Bu boşlukları çevreleyen mukoza, içerdeki havayı emer. Boşluğun dış ortamla bağlantısı kesilirse, sürekli emilen hava yüzünden boşluktaki havanın basıncı düşer. Düşük basınç, mukoza içindeki damarların permeabilitesini bozarak transudasyonlara neden olur.

4 cm<sup>3</sup> hacmindeki bir orta kulakta 0.5 mm<sup>3</sup> havanın emilmesi orta kulak boşluğundaki havanın basıncında düşme yapar. Rakamla değeri 1 mmsu basıncıdır. Normal bir orta kulakta, emilen hava yüzünden orta kulaktaki hava dakikada 1 mmsu basıncına eşdeğer bir basınç kaybına uğrar. Östaki borusu 10 dakika kapalı kalsa orta kulak havasının basıncı 1cmsu basıncına eşit bir basınç kaybına uğrayacaktır.

Östaki borusunun açılması, normal koşullarda yutkunma sırasında olmaktadır. Normal kişilerde dakikada 1 defa yutkunma meydana gelir. Yapılan gözlemlerde her iki yutkunmadan ancak birisinin etkili olduğunu diğerinin östaki borusunu açmadığını göstermiştir. Uyku sırasında yutkunma azalır, ortalama 5 dakikada bir yutkunma olayı meydana gelir.

Normal kişilerde östaki borusunun aynı permeabilitede olmadığı görülmektedir. Toulon deniz altı araştırma merkezi KBB Kliniğinin incelemesi, geçirgenliklerine göre östaki borularını şöyle sınıflandırmıştır:

**-Çok geçirgen östaki borusu:** Bunlar normal kişilerin %33'ünde görülür. Normal yutkunma hareketleriyle orta kulağa hava girmesi olanağı vardır. Orta kulaktaki havanın basıncı ile dış ortam basıncı arasındaki fark 2 mmsu basıncını geçmez. Her iki yutkunma olayından bir tanesi östaki borusunu açar ve gerekli hava orta kulağa geçer.

**-Orta derecede geçirgen östaki borusu:** Bunlar normal kişilerin %38'inde bulunurlar. Bu kişilerde östaki borusunun açılabilmesi için orta kulaktaki hava basıncı ile nazofarinkteki havanın basıncı arasında bir fark olmalıdır. Bu fark 0 ile 15 cmsu basıncı arasında değişir.

**-Geçirgenliği bozuk östaki borusu:** Bunlar normal insanların % 29'unda bulunurlar. Bu östaki borularının çalışabilmesi için orta kulak basıncı ile nazofarinksdeki basınç arasında 15 ile 30 cmsu basıncı kadar bir fark bulunması gerekir. Yutkunma hareketleri orta kulağa hava girmesini sağlar fakat basınç dengelemesini yapamaz.

Sonuç olarak östaki borusunun iyi çalışması için bazı normal kişilerde orta kulakta negatif basıncın bulunması gerekebilir. Orta kulaktaki negatif basınç östaki borusunun açılması yanında havanın emilmesinde yardımcı olur. Fakat bazen negatif basınç yer değiştirebilir. Bu basınç farkı belli değerleri aşarsa kulak zarında sürekli çökme, işitmede hafif kayıplar ve ileri vakalarda tam blokaj görülür (32).

### **2.3.2. Östaki Borusunun Açılma ve Kapanma Mekanizması**

Östaki borusunun açılmasına etken olan en önemli hareket yutkunmadır. Yutkunma bir reflekstir ve bulber kontrol altındadır. Refleks, tükürüğün dil kökünü ve orofarinks duvarını irrite etmesiyle başlar. Östaki borusunun açılmasında en etkili hareket tükürüğün yutulmasıdır. Katı maddelerin ve sıvıların yutulması aynı derecede etkili değildir.

Yutkunma sırasında görev alan kaslardan iki tanesi östaki borusunu açmakta etkilidir. M. Elevator palatini önce kasılmaya başlar, östaki borusu kıkırdağını tespit eder ve alt dudağı gerer. Bundan sonra m. tensör veli palatini östaki borusunun fibröz

kısmını dışa ve hafifçe yukarı doğru çeker ve östaki borusu açılır. Östaki borusunun en fazla açık olduğu kısım tüber pavyondur ve istmusa doğru giderek kasların etkisi azalır. Bu kısmın açılması bu yüzden pasif olarak gerçekleşir. Bu nedenle tıkanmanın en sık meydana geldiği bölgedir (32).

#### **2.4. Orta Kulak Basınç Değişiklikleri**

Bu durumun bir çok sebebi olabilir. Uçucularda sıkça rastlanan bir sorun orta kulak basınçlarını ayarlayamamalarıdır. Bu durumu anlayabilmek için orta kulakta hava sirkülasyonu ve basıncı düzenleyen fizyolojik mekanizmaların iyi bilinmesi gereklidir.

19. yüzyıldan 1980'lere kadar geçen zaman içinde orta kulağın havalanmasında tek yolun östaki borusu olduğu kabul edilmekteydi. Östaki borusunun sürekli olarak kapalı olduğu patolojik durumlarda da çeşitli orta kulak hastalıklarının (kronik timpan membran retraksiyonu, efüzyonlu otit gelisimi vb.) oluşabileceği öne sürülmekteydi. Klasik olarak "Hidrops ex vacou" teorisi olarak bilinen bu görüşün üç temel dayanağı vardı (33).

1. Orta kulaktan gaz absorpsiyonu
2. Orta kulak havalanması
3. Östaki borusu obstrüksiyonu

Bu görüşü destekleyen en önemli veriler orta kulak ve mastoid hücreler içindeki havanın orta kulak mukozasından sürekli olarak absorbe edildiğini gösteren çalışmalardan gelmektedir (34,35). Bu absorpsiyon orta kulak basıncının azalmasına neden olur. Östaki borusunun primer görevi orta kulağın havalanmasını sağlamaktır. Yutkunma esneme ve çiğneme ile östaki borusunun açılması, orta kulakta absorpsiyon sonucu oluşan negatif basıncın giderilmesini sağlar. Eğer östaki borusu patolojik bir olay sonucu açılmayacak olursa hava absorpsiyonu ve basınç azalması devam eder. Negatif basıncın belli bir seviyeye gelmesi orta kulağa sıvı transüstasyonuna neden olur (36). Bu basıncın daha da düşmesini önler bu nedenle bu teori "Hidrops ex vacou" olarak da adlandırılmaktadır.



Ancak 1970'li yıllardan itibaren yapılan çalışmalar bu klasik teoriye ciddi eleştiriler getirmiştir. En önemli eleştiri çeşitli kulak hastalıklarında östaki borusunda bir daralma olmadığını gösteren çalışmalardan gelmektedir. Bluestone ve ark. X-ray kontrast madde kullanarak temporal kemiklerde yaptıkları çalışmalarda hastalıklı kulaklarda obstruksiyonun genellikle olmadığını ve östaki borusunun anatomik obstruksiyonunun oldukça nadir olduğunu göstermişlerdir. Sade ve ark. AOM, EOM ve KOM olan kulaklarda temporal kemiklerin incelenmesi sonucu östaki borusu çapında sağlam kulaklara göre bir fark bulamamışlardır (37,38).

Diğer önemli bir bulguda orta kulaktan gaz salınımının ve absorpsiyonunun olduğunu gösterilmesidir (39). Sade ve ark. bu gaz difüzyonunun gazların difüzyon katsayıları ile orantılı olarak belli bir hızda gerçekleştiğini ve orta kulaktaki gaz bileşiminin ve venöz kandaki gaz bileşimine benzediğini belirtmektedir (40,41). Buckingham ve ark. köpeklerde hipoventilasyonla veya CO<sub>2</sub> içeren gaz karışımlarıyla ventilasyon yapıldığında orta kulakta pozitif hava basıncı geliştiğini belirtmişlerdir (42). İnsanda seri timpanometri ile değişik soluma paternlerine cevap olarak gelişen basınç değişiklikleri saptandığında da benzer bulgular elde edilmiş ve hiperventilasyonla orta kulakta negatif basınç geliştiği gösterilmiştir (43). Hipoventilasyonun etkisi, sabah uyanıldığında orta kulak basıncının ölçülmesiyle de gösterilmiş ve sabah uyanıldığında orta kulak basıncı pozitif olarak bulunmuştur (44).

Bütün bu bulgular orta kulak havalanmasının kontrolü konusunda yeni görüşlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Magnusson orta kulakta basıncı düzenleyen sistemin şu üç komponentin birbiriyle devamlı bir kooperasyon içinde olmasıyla meydana geldiği görüşünü ortaya atmıştır (33).

- 1- Çift yönlü gaz difüzyonu (salınım ve absorpsiyon)
- 2- Tubal hava geçisi (yukarı ve aşağı)
- 3- Çift yönlü sıvı değişimi (yapım ve eliminasyon)

Eğer intratimpanik basınçta bir değişme meydana gelecek olursa her üç komponent basıncı eski haline getirmek için harekete geçer. Eğer komponentlerden biri yeterince iyi çalışmıyorsa diğer ikisi kompanse edebilir. Buna göre orta kulakta negatif basınç oluşması için;

- 1) Salınandan daha fazla gaz absorbe edilmeli
- 2) Östaki borusundan daha fazla gaz nazofarinkse geçmeli
- 3) Elimine edilen sıvı miktarı yapılandan daha fazla olmalıdır.

#### **2.4.1. Orta Kulak Havalanması ve Östaki Borusu**

Orta kulak boşluğunun havalanmasının kontrolünde östaki borusu çok önemli bir yere sahiptir. Ancak östaki borusu aracılığı ile nazofarinksten gaz transferini kontrol eden kalitatif ve kantitatif fizyolojik parametreler hakkında çok az şey bilinmektedir (45).

İnsanda östaki borusu 3-4 cm uzunluğundadır ve koni şeklinde iki parçanın isthmus denilen dar bir geçiş alanında birleşmesi ile meydana gelmiştir. Bunun medialde kalan konik parçası kollabe olabilir bir yapıdadır ve çoğunlukla da kollabe durumdadır. Östaki borusunun kollabe olabilen kısmı yutkunma, esneme veya mandibulanın hareketleri sırasında tensor veli palatini kası tarafından aktif olarak açılır. Bu kısım her 1-2 dakikada 0.2 sn süreyle açık kalır. Genel prensip olarak gazlar bir bölgeden bir diğerine o bölgelerdeki uygulamış oldukları total basınç farklılığına uygun olarak hareket ederler. Östaki borusunun her yutkunma ile açılmadığı ve her yutkunma hareketi sonrasında orta kulağa efektif bir gaz geçişinin olmadığını bilmesi gerekmektedir. Östaki borusundan geçerken gaz akışı esas olarak büyük bir engelle (isthmus) kısıtlanır. Gaz isthmusu geçer geçmez orta kulağa ulaşır. Fizyolojik ve normal şartlar altında 24 saat içinde nasofarenksten orta kulağa geçen gaz miktarı 1-2 ml olarak bulunmuştur. Yine normal şartlar altında bu miktar bir günde mukoza aracılığı ile orta kulak boşluğundan orta kulak duvarlarındaki kan dolaşımına difüzyonla geçen net gaz miktarına eşittir (32).

#### **2.4.2. Kulak Zarının Orta Kulak Basıncındaki Rolü**

Orta kulaktaki fizyolojik basınç hemostazı basınç düzenleyicileri (tampon) olarak görev yapan bazı mekanizmalar tarafından sağlanır.

Fizyolojik kulak zarı timpanik kemiğe komşu anulusa bağlı rigid bir membrandır. Hemen hemen rigid olan bir membranın hareketi esas olarak anuler katlantı seviyesindedir. Bu mekanik bir menteşe olarak görev yapar. Timpan membranın içeri doğru yer değiştirmesi orta kulak hacmini belli bir dereceye kadar azaltabilir ve bunun sonucu olarakta orta kulak basıncını arttırabilir.

Orta kulaktaki negatif basınç değişikliklerini daha da nötralize etmek için ilave başka mekanizmalarda ihtiyaç vardır. Bunlardan birisi timpan membranın retraksiyonudur. Timpan membranın retraksiyonu orta kulak hacmini azaltarak basıncın yükseltilmesine neden olur. Retraksiyon arttıkça orta kulaktaki gazların sıkışması daha fazla olur ve bu da gaz basınçlarında artışa neden olur. Timpan membranda daha fazla retraksiyon meydana gelmesi timpan membran fibröz tabakasını kaybettiğinde (grade 2-4 atelektazi) daha muhtemeldir. Bu durum sürekli devam eden uzamış negatif basınç durumlarında gelişir. Bu durumda timpan membran normal rigid özelliğini kaybetmiş fleksible bir özellik kazanmış olur (32,33).

#### **2.4.3. Orta Kulak ile Kan Dolaşımı Arasındaki Gaz Değişimi**

Orta kulak boşluğunun havalanmasının kontrolünde östaki borusu önemli olmakla birlikte en az onun kadar önemli olan bir başka konu da orta kulak ile kan dolaşımı arasındaki gaz değişimidir.

Orta kulak mukozasından gaz absorpsiyonu yanında gaz salınımında olduğunun gösterilmesi orta kulak havalanmasının açıklanmasına önemli katkı getirmiştir (33).

Gazlar kan damarlarından orta kulağa veya tersi yönde her bir gazın kısmi basınç farklılıklarına göre pasif olarak geçer. Gaz partikülleri denge haline gelinceye kadar, yüksek kısmi basıncın olduğu ortamdaki düşük basıncın bulunduğu ortama doğru geçmeye meyillidir. Normal fizyolojik şartlar altında gaz kısmi basınçları orta kulak venöz dolaşımı ile orta kulak boşluğu arasında dengelenmeye meyillidir. Orta kulağı drene eden venöz kanın mikst venöz kandakine benzer bir gaz bileşimine sahip olduğu düşünülürse orta kulaktaki denge hali sonuç olarak toplam gaz basıncı atmosfer basıncından yaklaşık 56 mmhg daha düşük olarak meydana gelecektir. Bu teorik durum kulak zarı üzerine yüksek bir atmosfer basıncının uygulanmasına neden olacaktır. Bu nedenle orta kulağın atmosferinkine yakın bir toplam basınca erişmesi için kompensasyona ihtiyaç vardır. Bu östaki borusu aracılığıyla nasofarinksten periyodik olarak gaz geçişi ile sağlanır (46).

#### **2.4.4. Orta Kulak Basıncının Nöronal Kontrolü**

Orta kulak havalanmasının kontrolünde nöral mekanizmalarında rol oynayabileceği hayvanlarda yapılan bazı çalışmalara dayanarak ileri sürülmektedir (47).

Maymunlarda yapılan bu çalışmalar sonucu timpanik pleksus ile nukleus solitariusun subnukleusu arasında afferent yolların bulunduğu saptanmıştır. Bu reseptörlerin varlığı orta kulaktaki kemo ve baro reseptörlerden gelen uyarıların olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Çocukluk çağında OM görülme sıklığının erişkinlere göre daha fazla olmasının bu dönemde nöral maturasyonun tamamlanmamış olmasına bağlanmaktadır. Nitekim timpanik pleksusu oluşturan jacobson sinirinin kesilmesinin ‘guinea pig’ lerde 60 gün sonra otoskopik olarak kulak zarında retraksiyon, efüzyon gelişimi ve histopatolojik olarak inflamasyon ve goblet hücre artışına neden olduğu bildirilmiştir (46).

#### 2.4.5. Uçuşa Bağlı Ortaya Çıkan Orta Kulak Barotravması

Atmosfer basıncı değiştiğinde vücutta gaz içeren boşluklar ile dış ortam arasında basınç farkı oluşur. Gazlar vücut boşlukları ile dış ortam arasında hareket eder ve oluşan bu basınç farkı azaltılır. Basınç farkı azaltılamazsa vücut dokularında bazı istenmeyen etkiler ortaya çıkar. Basınç farkına bağlı ortaya çıkan bu etkiler barotravma olarak adlandırılır. Vücut boşlukları ile dış ortam arasında basınç eşitliği sağlanamazsa hafif rahatsızlık hissinden şiddetli ağrı, kulak uğultusu, işitme kaybı, doku hasarı ve tam inkapasitasyona kadar ilerleyebilen problemler ortaya çıkar. Vücutta temel olarak akciğerler, orta ve iç kulak, burun çevresindeki sinüs boşlukları, dişler ve mide-barsak sistemi etkilenir (48).

Uçaklarda kabin basınçları sabitlenmiştir ancak, uçuş yüksekliğinde kabin havası basıncı deniz seviyesindeki basınca göre daha düşüktür. 11000 metrelik (37000 feet) tipik bir uçuş yüksekliğinde; kabindeki hava basıncı, deniz seviyesinden 1500-2500 metre (5000-8000 feet) yükseklikte olan hava basıncına denktir. Sonuç olarak, mevcut oksijen düşer ve vücuttaki gazlar genişler.

Orta kulağın hava dolu boşlukları temporal kemikteki pnömatizasyon derecesine göre 2.5ml ile 13 ml arasında çok farklı gaz hacmine sahiptir. Orta kulaktaki hava, uçakta yükselirken genişler. Basınç farkı 15 cc su basıncına ulaşıncaya östaki borusu pasif olarak açılır ve genişleyen gazlar nazofarenks'e geçer (49). Bu sayede kulak zarının her iki tarafında basınç eşitliği sağlanmış olur. Östaki borusu anatomik olarak tek taraflı bir valf gibi çalışır, irtifaya çıkıldığında valf açılır ve nazofarinkse doğru kolayca gaz geçişi olur. Bu geçiş yaklaşık her 500-1000 feet'de bir defa meydana gelir.

Çevre basıncının azalması yani uçakla yükseliş sırasında orta kulaktaki gazların genişlemesiyle eğer östaki borusunda genişleyen gazın nazofarenks'e geçmesini engelleyecek (iltihap, polip,vb) bir durum varsa, gaz orta kulakta birikir. Zar dışarı doğru itilir. Kulakta dolgunluk hissi, işitme kaybı, kulak iltihabı, kulak ağrısı ve baş dönmesi görülür. Eğer östaki borusunda genişleyen gazın nazofarenks'e rahatça geçmesini engelleyen bir patoloji yoksa, bu geçiş pasif olarak yapılacağından yükseliş sırasında barotravma olma olasılığı azdır.

Alçalış sırasında durum farklıdır. Çevre basıncın artmasına bağlı olarak orta kulakta bulunan gazın hacmi küçülür. Atmosfer ile orta kulak boşluğu arasındaki basıncın eşitlenebilmesi için nazofarinksten orta kulağa östaki borusu yardımıyla gaz geçişi olmalıdır. Çoğu bireyde östaki borusunun tek taraflı valf özelliği, gazların orta kulağa pasif geri geçişine karşı koruyucudur. Bu nedenle dış ortam basıncı yükselirken orta kulak boşluğundaki basınç rölatif olarak düşük kalır. Basınç farkı kulak zarının orta kulağa doğru (iç) itilmesine neden olur. İrtifa kaybetmeye devam edildiğinde nazofarinksten östaki borusu içine gaz geçişi olmadığı sürece kulak zarındaki bu etki devam eder ve kulakta dolgunluk hissi, iştme keskinliğinde azalma, kulak zarında ağrı ortaya çıkar. İrtifa kaybederken östaki borusunu açık tutmaya yarayan bazı manevralar yardımıyla kulak zarı üzerindeki basıncın dengede tutulması orta kulak barotravmalarına karşı koruyucudur. Çiğnemek, yutkunmak ve çene hareketleri östaki borusunu açık tutmak için kullanılabilen basit manevralardır. Fakat bu yöntemler uçucu popülasyonun yarısında fayda sağlamamaktadır. Bu durumda Valsalva ya da Frenzel manevraları kullanılabilir. Valsalva manevrası dudaklar kapalı ve burun üzerine parmaklarla yapılan bası yardımıyla burun delikleri tıkalyken güçlü bir şekilde soluk vermeye çalışılarak yapılır. Uçuş sırasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Orta kulak barotravmaları özellikle basınç değişiminin fazla olduğu 5000-10000 feet irtifalarda sık görülür (48).

Basınç değişikliğinin çok hızlı olduğu hallerde (jet savaş uçakları) östaki borusunun aktif olarak açılma zorunluluğu önem gösteren bir konudur. Bu basınç eşitlemesi yapılmadığı takdirde nazofarenks ve orta kulak arasında basınç farkı artar, orta ve iç kulak barotravmaları oluşabilir. Orta kulaktaki basınç azlığını kompanse etmek için basınç eşitleme manevraları geç yapılacak olursa, basınç farkı 80-120 cc su basıncına ulaşır ve östaki borusu artık açılmayabilir (tuber blokaj). Östaki borusunun açılma sıklığı savaş uçaklarında, jet savaş uçaklarında, dalışlarda dakikada 3-5 kez, pike yapan uçaklarda ise 15-20 kez olmalıdır.

Barotravmaların meydana çıkışında diğer bir etken, östaki borusunun geçirgenlik derecesi ve boru çevresindeki epitel ile çevre dokuların durumudur. Başlangıçta kulak zarında retraksiyon olur. Böylelikle orta kulaktaki basınç azalması %10'a kadar eşitlenebilir. Basınç azalması devam ettiği takdirde önce manibrium mallei üzerinde, daha sonra tüm kulak zarında hiperemi meydana gelir. Daha sonra hemorajik büller

oluşur. Orta kulaktaki düşük basınç vantuz mekanizmasıyla orta kulak mukozasında ödem yaratır, submüköz hemoraji görülür. Eğer tedavi edilmezse ve sık sık yinelense timpanoskleroz'a dönüşebilir. Basınç farkı 0.4-0.6 bar'dan itibaren kulak zarının yırtılmasına neden olur. Perforasyon genellikle çizgi biçiminde ve kenarları kanlıdır.

Orta kulak barotravması 3 klinik tabloda ortaya çıkar. Tip I olgularda hafif dolgunluk vardır ve otoskopi normaldir. Tip II olgularda otalji ve işitme kaybı yakınmaları vardır, otoskopide kulak zarında hiperemi, seröz efüzyon veya hemotimpanum izlenir. Tip III olgularda ağrı ve işitme kaybı çok daha belirgindir ve otoskopik muayenede kulak zarının perfore olduğu görülür (50,51).

Orta kulak barotravmasının sebebi uçuş sırasındaki hava basıncı değişikliklerinde yatmaktadır. Çoğunlukla üst solunum yollarında akut bir enfeksiyon vardır. Bunun dışında paranazal sinüs enfeksiyonları, nazal polip, allerjik rinit gibi östaki borusu ağızındaki mukozada iltihap ve ödem yapan faktörler östaki fonksiyonun bozulmasına neden olurlar. En sık karşılaşılan etyolojik faktör ise anterior etmoid hücre sistemindeki iltihaplardır. Ayrıca östaki borusu açıklığı sağlıklı kişilerde bile aynı geçirgenlikte değildir (49).

#### **2.4.6. Gecikmiş Orta Kulak Barotravması**

Gecikmiş otitik barotravma uçuştan birkaç saat sonra ortaya çıkan işitme kaybı ve kulakta rahatsızlık hissi olarak tanımlanır. Genellikle yüksek konsantrasyonda oksijenin bulunduğu uzun süreli uçuşlardan sonra ortaya çıkar. Bu tip uçuşlarda orta kulakta oksijenin parsiyel basıncı yükselir. Takip eden saatler içinde orta kulak mukozası boyunca oksijenin absorbe edilmesi orta kulakta negatif bir basıncın oluşmasına neden olur. Bu durum genelde uyku sırasında ortaya çıkar. Çünkü uyku esnasında orta kulak boşluğunun havalanmasını sağlayan yutkunma oranı önemli miktarda azalır (48).

#### **2.4.7. Aerotitis Media**

Aerotitis media havacılık faaliyetleri içerisinde meydana gelen en yaygın tıbbi sorunlardan biridir. Aerotitis media tek bir uçuş sonrası yetişkinlerin %20'sinde, çocukların da %55'inde görülebilen bir durumdur (52). Her profesyonel 10 uçucudan 8'nin meslek hayatlarında en az 2 ya da 3 kez bu durumu yaşadıklarını belirtmişlerdir (53).

1937 yılında Amstrong 'aerotitis media'yı timpanik kavite ve atmosfer basıncı değişikliğinden kaynaklı orta kulağın akut veya kronik travmatik inflamasyonu' olarak tanımlamıştır. Bu tanım günümüzde de geçerliliğini sürdürmektedir (54).

Bu durum, orta kulak basıncıyla ortam basıncı arasında ortaya çıkan basınç farklılığından kulak zarında rahatsızlık ve ağrıya sebep olur. Negatif orta kulak basıncı östaki borusunda daralmaya veya çökmeye sebep olabilir. Ayrıca bu durum orta kulağa sıvı geçmesi durumuna kadar devam eden patolojik sürece sebep olabilir. Bu patolojik süreç esnasında kulakta dolgunluk hissi, ağrı, kulakta kanama, işitmede azalma, çınlama, kulak zarında perforasyon ve baş dönmesi görülebilir.

#### **2.5. Akustik İmmittans**

Akustik immitans, akustik admitans ve akustik empedans kavramlarının her ikisini birden ifade eden kolektif bir terimdir. Akustik admittans, akustik enerji akışına orta kulak sisteminin ne ölçüde izin verdiğinin hesaplanmasıdır (55).

Akustik empedans ise akustik enerjinin orta kulak iletim sistemi içerisindeki akışına karşı gösterilen direncin ölçümüdür. Empedans (akustik ohm), akustik enerjinin akışına orta kulak sisteminin gösterdiği dirençtir. Admittans (akustik mmho) ise bunun tersi olarak orta kulak sisteminin kendi üzerinden enerji geçişine gösterdiği geçirgenliktir (3).

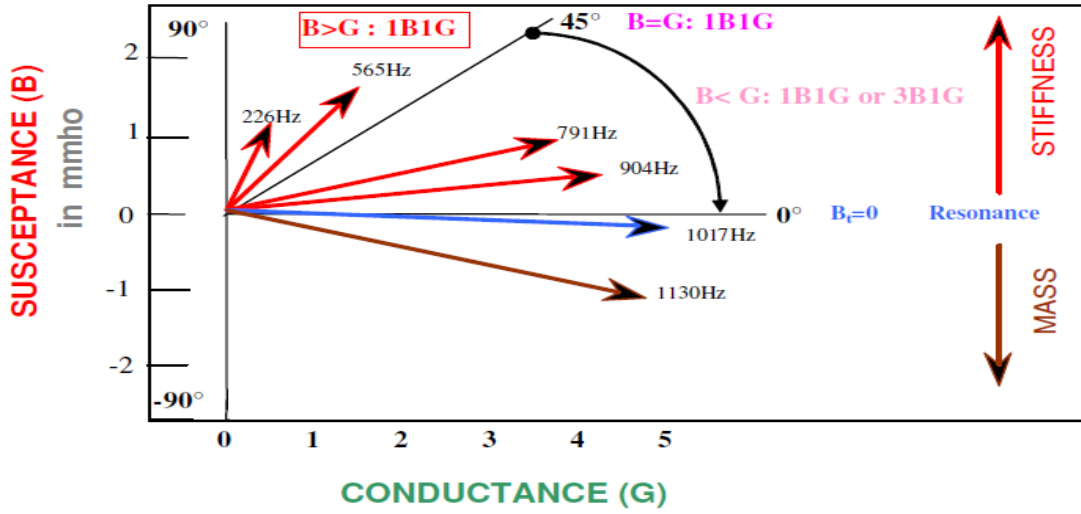
Günümüzde akustik immitans ölçümü yapan cihazlar sadece akustik admitansı (Ya) ve onun iki alt unsuru olan akustik suseptans(Ba) ve akustik kondüktansı(Ga) ölçerler. Empedans yerine admitans ölçmenin önemli bir sebebi probe ile timpanik



membran arasındaki havanın admitans değerini pek etkilememesi ancak empedans değerinde karmaşık hesaplamalar gerektirecek değişikliklerde bulunmasıdır. Bir diğer sebep ise admitans değerinin orta kulak mekanik-akustik sistemindeki farklı unsurların fonksiyon farklılıklarına karşı daha hassas olmasıdır. Admitansın alt unsurlarından biri olan akustik kondüktans, sürtünme unsurları bulunan bir sistemden ses enerjisinin geçiş rahatlığını ifade eder. Sürtünme unsuru enerjinin ısıya dönüşerek israf olmasına sebep olur ve frekans farklılıklarından etkilenmez. Diğer bir deyişle, ses enerjisinin frekansı hangi değerde olursa olsun sürtünme unsurunun etkisini ortadan kaldıramaz. Akustik suseptans ise frekans farklılıklarından etkilenen komplians (yay etkisi, geri tepme, katılık) ve kütle (atalet, hareketsiz kalma durumu) alt unsurlarını kapsayan bir terimdir (6,56).

Orta kulak bir iletim sistemi olarak zarlar, ligamanlar, kaslar, kemikçikler ve sıkışmış havadan oluşmaktadır. Tüm bu anatomik yapıların her mekanik özelliklere sahip akustik sistemde olduğu gibi kondüktans ve suseptans değerleri vardır ki bu değerler bir bütün halinde ele alındığında orta kulağın akustik admitans değerini verir. Bu değer timpanometri ile ölçtüğümüz admitans değeridir (6).

Akustik admitans karmaşık iki parametrenin ilişkide olduğu bir çokluğun ifadesidir. Dolayısıyla tek bir sayısal değer veya parametre ile açıklamak mümkün değildir. Şekil 2’de sağlıklı bir orta kulak sisteminde, admitansın iki parametresi olan suseptans ve kondüktansın ilişkilerini vektör olarak göstermektedir. Kondüktans parametresi sürtünme unsuru ile ilgili olduğundan negatif değer alması mümkün değildir, bu yüzden X-ekseninde gösterilmektedir. Suseptansın iki parametresi kompliant suseptans ve kütle suseptansı hız-kuvvet ilişkilerine göre y-ekseninde pozitif/negatif değer alırlar (6) (Şekil 3).



Şekil 3. Kitle ve sertliğe göre susseptans ve konduktans eğrileri

Şekil 2’de de görüldüğü gibi kompliant ve kütle suseptanslarının toplamının 0’a eşit olduğu nokta rezonans noktasıdır. Bunun altındaki frekanslarda orta kulak kompliant suseptansın etkisi altında yani sertlik özelliği yüksek demektir. RF’nin üstündeki frekanslarda ise orta kulak sistemi kütle suseptansının etkisi altındadır.

Orta kulak sisteminde patolojik bir durum olduğunda, bu durum orta kulağın mekanik-akustik özelliklerinde bir takım değişikliklere sebep olur. Bu da admitans değerinin farklılaşması anlamına gelir. Bu anlamda immitans ölçümleri bize orta kulak fonksiyonlarındaki değişiklikler ve bunlarla ilişkili olabilecek patolojilere dair bilgi sağlar.

İmmitans odyometrisi bataryasında ilk akla gelen timpanometri olsa da, timpanometrinin yanı sıra östaki tüpü fonksiyon testleri, akustik refleks ve refleks decay testleri de yer almaktadır. İmmitans odyometri bataryası efüzyon, otoskleroz, kemikçik zincir fiksasyonu ve kopukluğu, timpanik membran zedelenmesi ve perforasyonu, orta kulakta sıvı birikimi yanı sıra 8. kraniyal çift fonksiyonu yine bu sinir üzerinde ve orta kulakta tümör varlığı ve fasiyal sinir fonksiyonu gibi birçok konuda bilgi vermektedir (57,58).

### 2.5.1. Timpanometri

Timpanometri orta kulak fonksiyonunu objektif olarak ölçen bir testtir. Dış kulak yolundan yapılan basınç değişiklikleri ile orta kulağın akustik immitansını ölçer (57). Klasik timpanometri sıklıkla 226 Hz. prob tone ile uygulanmaktadır. Alçak frekansın seçilmiş olmasının sebebi yüksek frekanslarda oluşabilecek mikrofon düzensizliklerini engellemek, ölçüm esnasında akustik refleks oluşumunu engellemek amaçlıdır (6).

Alçak frekans timpanometri orta kulağın fonksiyonuna dair çok önemli bilgiler sunmaktadır ancak bazı yetersizlikleri de mevcuttur. Bu eksikliklerden ilki her orta kulak patolojisi için ayrı bir veri sunmadığından timpanometri ölçümünün sonucuna dayanarak net bir karar vermenin, teşhis koymanın mümkün olmamasıdır (3).

Ölçümden kaynaklanan bir diğer yetersizlik, işitme eşiklerini etkilemeyecek düzeyde bile olsa timpanik membranı etkilemiş bir patolojinin ölçülen admitans değerine çok baskın şekilde yansıtacağıdır. Kaldı ki aynı kulakta bununla beraber birçok orta kulak patolojisi de bulunabilir. Dış kulak yoluna yerleştirilen proba en yakın timpanik membran olduğundan timpanometrik veriyi en çok timpanik membran etkileyecek, var olan diğer patolojiler ise ölçülen admitans değerine ne yazık ki pek yansıyamayacaktır. Ayrıca immitans ölçümleri ayırt etmeyi sağlayacak aralıklı değerler sağlamadığından normal orta kulakla patolojik orta kulağı ayırmak bile kimi zaman mümkün olmamaktadır. Bu kısıtlamalar ve eksikliklere rağmen timpanometri, otoskopi, saf ses odyometrisi ve akustik refleks ölçümleri ile beraber kullanıldığında orta kulak rahatsızlıklarının tespitinde etkilidir. Ayrıca saf ses odyometrisinin sağlamasını yapma imkanı verir (6).

### 2.5.2. Timpanometrik Ölçümler ve Timpanogram Çeşitleri

Timpanogramlar kullanılarak orta kulak ileti sisteminin bütünlüğü (kulak zarının durumu, kemikçikler sistemi), orta kulak basıncı, kulak kanalı veya orta kulak hacmi, östaki fonksiyonu ve stapes kası refleksi ile ilgili bilgiler elde edilebilir (7). Timpanogram milimho birimi (mmho) ile ifade edilen akustik admitansın yansıdığı

grafiktir. Bu grafikte akustik admitans, dış kulak yolundan probe marifeti ile +200 daPa ile -300 daPa arasında değiştirilen basınç düzeyleri esnasında kayıt edilen verileri gösterir. Timpanogramın tepe noktası normal orta kulaklarda 0 daPa ya da atmosfer basıncındadır ki bu da akustik enerji geçişinin en yüksek olduğu durumdur. Basınç pozitif ya da negatife doğru kaydıka timpanik membran ve orta kulak sistemi katılaşı. Katılama akustik admitansın düşmesi anlamına gelir, bu da daha fazla enerjinin dış kulak yoluna yansması demektir. Basıncın ileri derecede pozitif ve negatif değerler aldığı her iki durumda da dış kulak yolu katı, sert bir duvara dönüşür ve admitans en düşük seviyede kalır (59).

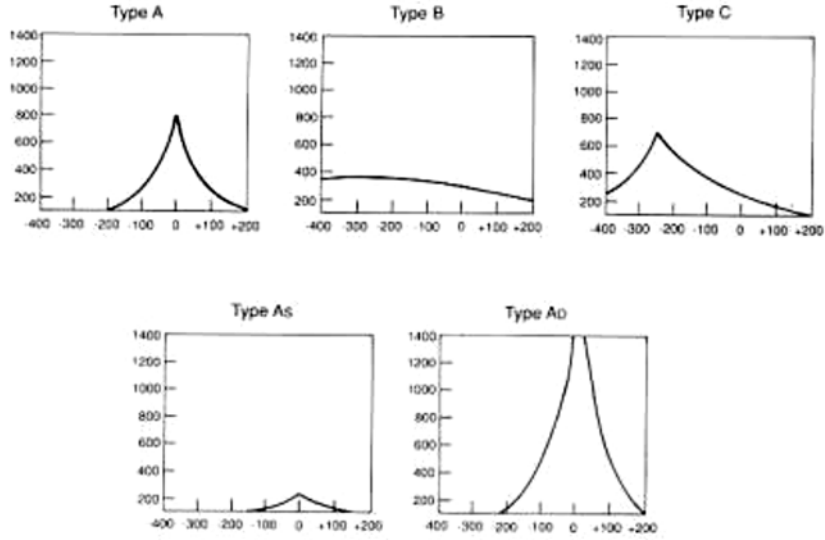
**Dış Kulak Yolu Hacmi:** Sadece orta kulak sisteminin admitansını elde edebilmek için öncelikle probe ucu ile timpanik membran arasında sıkışan havanın admitansı ölçülür ve toplam değerden çıkarılır.

**Tepe Noktası (Peak) Telafili Akustik Admitans:** Net orta kulak admitansı olarak da adlandırılabilir. Dış kulak yolundaki hava hacminin admitansının toplam admitans değerinden çıkarılmasıyla bulunan değerdir. Timpanogram değerinin yüksekliği bu değeri verir. Bazı orta kulak rahatsızlıkları, direkt olarak timpanogramın yüksekliği ile ilişkilidir. Oldukça güvenilir bir değerdir çünkü yükseklik ölçüsü hastanın ölçüm esnasındaki yutkunmasından ya da nefes örüntüsünden etkilenmez.

**Timpanogram Gradienti:** Timpanogramın şeklini belirleyen en önemli değerlerden biridir. Tepe noktasının dikliğini belirleyen açıdır. Bu değer daPa cinsinden elde edilir ve orta kulak admitansının tepe noktası ile ortalama değeri arasındaki farktır.

**Timpanogram Tepe Basıncı:** Timpanogramın tepe noktasının bulunduğu basınç seviyesidir. Normal kulaklarda -100 ila +50 daPa arasında değişkenlik göstermektedir. Östaki disfonksiyonu ve efüzyonlu otitlerde tepe basıncı negatif alana kaymaktadır (60).

**226-Hz Timpanogram Tipleri:** İlk kez Linden ve Jerger tarafından belirlenen ve en çok kullanılan beş temel tip (A,As,Ad,B,C) eğri mevcuttur (7) (Şekil 4).



**Şekil 4.** Timpanogram çeşitleri

**Tip A:** A tipi timpanogramın 3 alt tipi bulunmaktadır. Tip A timpanogramlar normal orta kulaklardan kayıt edilir. Tip A timpanogram 0 daPa basınçta normal yüksekliğe sahiptir. Tip As alçak tepe noktalıdır ve orta kulakta sıvı birikimi ya da kemikçik fiksasyonu olması halinde görülür. Tip Ad'nin ise tersine tepe noktası çok yüksektir. Bu tip timpanogram kemikçik kopukluğu ya da timpanik membran hasarlarında görülür (57).

**Tip B:** Tip B timpanogramın tepe noktası bulunmaz. Yatay düz bir çizgi şeklindedir. Orta kulak efüzyonu, timpan zar perforasyonu, serümen ile probun tıkanması, dış kulak yolunu tıkayan serümen, tüpün ağzının dış kulak yoluna dayanması gibi probun yerleştirilmesinde yanlışlık olduğu durumlarda tip B timpanogram elde edilir (61).

**Tip C:** Normal amplitüdü pik yapan ancak pik basıncının -50 daPa'dan düşük değerlerde gerçekleştiği timpanogram eğrisidir. Orta kulakta negatif basınç varlığında elde edilmektedir (61).

Jerger'in 1970 yılında sunduğu bu şekiller özellikle klinik ortamlarda geçerliliğini korumaktadır. Ancak bu analiz şekli sadece Y-226 Hz ile ölçüm yapan alçak frekans timpanometrisi için geçerlidir. Jerger (1970) tarafından 220 Hz probe ton için bildirilen bu üç timpanogram çeşidine (A,B ve C tipleri) ek olarak yüksek frekans

probe ton için iki ilave timpanometrik kalıp daha ortaya çıktı. D tipi ve E tipi olarak adlandırılan bu kalıplar birden fazla tepe noktalıdır (57).

**Tip D:** Tip D timpanogram “w” şeklindedir, timpanik membranın atrofik, skarlı ya da flasid olmasına işaret eder.

**Tip E:** Birden fazla ancak alçak tepe noktalarına sahiptir ve geniş, inişli çıkışlı tepe noktalarıyla karakterizedir. Jerger ve Northern (1970) tip E timpanogramın kemikçik zincir devamsızlığına işaret ettiğini ileri sürmüşlerdir (59).

Timpanometrideki yanlışlar hastaya, cihaza veya uygulayana bağlı olabilir. Öncelikle hastanın yutkunması veya hareket etmesi yanlış sonuçlar verebilir. Cihaza bağlı voltaj veya kalibrasyon bozukluğu olmaması gerekmektedir. En önemlisi uygulayana bağlı olan hatalardır. Bunun yanlış yerleştirilmesi, buşonun iyi temizlenmemesi, uygun protokolle yapılmaması ve test sırasındaki dikkatsiz kayıtlar (sağı/solu karıştırmak, refleksleri yanlış kaydetmek) sonuçları olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda, 10 frekanslı prob tone kullanabilen çoklu frekans timpanometriler geliştirilmiştir (61).

### 2.5.3. Çoklu Frekans Timpanometri Ve Rezonant Frekans Kavramı



**Şekil 5.** GSI (Grason-Stadler Inc.) Tympstar Middle Ear Analyzer Version 2

Klasik timpanometri sıklıkla 226 Hz probe tonla uygulanmaktadır. Ancak değişik frekanslarda probe ton uygulanması, özellikle orta kulak patolojilerinin tanısında yarar sağlamaktadır. Çoklu frekans timpanometri, 226 Hz ile 2000 Hz arasında değişik probe tonlar ile elde edilen timpanogramların analizini sağlayan bir yöntemdir. Yüksek frekanslı probe tonlar orta kulak sisteminin katılık etkisini artıran patolojilerde daha çok değer taşımaktadır. Bu anlamda otoskleroz, ossiküler zincirde parsiyel veya total ayrılma, orta kulak malformasyonları, primer kolestoatom, orta kulak tümörleri, osteogenesis imperfecta ve fibröz displazinin ayırıcı tanısında çoklu frekans timpanogramın ayırıcı tanı değeri daha da önem kazanmaktadır (1). Düşük prob ton frekansları kullanıldığında timpanogram daha çok orta kulak ve timpan zarının katılığı hakkında bilgi vermektedir (61). Çoklu frekans timpanometrenin daha avantajlı bir test olmasının sebebi orta kulak sisteminin admitansını ve admitansı belirleyen unsurları ayrı ayrı ölçmesi ve daha detaylı bilgi vermesidir. Klasik 220/226 Hz probe ton sinyal veren timpanometrinin ölçtüğü statik admitans, timpanometrik tepe basıncı, dış kulak yolu hacmi ve timpanometrik gradient parametrelerine ek olarak çoklu frekanslarda statik admitans ölçümü, Vanhuyse paterni, 45 derece faz açısında admitans değerlendirmesi ve orta kulağın rezonant frekansı bilgilerini de vermektedir (1).

Rezonant frekans çoklu frekans timpanometrenin sunduğu önemli parametrelerden biridir. İmmitans kavramından söz ederken değinildiği gibi admitans bir sistemin enerjiiyi iletme becerisidir ve iki unsuru bulunmaktadır. Kondüktans (sürtünme unsurundan geçiş kolaylığı) frekans değerinden bağımsız bir elemandır ve enerjinin kayba uğramadan sistemden geçişini ifade eder. Suseptans (B) ise admitansın alt unsuru olarak enerjinin komplians ve kütle elemanlarından geçiş kolaylığını ifade eder ve frekans değerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Suseptansın iki alt unsuru kütle suseptansı ve komplians suseptansının cebirsel toplamları toplam suseptansı verir. Rezonant frekans (RF) toplam suseptans (Bt) değerinin sıfıra eşit olduğu ve sistemin doğal frekansında titreştiği frekanstır. Bu frekansta direnç en düşük seviyededir çünkü kütle ve komplians unsurları aynı fazda hareket etmeye başlarlar. Direnci oluşturan tek unsur sürtünme unsurudur ve bu unsur frekanstan bağımsız olduğu için etkisini kaybetmez. Belli patolojilerin varlığında rezonant frekans değeri normal ve sağlıklı kulaklara kıyasla daha aşağı ya da yukarı değerler almaktadır (6,60).

Ayırıcı tanıdaki avantajlarına rağmen ne yazık ki çoklu frekans timpanometrinin kullanımı klinik uygulamada pek yaygınlaşmamıştır. Çoklu frekans timpanometri ölçümlerinin rutin test bataryasına dahil edilememesinin önemli bir sebebi ölçümlerin standart tek probe tonlu timpanometriye oranla daha karmaşık ve anlaması güç oluşudur. Ayrıca, standart sonuçların bulunmaması ve çoklu frekans timpanometrinin klinikteki kullanımında sağlayacağı yararlar üzerine yeterli araştırma olmaması da çoklu frekans timpanometrinin kliniklerde kullanımında engel oluşturmaktadır (6).

#### **2.5.4. Çoklu Frekans Timpanometrinin Çalışma Prensibi**

Öncelikle 226 Hz'lik prob ton kullanılarak timpanogram ve statik admittans kaydedilir. Timpanogram kaydı, hava basıncı +200 ile -400 daPa arasında 200 daPa /saniye oranında değiştirilerek yapılır. Daha sonra orta kulağın rezonans frekansı, prob tonu 250 Hz ile 2000 Hz arasında 50 Hz'lik basamaklar şeklinde taranarak ve kulak kanalına +200 daPa basınç uygulanılarak araştırılır. Bu ölçümler sırasında saptanan faz açısı ölçümleri hafızaya kaydedilir. İkinci bir prob ton ise timpanometrinin tepe değerindeki basınç kulak kanalına uygulanılarak verilir. Her iki ölçüm arasındaki veri farkları frekansiyel fonksiyonlu bir grafikte değerlendirilir. Düşük frekanslarda timpanometride tek tepe noktası izlenmektedir. Ters bir şekilde, yüksek frekans prob tonlu timpanogramlar çok sayıda tepe noktaları içerir.

Normal orta kulakta sesin gazdan önce katıya, daha sonra sıvıya transferi akustik admittans kuralları ile ayarlanmaktadır (62,63). Akustik immitans ( $Y_a$ ), akustik empedansın ( $Z$ ) tersi olarak tanımlanmaktadır.

Akustik immitans aşağıdaki formül ile açıklanmaktadır.

$Y=1/[c+j(2_{fm}-k/2_f)]$ . Bu formülde  $m$ : orta kulak kütlelerini,  $k$ : kemikçik ve timpanik membran ligamentlerinin sertliği,  $2_{fm}$ : kütle susseptansı,  $k/2_f$ : komplians veya sertlik susseptansı ve  $c$ : kondüktans. Açıktır ki sesin frekansı arttıkça sistem daha çok kütlelen etkilenmektedir. Frekans azaldıkça sistem daha çok komplianstan etkilenmektedir.



$Y=1/c$  olana tek bir frekans vardır ve bu frekansta total suseptans 0'dır. Bu  $f$  değeri rezonant frekansı olarak tanımlanmaktadır. Sonuçta kondüktanstan bağımsız olarak yüksek rezonant frekansı olan sistemler yüksek sertliği olan sistemlerdir ve düşük rezonans frekansı olan sistemler de yüksek kütleli sistemlerdir (64). Kütle etkisi altındaki orta kulaklara örnek kolesteatoma veya kemikçik zincir ayrılması ve sertlik etkisi altındaki kulaklara da otoskleroz ve timpanoskleroz örnek olarak verilebilir.

Vanhuysse, Creten ve Van Camp (1975) değişik frekanslarda timpanometrileri incelemiş ve susseptans (B) ve kondüktans (G) timpanogramlarının değişik frekanslardaki modellerini belirlemişlerdir (65). 1B1G paterninde orta kulak kompliansının etkisi altındadır. Admittans faz açısı 45 ile 90 derece arasındadır. Standart düşük frekans timpanometri 1B1G paternindedir. 3B1G paternindeki susseptans eğrisi, 3 tepe noktası içerir. Faz açısı 0 ile 45 derece arasındadır. 3B3G paterninde faz açısı -45 ile 0 derece arasındadır ve hem susseptans, hem kondüktans timpanogramları 3 tepe noktası içerir. 5B3G paterninde faz açısı -90 ve -45 derecelar arasındadır ve susseptans eğrisi 5 tepe noktası içerir. Orta kulağı ilgilendiren patolojilerde Vanhuysse paternlerinin görüldüğü frekanslar değişmektedir. Örneğin otoskleroz gibi rezonant frekansını arttıran durumlarda Vanhuysse eğrileri daha yüksek frekanslarda görülecektir. Vanhuysse paternleri kullanılarak rezonant frekansı da hesaplanabilir. 3B3G modelinde B timpanogramdaki orta çentik pozitif veya negatif kuyruğa eşit olduğunda toplam susseptans değeri 0'dır ve orta kulak rezonant frekansındadır denir (66).

Ortalama 630 Hz (500-700) frekansta admittans faz açısı 45 derecededir ve son zamanlarda otosklerotik kulakların normal kulaklardan ayırt edilmesinde tek başına en etkin parametre olduğunu destekleyen yayınlar mevcuttur (66). Otosklerozdaki sponjioz kemik oluşumu timpano-ossiküler sistemde sertliğin artmasına neden olmaktadır. Bu da susseptansın komplians parçasının artması anlamına gelmektedir (3).

### 3. BİREYLER VE YÖNTEM

Bu araştırma, Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu tarafından onaylanmış (Proje no:KA13/258) ve Başkent Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir. Çalışma, Başkent Üniversitesi Kulak-Burun-Boğaz Anabilim Dalı Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Ünitesinde Sivil Havacılık Kanunu gereği yapılan muayenelerden geçen uçucu ve uçucu adaylarından seçilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma kriterlerimize uyan 140 birey değerlendirilmiş ve çalışmaya dahil edilmiştir.

İki çalışma grubu ve bir kontrol grubu olmak üzere toplam 3 grup belirlenmiş ve bu gruplara belirli kriterlere göre bireyler dahil edilmiştir. Çalışma grubu 20-55 yaş arasında 96 uçucu(192 kulak) tarafından oluşturulmuştur. Kontrol grubu ise 20-55 yaş arasında 44 uçucu adayı(88 kulak) tarafından oluşturulmuştur.

Çalışma grubunu oluşturan 96 bireyin çalışmaya dahil edilmesinde aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Yapılan otoskopik muayenede herhangi bir dış kulak yolu ve/veya timpanik membran patolojisinin bulunmamış olması,
  1. Çalışma grubuna dahil olacak bireylerin 200-3000 saat arası uçmuş olmaları
  2. Çalışma grubuna dahil olacak bireylerin 3000-10000 saat arası uçmuş olmaları
- Daha önceden işitme eşiklerini kalıcı olarak etkileyecek bir kulak burun boğaz problemi geçirmemiş olmaları aranan şartlar olmuştur.

Kontrol grubunu oluşturan bireylerin ise uçucu adayı olup henüz uçmamış olmaları ve işitme eşiklerini kalıcı olarak etkileyecek bir kulak burun boğaz problemi geçirmemiş olmaları aranan şartlar olmuştur.

Çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayandığından katılımcılardan öncelikle, “Gönüllü Denek Bilgilendirme ve Onay Formu” nu doldurmaları ve imzalamaları istenmiştir.

Katılımcılara öncelikle bir KBB uzmanı tarafından otoskopik muayene yapılmıştır. Bu muayenede kulak zarında skar, perforasyon ya da herhangi bir patoloji tespit edilenler çalışma dışında bırakılmışlardır.

Bir sonraki aşamada saf ses odyometrisi uygulanarak katılımcıların işitme eşikleri tespit edilmiştir. Saf ses odyometrisi değerlendirmeleri Industrial Acoustics Company (IAC) standardındaki sessiz odalarda Interacoustics AC-40 klinik odyometre ile yapılmıştır. Konuşmayı anlama eşiği testi, kliniğimizde kullanılan üç heceli kelime listeleri ile konuşmayı ayırt etme testi ise tek heceli fonetik dengeli kelime listeleri (FD-300) kullanılarak yapılmıştır. Saf ses eşikleri her yaş grubuna göre OSHA'nın belirlediği F-1 ve F-2 yaşa bağlı işitme eşikleri tablosuna göre değerlendirilmiştir.

Tüm bireylerin immitansmetrik ölçümleri Grason Stadler (GSI) Tymptar Version 2 elektroakustik immitansmetre kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle 226 Hz'lik prob ton kullanılarak timpanogram ve statik admitans kaydedilmiştir. Timpanogram kaydı, hava basıncı +200 ile -400 daPa arasında 200 daPa /saniye oranında değiştirilerek kaydedilmiştir. Daha sonra çoklu frekans timpanometri ölçümüne geçilmiştir. Cihaz, çoklu frekans timpanometri ölçümünü iki aşamada yapmaktadır. Öncelikle, sabit frekansta probe ton vererek +200 ile -400 daPa arasında basınç değişikliği yaparak SA, TTB ve gradient değeri gibi standart timpanometri parametrelerini araştırmakta ve timpanograma yansıtılmaktadır. İkinci aşamada basınç sabit düzeyde tutularak katılımcıların her iki kulağına 250-2000Hz frekans aralığında ardışık olarak ve 50 Hz aralıklarla uyarın verilerek orta kulak rezonant frekans değerleri tespit edilmiş ve diğer immitansmetrik değerlerle beraber çıktıları kayıt altına alınmıştır.

Çalışmaya dahil olan bireyler yaş, vücut kitle indeksi, uçuş saati, saf ses eşikleri, timpanometrik değerleri ve çoklu frekans timpanometrik değerleri yönünden incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Öncelikle sürekli değerlerin tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir. Tanıtıcı istatistikler gösterilirken (ort±std.sapma) ve Frekans (Yüzde %) olarak belirtilmiştir.

Değişkenler normallik, varyansların homojenliği ön şartlarının kontrolü yapıldıktan sonra (Shapiro Wilk ve Levene Testi) değerlendirilmiştir. Veri analizi yapılırken, iki grup karşılaştırması için Bağımsız 2 grup t testi (Student's t test), önşartlar sağlamadığında ise Mann Whitney-U testi kullanılmıştır. Üç ve daha fazla grup karşılaştırması için Tek Yönlü Varyans Analizi ve çoklu karşılaştırma testlerinden Tukey HSD testi ile sağlanmadığında ise Kruskal Wallis ve çoklu karşılaştırma testlerinden Bonferroni-Dunn testi kullanılmıştır. İki kategorik değişken arasındaki ilişkileri belirlemek için "Ki-Kare Testi" kullanıldı. Beklenen gözelerin % 25'den küçük olduğu durumlarda bu gözelerin analize dahil edilmesi için "Monte Carlo Simulasyon Yöntemi" ile değerler belirlenmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi  $p < 0.05$  olarak kabul edilmiştir. Elde edilen veriler, sosyal bilimler için hazırlanmış istatistik programı (SPSS) (Version 17, Chicago IL, USA) kullanılarak analiz edilmiştir.

## 4. BULGULAR

Bu çalışmada uçucu ve uçucu adaylarının çoklu frekans timpanometri değerleri karşılaştırılmıştır. Uçucu adayı olarak 44 birey çalışmaya alınmıştır. Uçucular ise 200-3000 saat uçuş yapanlar ve 3000-10000 saat uçuş yapanlar olmak üzere iki grup olarak ele alınmıştır. 200-3000 saat uçuş yapan 51 birey ve 3000-10000 saat uçuş yapan 45 birey çalışmaya alınmıştır. Toplam 140 birey değerlendirilmiştir. Her birey için yaş, vücut kitle indeksi, saf ses eşikleri, akustik refleksleri, timpanometri ve çoklu frekans timpanometri değerleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Aşağıda verilen tablo1’de grupların yaş aralıkları gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Grupların yaş dağılımı

gruplar	mean	N	Std. Deviation	Median	Minimum	Maximum	p
Uçucu adayları	22,6818	44	4,61934	21,0000	19,00	36,00	
200-3000 saat uçuş yapanlar	31,4314	51	5,96072	32,0000	21,00	49,00	
3000-10000 saat uçuş yapanlar	40,3636	45	6,25464	41,0000	28,00	52,00	
Toplam	31,4892	140	9,03084	32,0000	19,00	52,00	**0,001

\*p<0,05, \*\*p<0,001

Tablo 1’de görüldüğü gibi gruplar arasında yaş dağılımı açısından farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı saptanmıştır.

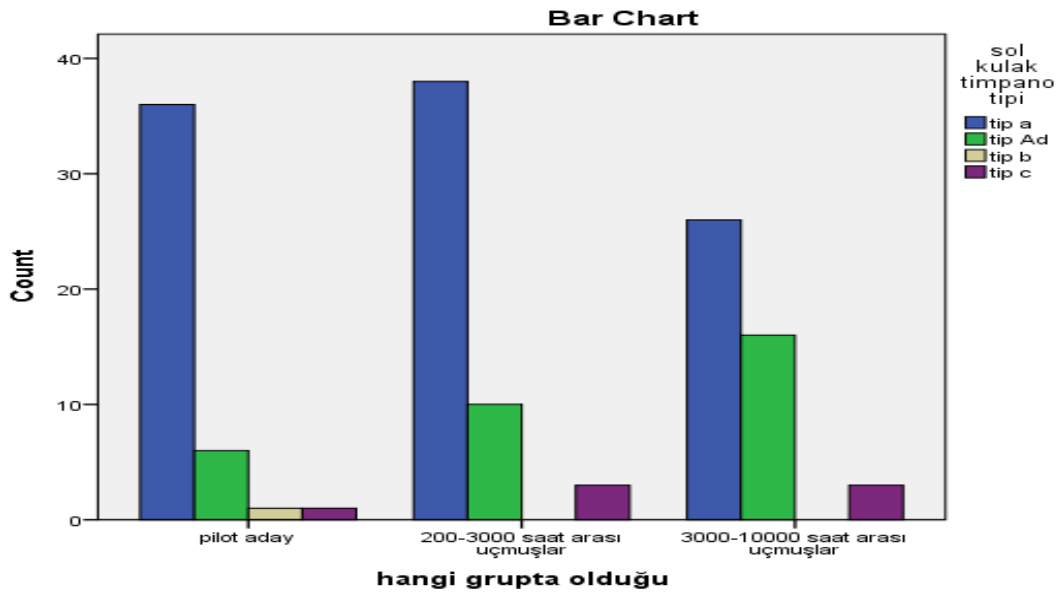
Aşağıda verilen tablo2’de grupların vücut kitle indeksleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Gruplar arası vücut kitle indeks değerleri

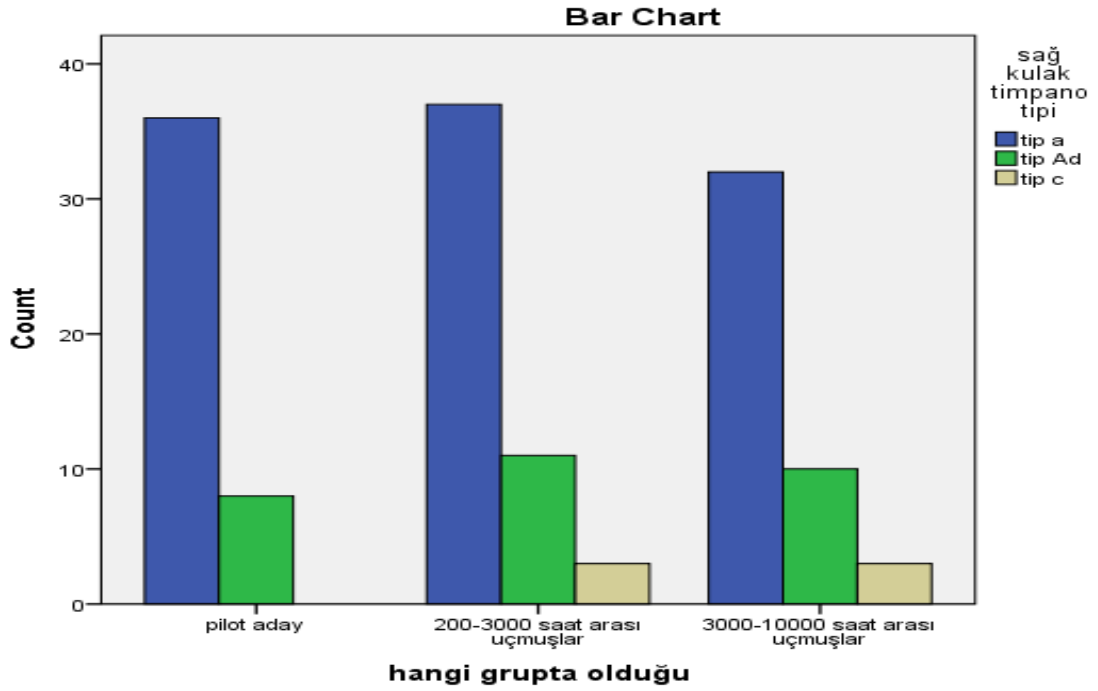
gruplar	mean	N	Std. Deviation	Median	Minimum	Maximum	p
Uçucu adayları	23,1909	44	2,90963	22,8000	17,80	31,30	
200-3000 saat uçuş yapanlar	24,4245	51	3,94847	24,5000	21,00	29,60	
3000-10000 saat uçuş yapanlar	25,2718	45	2,82866	24,9000	20,10	32,56	
toplam	24,3091	140	3,38534	24,5000	17,80	32,56	*0,013

Tablo 2’de görüldüğü gibi gruplar arasında vücut kitle indeksi açısından farklılıklar vardır. Bu farklılıklar birbirine benzer olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı saptanmıştır.

Aşağıda verilen şekil 6 ve şekil 7’de grupların sol ve sağ kulak timpanometrik bulgularının dağılımı gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Grupların sol kulak timpanogram dağılımı



**Şekil 7.** Grupların sağ kulak timpanogram dağılımları

Şekil 5’te görüldüğü gibi her grupta en sık Tip A timpanogram elde edilmiştir. Gruplar kendi aralarında kıyaslandığında sol kulak için uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları arasında istatistiksel anlamlı fark yoktur. 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları arasında da istatistiksel fark yoktur ancak uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak timpanometrik bulguları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark mevcuttur. Grupların sağ kulak timpanogramları grafik 2’de gösterilmiştir. Gruplar kendi aralarında kıyaslandığında sağ kulak için uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları arasında istatistiksel anlamlı fark yoktur. Bu bulgularda aşağıda verilen tablo 3,4 ve 5’te ayrıntılı olarak görülmektedir.

**Tablo 3.** Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları

Uçucu aday ve 200-3000 saat uçuş yapanların timpano tipleri													
			Tip A		Tip Ad		Tip B		Tip C		toplam	P değeri	
			sol	sağ	sol	sağ	sol	sağ	sol	sağ		sol	sağ
Hangi grupta olduğu	Uçucu adayları	Sayı (n)	36	36	6	8	1	0	1	0	44	0,508	0,258
		%hangi grupta olduğu	81,8%	81,8%	13,6%	18,2%	2,3%	0,0%	2,3%	0,0%	100%		
	200-3000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	38	37	10	11	0	0	3	3	51		
		%hangi grupta olduğu	74,5%	72,5%	19,6%	21,6%	0,0%	0,0%	5,9%	5,9%	100%		
toplam		Sayı (n)	74	73	16	19	1	0	4	3	95		
		%hangi grupta olduğu	77,9%	76,8%	16,8%	20,0 %	1,1 %	0,0 %	4,2 %	3,2 %	100%		

**Tablo 4.** Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları

Uçucu aday ve 3000-10000 saat uçuş yapanların timpano tipleri													
			Tip A		Tip Ad		Tip B		Tip C		toplam	P değeri	
			sol	sağ	sol	sağ	sol	sağ	sol	sağ		sol	sağ
Hangi grupta olduğu	Uçucu adayları	Sayı (n)	36	36	6	8	1	0	1	0	44	*0,022	0,258
		%hangi grupta olduğu	81,8%	81,8%	13,6%	18,2%	2,3%	0,0%	2,3%	0,0%	100%		
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	26	32	16	10	0	0	3	3	45		
		%hangi grupta olduğu	57,8%	71,1%	35,6%	22,2%	0,0%	0,0%	6,7%	6,7%	100%		
toplam		Sayı (n)	62	68	22	18	1	0	4	3	89		
		%hangi grupta olduğu	69,7%	76,4%	24,7%	20,2 %	1,1 %	0,0 %	4,5 %	3,4 %	100%		



**Tablo 5.** 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların timpanometrik bulguları

200-3000 saat ve 3000-10000 saat uçuş yapanların timpano tipleri											
			Tip A		Tip Ad		Tip C		Toplam	P değeri	
			sol	sağ	sol	sağ	sol	sağ		sol	sağ
Hangi grupta olduğu	200-3000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	38	37	10	11	3	3	51	0,195	0,983
		%hangi grupta olduğu	74,5%	72,5%	19,6%	21,6%	5,9%	5,9%	100%		
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	26	32	16	10	3	3	45		
		%hangi grupta olduğu	57,8%	71,1%	35,6%	22,2%	6,7%	6,7%	100%		
Toplam		Sayı (n)	64	69	26	21	6	6	96		
		%hangi grupta olduğu	66,7%	71,9%	27,1%	21,9%	6,2%	6,2%	100%		

Grupların timpanometrik incelemelerinde bakılan sağ ve sol kulak akustik reflekslerinde gruplar arası istatistiksel anlamlı fark saptanmamıştır. Sol ve sağ kulak için her grubun birbiriyle kıyaslanmasından elde edilen bulgular aşağıda verilen tablo 6,7 ve 8’de ayrıntılı olarak görülmektedir.

**Tablo 6.** Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların akustik refleks bulguları

Uçucu aday ve 200-3000 saat uçuş yapanların akustik refleksleri									
			Refleks var		Refleks yok		Toplam	P değeri	
			sol	sağ	sol	sağ		sol	sağ
Hangi grupta olduğu	uçucu adayları	Sayı (n)	43	43	1	1	44	0,463	0,463
		%hangi grupta olduğu	97,7%	97,7%	2,3%	0,0%	100%		
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	51	51	0	0	51		
		%hangi grupta olduğu	100%	100%	0,0%	0,0%	100%		
Toplam		Sayı (n)	94	94	1	1	95		
		%hangi grupta olduğu	98,9%	98,9%	1,1%	1,1%	100%		

**Tablo 7.** Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapmış uçucuların akustik refleks bulguları

Uçucu aday ve 3000-10000 saat uçuş yapanların akustik refleksleri									
			Refleks var		Refleks yok		toplam	P değeri	
			sol	sağ	sol	sağ		sol	sağ
Hangi grupta olduğu	Uçucu adayları	Sayı (n)	43	43	1	1	44	0,203	0,504
		%hangi grupta olduğu	97,7%	100%	2,3%	0,0%	100%		
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	40	43	5	2	45		
		%hangi grupta olduğu	88,9%	95,6%	11,1%	4,4%	100%		
Toplam		Sayı (n)	83	86	6	3	96		
		%hangi grupta olduğu	93,3%	96,6%	6,7%	3,4%	100%		

**Tablo 8.** 200-3000 ile 3000-10000 saat uçuş yapmış uçucuların akustik refleks bulguları

200-3000 saat ve 3000-10000 saat uçuş yapanların akustik refleksleri									
			Refleks var		Refleks yok		toplam	P değeri	
			sol	sağ	sol	sağ		sol	sağ
Hangi grupta olduğu	200-3000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	51	51	0	0	51	*0,02	0,217
		%hangi grupta olduğu	100%	100%	0,0%	0,0%	100%		
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (n)	40	43	5	2	45		
		%hangi grupta olduğu	88,9%	95,6%	11,1%	4,4%	100%		
Toplam		Sayı (n)	91	94	5	2	96		
		%hangi grupta olduğu	94,8%	97,9%	5,2%	2,1%	100%		

Bu çalışmada uçucu adayları, 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçuculara rutin odyolojik tetkik yapılmıştır. Her gruba yapılan odyolojik tetkikte 250 Hz'den başlanarak 8 kHz'e kadar olan frekanslarda hava yolu işitme eşiklerine bakılmıştır. Testi yapan kişiye bağlı olan değişiklikleri önlemek için tüm gruplara aynı araştırmacı tarafından testler yapılmıştır. Odyolojik tetkiklerin sonucuna göre uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulaklarında 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 6 kHz ve 8 kHz'de istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Ancak 3 kHz ve 4 kHz'de 200-3000 saat uçuş yapan uçucularda istatistiksel anlamlı derece düşüklük saptanmıştır. Aşağıda verilen tablo 9 bu iki grup arasında sol kulakta istatistiksel olarak anlamlı saptanan ve saptanmayan tüm frekanslardaki odyolojik bulguları göstermektedir.

**Tablo 9.** Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapmış uçucuların sol kulak tüm frekanslardaki odyolojik bulguları

Sol kulak frekans	Hangi grupta olduğu	Normal	Kayıp var	Total	P değeri
250 Hz	Uçucu adayları	30	14	44	0,828
	200-3000 saat uçuş yapanlar	33	18	51	
500 Hz	Uçucu adayları	31	13	44	1,00
	200-3000 saat uçuş yapanlar	36	15	51	
1000 Hz	Uçucu adayları	36	8	44	1,00
	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	
2000 Hz	Uçucu adayları	37	7	44	1,00
	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	
3000 Hz	Uçucu adayları	40	4	44	*0,017
	200-3000 saat uçuş yapanlar	40	11	51	
4000 Hz	Uçucu adayları	39	5	44	*0,043
	200-3000 saat uçuş yapanlar	36	15	51	
6000 Hz	Uçucu adayları	30	14	44	0,294
	200-3000 saat uçuş yapanlar	29	22	51	
8000 Hz	Uçucu adayları	41	3	44	0,331
	200-3000 saat uçuş yapanlar	44	7	51	

Odyolojik tetkiklerin sonucuna göre uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulaklarında 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 6 kHz ve 8 kHz’de istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Ancak 4 kHz’de 200-3000 saat uçuş yapan uçucularda istatistiksel anlamlı derece düşüklük saptanmıştır. Aşağıda verilen tablo 10 bu iki grup arasında sağ kulakta istatistiksel olarak anlamlı saptanan ve saptanmayan tüm frekanslardaki odyolojik bulguları göstermektedir.

**Tablo 10.** Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak tüm frekanslardaki odyolojik bulguları

Sağ kulak frekans	Hangi grupta olduğu	Normal	Kayıp var	Total	P değeri
250 Hz	Uçucu adayları	25	19	44	0,084
	200-3000 saat uçuş yapanlar	38	13	51	
500 Hz	Uçucu adayları	33	11	44	0,819
	200-3000 saat uçuş yapanlar	37	14	51	
1000 Hz	Uçucu adayları	37	7	44	0,790
	200-3000 saat uçuş yapanlar	41	10	51	
2000 Hz	Uçucu adayları	36	8	44	1,00
	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	
3000 Hz	Uçucu adayları	42	2	44	0,170
	200-3000 saat uçuş yapanlar	44	7	51	
4000 Hz	Uçucu adayları	40	4	44	*0,034
	200-3000 saat uçuş yapanlar	37	14	51	
6000 Hz	Uçucu adayları	28	16	44	0,834
	200-3000 saat uçuş yapanlar	31	20	51	
8000 Hz	Uçucu adayları	39	5	44	0,563
	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	

Odyolojik tetkiklerin sonucuna göre uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ ve sol kulaklarında tüm frekanslarda istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır. Sol kulak sonuçları tablo 11, sağ kulak sonuçları tablo 12’de gösterilmiştir.

**Tablo 11.** Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları

Sol kulak frekans	Hangi grupta olduğu	Normal	Kayıp var	Total	P değeri
250 Hz	Uçucu adayları	30	14	44	*0,003
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	16	29	45	
500 Hz	Uçucu adayları	31	13	44	*0,003
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	17	28	45	
1000 Hz	Uçucu adayları	36	8	44	*0,003
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	23	22	45	
2000 Hz	Uçucu adayları	37	7	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	18	27	45	
3000 Hz	Uçucu adayları	40	4	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	20	25	45	
4000 Hz	Uçucu adayları	39	5	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	21	24	45	
6000 Hz	Uçucu adayları	30	14	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	13	32	45	
8000 Hz	Uçucu adayları	41	3	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	24	21	45	

**Tablo 12.** Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları

Sağ kulak frekans	Hangi grupta olduğu	Normal	Kayıp var	Total	P değeri
250 Hz	Uçucu adayları	25	19	44	*0,036
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	16	29	45	
500 Hz	Uçucu adayları	33	11	44	*0,002
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	19	26	45	
1000 Hz	Uçucu adayları	37	7	44	*0,031
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	28	17	45	
2000 Hz	Uçucu adayları	36	8	44	*0,003
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	23	22	45	
3000 Hz	Uçucu adayları	42	2	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	24	21	45	
4000 Hz	Uçucu adayları	40	4	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	25	20	45	
6000 Hz	Uçucu adayları	28	16	44	*0,011
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	16	29	45	
8000 Hz	Uçucu adayları	39	5	44	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	22	23	45	

Odyolojik tetkiklerin sonucuna göre 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulaklarında 500 Hz dışındaki tüm frekanslarda istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır. Sağ kulaklarında ise 4 kHz dışındaki tüm frekanslarda istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır. Sol kulak değerleri tablo 13, sağ kulak değerleri tablo 14’de gösterilmiştir.

**Tablo 13.** 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları

Sol kulak frekans	Hangi grupta olduğu	Normal	Kayıp var	Total	P değeri
250 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	33	18	51	*0,008
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	16	29	45	
500 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	36	15	51	0,068
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	19	26	45	
1000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	*0,002
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	23	22	45	
2000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	18	27	45	
3000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	40	11	51	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	20	25	45	
4000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	36	15	51	*0,022
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	21	24	45	
6000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	29	22	51	*0,007
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	13	32	45	
8000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	44	7	51	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	24	21	45	

**Tablo 14.** 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak tüm frekanslara ait odyolojik bulguları

Sağ kulak frekans	Hangi grupta olduğu	normal	Kayıp var	total	P değeri
250 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	38	13	51	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	16	29	45	
500 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	37	14	51	*0,04
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	19	26	45	
1000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	41	10	51	*0,03
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	28	17	45	
2000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	*0,02
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	23	22	45	
3000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	44	7	51	*0,01
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	24	21	45	
4000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	37	14	51	0,092
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	25	20	45	
6000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	31	20	51	*0,015
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	16	29	45	
8000 Hz	200-3000 saat uçuş yapanlar	42	9	51	*0,001
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	22	23	45	



Toplam 140 bireyle yapılan çalışmamızda her grup kendi arasında çoklu frekans timpanometri bulgularıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucular karşılaştırıldığında 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların her iki kulağında çoklu frekans timpanometri değerleri daha düşük saptanmış ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Aynı şekilde uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucular karşılaştırıldığında 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların her iki kulağında çoklu frekans timpanometri değerleri daha düşük saptanmış ve bu fark da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucular kendi aralarında karşılaştırıldığında çoklu frekans timpanometri bulguları her iki kulaklarında birbirlerine yakın saptanmış ve aralarındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 15 ve 16 grupların çoklu frekans değerlerini göstermektedir.

**Tablo 15.** Grupların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

Gruplar	Mean	N	Std. Deviation	Median	Minimum	Maximum
Uçucu adayları	862,50	44	104,06002	850,000	700,00	1150,00
200-3000 saat uçuş yapanlar	605,8824	51	104,71249	600,000	400,00	900,00
3000-10000 saat uçuş yapanlar	547,7778	45	108,68823	500,00	350,00	850,00

**Tablo 16.** Grupların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

Gruplar	Mean	N	Std. Deviation	Median	Minimum	Maximum
Uçucu adayları	882,9545	44	162,08782	850,000	700,00	1800,00
200-3000 saat uçuş yapanlar	609,2157	51	122,42292	600,000	260,00	850,00
3000-10000 saat uçuş yapanlar	606,6667	45	230,75962	550,00	350,00	1900,00

Gruplar arası sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri aşağıda verilen tablo 17,18 ve 19’da, sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri ise tablo 20,21 ve 22’de verilmiştir.

**Tablo 17.** Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

			Sol çoklu frekans timpanometri		toplam	P değeri
			0-758,4	758,4+		
Hangi grupta olduğu	Uçucu adayları	Sayı (N)	27	17	44	*0,001
		% hangi grupta olduğu	61,4%	38,6%	100,0%	
	200-3000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	50	1	51	
		% hangi grupta olduğu	98,0%	2,0%	100,0%	
Toplam		Sayı (N)	77	18	95	
		% hangi grupta olduğu	81,1%	18,9%	100,0%	

**Tablo 18.** Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

			Sağ çoklu frekans timpanometri		Toplam	P değeri
			0-720,8	720,8+		
Hangi grupta olduğu	Uçucu adayları	Sayı (N)	25	19	44	*0,001
		% hangi grupta olduğu	56,8%	43,2%	100,0%	
	200-3000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	51	0	51	
		% hangi grupta olduğu	100%	0,0%	100,0%	
Toplam		Sayı (N)	76	19	95	
		% hangi grupta olduğu	80,0%	20,0%	100,0%	

**Tablo 19.** Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

			Sol çoklu frekans timpanometri		Toplam	P değeri
			0-758,4	758,4+		
Hangi grupta olduğu	Uçucu adayları	Sayı (N)	27	17	44	*0,001
		% hangi grupta olduğu	61,4%	38,6%	100,0%	
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	45	0	45	
		% hangi grupta olduğu	100%	0,0%	100,0%	
Toplam		Sayı (N)	72	17	89	
		% hangi grupta olduğu	80,9%	19,1%	100,0%	

**Tablo 20.** Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

			Sağ çoklu frekans timpanometri		Toplam	P değeri
			0-720,8	720,8+		
Hangi grupta olduğu	Uçucu adayları	Sayı (N)	25	19	44	*0,001
		% hangi grupta olduğu	56,8%	43,2%	100,0%	
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	43	2	45	
		% hangi grupta olduğu	95,6%	4,4%	100,0%	
Toplam		Sayı (N)	68	21	89	
		% hangi grupta olduğu	76,4%	23,6%	100,0%	

**Tablo 21.** 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

			Sol çoklu frekans timpanometri		Toplam	P değeri
			0-758,4	758,4+		
Hangi grupta olduğu	200-3000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	50	1	51	0,517
		% hangi grupta olduğu	98%	2%	100,0%	
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	45	0	45	
		% hangi grupta olduğu	100%	0,0%	100,0%	
Toplam		Sayı (N)	95	1	96	
		% hangi grupta olduğu	99,0%	1,0%	100,0%	

**Tablo 22.** 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri

			Sağ çoklu frekans timpanometri		Toplam	P değeri
			0-720,8	720,8+		
Hangi grupta olduğu	200-3000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	51	0	51	0,217
		% hangi grupta olduğu	100%	0,0%	100,0%	
	3000-10000 saat uçuş yapanlar	Sayı (N)	43	2	45	
		% hangi grupta olduğu	95,6%	4,4%	100,0%	
Toplam		Sayı (N)	94	2	96	
		% hangi grupta olduğu	97,9%	2,1%	100,0%	

## 5. TARTIŞMA

Barotravma uçuşlarda yaşanan en yaygın tıbbi sorundur ve en sıradan havacılık kazası olarak görülmektedir. Görülme sıklığı %8-17 arasında değişmektedir (67). İlk tanımlamayı 1783 yılında Fransız fizikçi J A C Charles hidrojen balonuyla ilk uçan kişi olarak alçalış sırasında sağ kulağındaki ağrı hissiyle yapmıştır. İkinci dünya savaşı sonrasında savaş uçaklarının yetersiz teknolojiye sahip olmasından dolayı barotravma çok sık rastlanılan bir durum haline gelmiştir. Tedavi bütçelerinin artması nedeniyle üzerinde durulan bir durum olmuştur (68).

Günümüzde de gelişen kabin teknolojilerine rağmen barotravmalar yaşanmaktadır. Klokker ve ark yaptığı çalışmada profesyonel hava yolu pilotlarının 10'undan 8'inin barotravma belirtilerini kariyerleri boyunca bir ya da daha fazla yaşadıklarını göstermiştir (69).

Barotravmaya bağlı en sık görülen şikayetler arasında kulak ağrısı, kulakta dolgunluk hissi, çınlama ve işitme azalması yer almaktadır. Uçuş sonrasında kişilere kulak problemleri sorulduğunda çocukların %65 ve yetişkinlerin %46'sı kulaklarında ağrı ve rahatsızlık hissinden yakınmışlardır (70). Akut üst solunum yolu enfeksiyonu olanlarda veya yeni geçirmiş olanlarda bu semptomlar daha sıklıkta meydana gelmektedir. Bunun da asıl sebebi orta kulak ile nazofarinks birbirine birleştiren ve dış ortam ile orta kulak arasında basıncı dengeleyen östaki borusunun disfonksiyonudur. Rosenkvist ve ark Danimarkadaki pilotların yaşadıkları barotravmaların insidansını ve üst solunum yolu enfeksiyonunun etkisini araştırmış ve çoğu pilotun yılda 2-3 defa üst solunum yolu enfeksiyonu geçirdikleri ve %37'sinin bir yada daha fazla barotravma yaşadığını göstermiştir (53). Bunun dışında östaki disfonksiyonuna yol açan diğer nedenler arasında nazal septal deviasyon, üst solunum yolu enfeksiyonu (ÜSYE) ve alerji nedeniyle oluşan nazal mukozal konjesyon, nazal polipler, otitis media, adenoid vejetasyon veya diğer nedenlerle oluşan burun veya nazofarenks tıkanıklığı yer alır (51).

Orta kulağın hava hacmi kişiden kişiye değişmekle birlikte ortalama 5-10ml kadardır. Uçuş sırasında yükselişte atmosfer basıncı düşeceği için orta kulaktaki hava

miktarı artar ve kulak zarı buna bağlı dışarı doğru hareket eder. Östaki borusunun fizyolojik yapısı nedeniyle genişleyen havanın fazla miktarı pasif olarak dışarı çıkar ve orta kulak basıncı ile atmosfer basıncı eşitlenir. Kişi bu durumdan fazla bir rahatsızlık duymaz. Ancak inişe geçildiği zaman atmosfer basıncı yükseldiğinden orta kulaktaki hava miktarı azalır. Östaki borusundan pasif olarak hava geçemeyeceği için yutkunma, esneme ve valsalva manevrası ile faringeal kaslar kasılarak normal şartlarda kapalı duran östaki borusu açılır ve orta kulağa hava geçişi sağlanarak orta kulak ile atmosfer basıncı birbirine eşitlenebilir. Sağlıklı kişilerde bu sonuç beklenirken daha önce bahsedildiği gibi östaki disfonksiyonu mevcutsa orta kulakta oluşan negatif basınca bağlı kulak zarının retrakte olması ile barotravma gelişir. Buna bağlı olarak da kulak ağrısı, kulakta dolgunluk hissi, çınlama, işitme azlığı ortaya çıkabilir. Eğer bu travmanın süresi ve şiddeti artarsa kulak zarında yerleşen damarlardaki kanamaya bağlı olarak hematimpanum, kulak zarı perforasyonu, kemikçik zinciri dislokasyonu ve buna bağlı ileri derecede işitme kaybı, orta kulak mukozasındaki ödemlenmeye ve transuda şeklinde sıvı birikimine bağlı aerotitis media gibi ciddi komplikasyonlar da ortaya çıkabilir. Buchanan ve ark yaptığı çalışmada tek bir uçuş sonrasında sağlıklı 50 çocuktan 13'ünün kulağında rahatsızlık hissi olduğunu, bunların %15'inin yükseliş sırasında, %85'inin ise alçalış sırasında yaşandığını göstermiştir (71).

Jason ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada savaş bölgesinde zayıf uçuş ekipmanlarına sahip ÜSYE ve kulak bloğu yaşayan bir pilot bu şekilde toplam 1294 saat uçuş sonrasında sol kulak timpanik membran perforasyonu geliştiğini ve bu pilotun çocukluk döneminde de aynı kulakta otitis media problemi yaşadığını belirtmişlerdir (72). Bu çalışma bize uçuş sonrası gelişen kulak komplikasyonları ile çocukluk döneminde yaşanan kulak problemleri arasında bir bağlantı olduğunu göstermektedir. Bu durumda akla özellikle östaki borusu problemleri yaşayan kişilerde barotravmanın daha sıklıkla kulağı etkilediğini düşündürmektedir. Belki de orta kulakta meydana gelen yapısal değişiklikler bu sonuçlara yol açmaktadır. Çoklu frekans timpanometri gibi yeni tetkikler kullanılarak bu problemler ortaya konmaya çalışılabilir ve bu komplikasyonları önlemek için yol gösterici olabilir.

Bu komplikasyonları saptamak için hikaye, fizik muayene ve bazı odyolojik testler kullanılabilir. Hikaye kısmında uçuş sonrası başlayan kulak ağrısı, kulaktan kanamalı akıntı gelmesi, işitme azlığı ve çınlama, kulakta basınç ve doluluk

hissi öncelikle aerotitis mediayı akla getirmelidir. Buna yönelik yapılan fizik muayenede otoskop yardımı ile kulak zarı değerlendirilerek kulak zarında çökme, perforasyon, kanama ve kulak zarının arkasında hematoma ile hava sıvı seviyeleri değerlendirilebilir. Pnömatik otoskop kullanılarak ya da valsalva manevrası ile kulak zarındaki hareketlilik saptanabilir. Ancak birçok kişide fizik muayene normal saptanabilmekte ve orta kulakta meydana gelen değişiklikler fizik muayeneye yansımayaabilmektedir. Bu durumda odyometri, timpanometri ve çoklu frekans timpanometri gibi odyolojik tetkikler bu değişiklikleri yansıtmada yardımcı olabilmektedir (6,7).

Odyolojik tetkik daha çok işitmeyle ilgili problemleri yansıtmakla beraber orta kulakta meydana gelen transuda şeklindeki sıvı birikimlerini de göstermektedir. Yüksek sese maruziyete bağlı işitme kayıplarında daha çok yüksek frekanslarda artış gösteren bilateral sensörinöral tip işitme kaybı görülürken orta kulakta sıvı birikimine bağlı olarak hava ve kemik yolunda fark saptanarak bize yol gösterici olabilir (51).

Satish ve ark Hintli 229 pilotla yaptıkları çalışmada gürültüye bağlı işitme kaybında diğer frekanslara göre en belirgin kaybın 6 kHz'de(pilotların %57'si) daha sonra da 4 kHz'de(pilotların %34'ünde) görüldüğünü bildirmişlerdir (73). Bizim çalışmamızdan elde edilen verilerde 200-3000 saat arası uçuş yapanlarda 3 kHz ve 4 kHz'de sensörinöral işitme kaybı saptanırken, 3000-10000 saat arası uçuş yapanlarda tüm frekansları(250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz,4 kHz, 6 kHz ve 8 kHz) etkileyen sensörinöral işitme kaybı saptanmıştır. Uçuş süresi arttıkça daha fazla frekansın etkilendiği ve daha fazla işitme kaybı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da daha önce yapılan çalışmalara paralellik göstermektedir. Bunun sebebi olarak barotravmaya bağlı orta kulakta gelişen yapısal ve fizyolojik değişiklikler ve akustik travmaya bağlı olarak iç kulakta meydana gelen fizyolojik değişiklikler akla gelmektedir. Bu değişiklikler belki de çoklu frekans timpanometri gibi yeni gündeme gelmiş tetkiklerle belirlenip, bu tetkiklerin rutin kullanıma geçmesi sağlanabilir. Çoklu frekans timpanometriyle işitme kaybı seviyeleri saptanamasa da orta kulaktaki değişiklikler hakkında fikir elde edilebilir. Belki de ileride yapılan çalışmalarla orta kulaktaki değişiklikler ile işitme kaybı arasında bir bağlantı saptanabilir. Bu sayede kullanımı kolay ve maliyeti az bir tetkik olan çoklu frekans timpanometri ile işitme kaybı gelişebileceği daha erken tahmin edilerek gerekli önlemler alınabilir.

Çocukluk döneminde otitis media gibi kulak problemi yaşayan uçucular yüksek sese maruziyetten ve barotravmadan daha fazla ve daha kısa sürede etkilenebilmektedir. Bu da odyolojik tetkiklere daha hızlı yansımaktadır. Raynal ve ark yaşları 20-40 arasında değişen 521 Fransız pilotla yaptıkları çalışmada 6 kHz'de işitme eşiklerinde her iki kulakta da bir düşüş olduğunu ancak sol kulak eşiklerinin sağ kulak eşiklerine göre daha belirgin bir düşüş yaşadığını tespit etmişlerdir. Sorguladıklarında çocukluklarından beri otitis media yaşayan pilotlarda belirgin şekilde işitme eşiklerinde düşüş olduğunu tespit etmişlerdir (74).

Barotravma ve aerotitis mediaya bağlı durumlarda ise her frekansı kapsayan ve etkilenen kulakta görülen iletim tipi işitme kaybı saptanabilmektedir. Bu bulgularla mevcut durumun neye bağlı olduğu öngörülebilir. Yüksek sese maruziyet ile odyolojik tetkikler arasındaki korelasyon tek bir uçuştan ziyade toplamda uzun süreli uçuş saatine erişmiş uçucularda ortaya çıkmaktadır. Yaptığımız çalışmada yukarıda belirtildiği gibi 200-3000 saat uçuş yapan uçucularda sol kulakta daha fazla frekansta işitme azlığı saptanmıştır. Bu da Raynal ve ark yaptığı çalışma ile benzerlik göstermiş ve sol kulağın daha fazla etkilendiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak sol kulağın pervaneye daha yakın olması veya uçuş sırasında taktıkları kulaklıkların yalnızca sol kulağa takılması sebebiyle akustik travmadan daha fazla etkilenmiş olabileceklerini akla gelmektedir.

Fitzpatrick 211 Amerikalı pilotun yaş,uçuş saati ve uçak tipinin gürültüye bağlı işitme kaybıyla değerlendirmiş ve çalışma grubunun %83'ünde işitme kaybı tespit etmiştir. Yaş ve uçuş saatine göre işitme kaybı istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır (75).

Zhang ve ark 105 pilotla yaptıkları çalışmada, pilotları uçuş saatlerine göre 3 gruba ayırıp işitme eşiklerine ve DP-OAE ölçümleri yapmışlardır. Yapılan ölçümler sonucunda uçuş saatleriyle işitme eşiklerinde anlamlı bir ilişki bulmuşlardır (76).

Bizim çalışmamızda da Zhang ve Fitzpatrick'in yaptığı çalışmaları destekler bulgular saptanmış ve uçuş saati ile işitme kaybı arasında istatistiksel anlamlı ilişki bulunmuştur.

Lindgren ve ark yaptıkları çalışmada İsveç havayollarındaki 664 pilotta 1974-2005 yılları arasında işitme eşikleri değerlendirilmiştir.3 kHz,4 kHz ve 6 kHz'deki



işitme eşikleri ve yaşları ile İsveçli normal populasyonun işitme eşikleri ve yaş ortalamalarıyla karşılaştırılmış ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (77).

Büyükçakır 300 pilot adayı,107 deneyimli pilot ve 100 normal populasyondan oluşan bireylerle yaptığı çalışmada odyometrik test sonuçlarını uçuş saatine, yaşa ve uçak tipine bağlı olarak karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda uçuş saatleri ve yüksek frekanslardaki işitme kaybı arasında anlamlı ilişki olduğunu ortaya koymuştur (78).

Bizim çalışmamızda uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçucular karşılaştırılmıştır. Her yaş grubuna göre OSHA'nın belirlediği F-1 ve F-2 yaşa bağlı işitme eşikleri tablosu uygulanmış ve işitmede düşüş yaşa spesifik olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede işitmenin yaştan etkilenme olasılığı ortadan kaldırılmış ve işitme ile uçuş saatleri arasındaki bağlantı daha açık bir şekilde ortaya konmuştur.

Odyolojik bulgulara bakıldığında 200-3000 saat uçuş yapan uçucular uçucu adayları ile kıyaslandığında sol kulakta 3 kHz ve 4 kHz'de işitmede istatistiksel olarak anlamlı düşüş saptanmış, sağ kulakta ise 4 kHz'de istatistiksel olarak anlamlı düşüş saptanmıştır. 3000-10000 saat uçuş yapan uçucularda her iki kulakta tüm frekanslarda (250 Hz,500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz ve 8 kHz) işitmede düşüş saptanmış ve bu farklılıklar uçucu adayları ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların odyolojik bulguları karşılaştırıldığında iki grup arasında sol kulakta 500 Hz frekans dışındaki tüm frekanslarda (250 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz ve 8 kHz) işitme kaybı seviyeleri istatistiksel olarak anlamlı derecede fark saptanırken, sağ kulakta 4 kHz dışındaki tüm frekanslarda (250 Hz,500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 6 kHz ve 8 kHz) işitme kaybı seviyeleri istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı bulunmuştur. Daha önce yapılan çalışmalara paralellik göstererek uçuş süresi arttıkça işitme seviyesinde daha fazla düşüklük olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan elde ettiğimiz verilere göre uçuş süresi ile odyometrik tetkikler arasında bağlantı olduğu görülmüştür. Uçuş süresi arttıkça odyometrik testlerdeki

düşüklüğün daha fazla frekansı etkilediği ve işitmedeki düşüklüğün daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Bu da gruplar arasında istatistiksel olarak farklılıklar ortaya çıkarmıştır. En basit örneği ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulağında 3 kHz ve 4 kHz, sağ kulağında sadece 4 kHz'de istatistiksel olarak anlamlı düşüklük saptanırken 3000-10000 saat uçuş yapan uçucularda her iki kulakta ve her frekansta istatistiksel anlamlı olarak işitmede düşüş saptanmıştır. Bu da uçuş saati ile işitme arasındaki ilişkiyi açık bir şekilde ortaya koymuştur.

Timpanogramlar kullanılarak orta kulak ileti sisteminin bütünlüğü (kulak zarının durumu, kemikçikler sistemi), orta kulak basıncı, kulak kanalı veya orta kulak hacmi, östaki fonksiyonu ve stapes kası refleksi ile ilgili bilgiler elde edilebilmektedir (61).

Timpanometrik bulgular yüksek sese bağlı işitme kaybında normal saptanırken, barotravma ve aerotitis mediaya bağlı durumlarda anormallikler saptanabilir. Örneğin Tip B ve Tip C timpanogram görülebilir. Ancak birçok hastada normal timpanogram da saptanabilir. Bu da bize timpanometriyle bu hastalıklar arasında kesin bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Bu gibi durumlarda farklı tetkikler kullanılarak mevcut anormalliklerin sebebi araştırılmalıdır. Örneğin çoklu frekans timpanometri gibi çok fazla çalışma yapılmamış tetkikler bu hastalarda denenmeli ve aralarında bir bağlantı olup olmadığı gündeme getirilmelidir.

Bazı çalışmalarda normal timpanogramın otitis mediada yeterli olmadığı belirtilmektedir. Buna istinaden çoklu frekans timpanometrinin barotravma, aerotitis media ve uçuş saatine bağlı orta kulak problemlerinde ayırıcı tanıda yararlı olup olmayacağı akılda bulundurulmalıdır.

Devine ve ark 22-43 yaş aralığında 31 uçucuda yaptıkları çalışmada, uçucuların uçmadan önce ve en az 90 dakikalık uçuş sonrasında yapılan timpanometri ölçümlerini karşılaştırmışlardır. Anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Ancak timpanometrinin aerotitis medianın tanılmasında yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir (79).

De Heyn yaptığı çalışmada pilot adaylarının östaki fonksiyonlarını timpanometriyle değerlendirmiştir. Pilot adaylarının iniş simülasyonu ardından timpanometri sonuçları değerlendirilmiş ve östaki fonksiyonuyla anlamlı ilişki kurulamamıştır. Negatif basınca sahip adayların üçte ikisi barotravma geçirirken,

normal orta kulak basıncına sahip adayların da üçte biri barotravma yaşamıştır (80). Bu da timpanometrinin uçucularda tek başına güvenilir bir test olmadığını göstermektedir.

Tian ve ark 174'ü normal, 40'ı akut aerotitis media ve 60'ı kronik aerotitis media olan 274 pilotla yaptıkları çalışmada iniş ve çıkış sonrasında timpanometrik ölçümlerini değerlendirmişler ve normal pilotların çoğu ile kronik aerotitis mediaya sahip pilotların Tip A timpanometri değerlerine sahip olduklarını, Tip B ve Tip C timpanogramların ise akut aerotitis medianın karakteristik bulgusu olduğunu belirtmişlerdir (81).

Bizim çalışmamızda üç grupta da yapılan timpanometrik test sonuçlarında sıklıkla Tip A ve Tip Ad çok nadir olarak da Tip B ve Tip C saptanmıştır. Uçucu adaylarının timpanometrik test sonuçları %81,8 Tip A, %13,6 Tip Ad, %2,3 Tip B ve %2,3 Tip C saptanmıştır. 200-3000 saat uçuş yapan uçucularda ise %74,5 Tip A, %19,6 Tip Ad, %0 Tip B ve %5,9 Tip C saptanmıştır. 3000-10000 saat uçuş yapan uçucularda da %74,5 Tip A, %19,6 Tip Ad, %0 Tip B ve %5,9 Tip C saptanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucular arasında timpanometrik testler açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmazken, uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucular arasında sağ kulaktaki timpanometrik testlerde istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamış, sol kulaktaki timpanometrik testlerde ise istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır. 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucular da kendi aralarında kıyaslandığında her iki grup arasında sağ ve sol kulaklarındaki timpanometrik bulgular açısından istatistiksel anlamlı fark bulunmamıştır.

Tüm uçucuların timpanometrik incelemesinde akustik reflekslere bakılmış, gruplar arası akustik refleks açısından istatistiksel anlamlı fark saptanmamıştır. Bu bulgular doğrultusunda timpanometri ile uçuş saatleri arasında kesin bir korelasyon olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu da çoklu frekans timpanometrinin bu konu için daha değerli bir tetkik olduğunu göstermiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda akut aerotitis mediada bazı timpanometrik bulgular yararlı olmakla birlikte kesin bir tanıya varmada yeterli olmamaktadır. Kronik aerotitis media ve barotravmada da timpanometrik bulgular tanıyı koymada kesin sonuçlar

vermemektedir. Bu nedenle çoklu frekans timpanometrinin daha fazla çalışma ile değerlendirilerek uçucularda meydana gelen problemlerin(akut aerotitis media, kronik aerotitis media, barotravma vb) tanısını koymada yararlı olup olamayacağı açığa çıkarılmalıdır.

1960'lerden bu yana değişik kulak patolojilerinde orta kulak empedansı birçok defa çalışılmıştır. Düşük frekans standart timpanometri birçok orta kulak patolojisinde uzun yıllardır kullanılıyor olmasına rağmen patolojik kulakları normal kulaklardan ayırmakta yetersiz kalmaktadır. Çoklu frekans timpanometri, 226 Hz ile 2000 Hz arasında değişik prob tonlar ile elde edilen timpanogramların analizini sağlayan bir yöntemdir. Düşük prob ton frekansları kullanıldığında timpanogram daha çok orta kulak ve timpan zarının katılığı(örneğin otoskleroz ve timpanoskleroz) hakkında bilgi vermektedir. Yüksek frekanslı prob tonlar ise orta kulak sisteminin kitlesel etkisini arttıran patolojilerde (örneğin kolesteatom) daha çok değer taşımaktadır (61).

Avantajlı bir test olmasına rağmen çoklu frekans timpanometrinin klinik uygulamada yaygınlaşmamış olması birçok araştırmacı tarafından da belirtilen bir gerçektir. Çoklu frekans timpanometri kullanımının yaygınlaşmamasının önemli sebeplerinden biri de yeterli verilerin henüz var olmamasıdır (1,82).

Colletti 1975 yılında yaptığı çalışmada normal kişilerde 3 tip timpanogram elde etmiştir. Düşük frekanslarda V şeklinde timpanogram, orta frekanslarda, rezonans frekansına yakın yerlerde W şekilli timpanogram ve yüksek frekanslarda da ters V şekilli timpanogramlar elde etmiştir. Normal kişilerde W paterni 650-1400 Hz arasında bulunmaktadır, otosklerozlularda bu aralık 860-1650 olarak saptanmıştır. Kemik zincir ayrılması olanlarda ve stapedektomililerde 500-1000 Hz arasında bulunmaktadır. Miringoplasti yapılanlarda W paterninin bulunduğu frekans aralığı 1000-1400 Hz olarak bulunmaktadır. Kolesteatoma veya Seröz otitis media düşük frekanslarda düz çizen bir timpanogram oluşumuna neden olurlarken, kolesteatoma durumunda 500-900 Hz arasında W paterni elde edilmektedir (4,83). Sonuçta Collettinin bulguları göstermiştir ki timpanik membranın normal görüldüğü durumlarda çoklu frekans timpanometri ayırıcı tanıda faydalı olabilecek bir yöntemdir (61). Burdan yola çıkarak uçucularda meydana gelen kulak problemlerinin çoklu frekans timpanometri ile saptanabileceği akla gelmektedir.

Bilindiği gibi orta kulak ve dış kulak yapıları yaşa ve kalıtsal özelliklere göre değişkenlik göstermektedir. Bu farklılıklar orta kulak admitansı ve ilgili değerleri etkilemekte ve normatif değerlerin değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. (84,85). Dolayısıyla birçok araştırmacı farklı popülasyonlar ve klinikler için normalizasyon çalışmaları yapmıştır.

Lutman 1984'te orta kulak admitans komponentleri mekanizmasını teorik olarak açıkladığı çalışmasında baktığı 67 normal kulakta ortalama çoklu frekans timpanometri değerini 871 Hz olarak bulmuştur (62). Bir başka araştırmacı, Wada (1989) çoklu frekans timpanometri normatif değerini ortalama 1000 Hz civarında bulurken(86), Russolo 1991'de 54 katılımcı ile yaptığı çalışmasında normal kulaklarda çoklu frekans timpanometri değerini  $834 \pm 153$ , 31 otosklerotik kulaklarda ise  $1282 \pm 188$  olarak saptamıştır (87). Bu çalışmadan beş yıl sonra Valvik ve arkadaşları (1994) yaptıkları çalışmada daha geniş bir hasta grubunu ele almışlar ve orta kulak çoklu frekans timpanometri normatif değerini  $1049 \pm 261$  Hz olarak belirlemişlerdir (88). Uluslararası literatür bize bu verileri sunarken, çalışmamızda kullandığımız GSI Tymptstar Version 2 model çoklu frekans timpanometri ölçümü sağlayan elektroakustik imitansmetre cihazının dağıtımçı firması Meders'in internet sitesinde yayınladığı broşüründe ise patolojisi bulunmayan, normal kulaklardan elde edilmesi beklenen çoklu frekans timpanometri değerlerinin 800Hz-1200Hz aralığında olduğu belirtilmektedir (89).

Bizim kliniğimizde Sezin ve ark'larının yaşları 21-46 yaş arasında değişen 60 kişiyle yaptıkları çoklu frekans normalizasyon değerleri ortalaması 999.6 Hz(std. sapma 134.9) olarak saptanmıştır. Sağ kulaklardan elde edilen değerlerin ortalaması 1020.8 Hz(std. sapma 140.6), iken sol kulak ortalamaları 978.3 Hz(std. sapma 180.5), olarak belirlenmiştir (90). Bizim çalışmamızda uçucu adaylarında çoklu frekans değerleri sol kulakta 862,5, sağ kulakta 882,95 Hz olarak saptanmış ve kliniğimizin normalizasyon değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Lai ve ark yaptığı bir çalışmada normal popülasyonla efüzyonlu otitis media geçiren kişilerin timpanometrik bulguları ile çoklu frekans timpanometrik bulguları değerlendirilmiş ve bunun sonucunda çoklu frekans timpanometrinin standart timpanometriye göre daha detaylı sonuçlar verdiği görülmüştür. Çoklu frekans timpanometrinin erişkin efüzyonlu otitis media tanısı koymada daha objektif tanı kriteri

verdiği ve daha sensitif olduğu görülmüştür (91). Bu da bize çoklu frekans timpanometrinin barotravmaya bağlı gelişen akut aerotitis media tanısını koymada standart timpanometriye göre daha yararlı olabileceğini düşündürmektedir. Bizim çalışmamızda da her gruba hem timpanometri hem de çoklu frekans timpanometri yapılmış ve çoklu frekans timpanometrinin daha fazla bilgi verdiği saptanmıştır.

Valvik ve ark yaptığı çalışmada da çoklu frekans timpanometrinin standart timpanometriye göre kulak zarı, orta kulak ve kemikçik zincirdeki değişikliklere daha sensitif bir şekilde yansıttığı ortaya konulmuştur (88).

Bazı çalışmalarda çoklu frekans timpanometrinin yetişkin kişilerde yaşa bağlı değişmediği savunulmuştur. Örneğin Holte ve ark yaptığı çalışmada 16-79 yaş arasındaki bireyler 20 yaş aralıklarıyla gruplara ayrılmış ve çoklu frekans timpanometri verileri arasında yaşa bağlı anlamlı farklılık bulunamamıştır (92).

Uchida ve ark yaptığı bir çalışmada 40'lı,50'li,60'lı ve 70'li yaş gruplarının odyolojik ve çoklu frekans timpanometrik bulguları karşılaştırılmış, odyolojik bulgular açısından istatistiksel anlamlı fark saptanırken çoklu frekans timpanometrik bulgular açısından istatistiksel anlamlı fark saptanmamıştır (93).

Yaptığımız çalışmada gruplar arasında yaş farkı olmakla birlikte bu yaş farkının çoklu frekans timpanometri değerlerine etkisi ele alınmamıştır. Çünkü uçucu adaylarının yaş ortalaması uçuş yapmış gruplara göre küçüktür. Bu nedenle uçuş saatleri ile çoklu frekans timpanometri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışmalarda belirtildiği gibi yaşın çoklu frekans timpanometriye etkisi olmadığı düşünülerek bu sonuçlara varılmıştır. Aslında aynı yaş grubundaki kişiler ele alınarak yapılan çalışmalara ihtiyaç vardır. Böylelikle yaş farkı olmadan çoklu frekans timpanometrinin uçuş saatleriyle ilişkisi daha kesin ortaya konabilir. Ülkemizde buna yönelik yapılan çalışma bulunmamaktadır. Bu da çoklu frekans timpanometri ile ilgili birçok eksiklik olduğunu ve araştırmalarla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bizim çalışmamızda uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların çoklu frekans timpanometri sonuçları değerlendirilmiştir. Uçucu adaylarının sol kulak için minimum değeri 700 Hz, maksimum değeri 1150 Hz, median değeri 850 Hz ve bu sonuçlar doğrultusunda

ortalama değeri 862,5 Hz saptanmıştır. Sağ kulak için minimum değeri 700 Hz, maksimum değeri 1800 Hz, median değeri 850 Hz ve bu sonuçlar doğrultusunda ortalama değeri 882,95 Hz saptanmıştır. 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak için minimum değeri 400 Hz, maksimum değeri 900 Hz, median değeri 600 Hz ve bu sonuçlar doğrultusunda ortalama değeri 605,88 Hz saptanmıştır. Sağ kulak için minimum değeri 260 Hz, maksimum değeri 850 Hz, median değeri 600 Hz ve bu sonuçlar doğrultusunda ortalama değeri 609,21 Hz saptanmıştır. 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların ise sol kulak için minimum değeri 350 Hz, maksimum değeri 850 Hz, median değeri 500 Hz ve bu sonuçlar doğrultusunda ortalama değeri 547,77Hz saptanmıştır. Sağ kulak için minimum değeri 350 Hz, maksimum değeri 1900 Hz, median değeri 550 Hz ve bu sonuçlar doğrultusunda ortalama değeri 606,66 Hz saptanmıştır. Bu veriler göstermektedir ki uçucu adayları ile diğer gruplar arasında çoklu frekans timpanometri bulguları istatistiksel olarak anlamlı derecede değişiklik göstermektedir. Uçuşla beraber çoklu frekans timpanometri bulgularında düşüş görülmektedir. Bu da bize çoklu frekans timpanometrinin uçuculardaki kulak problemlerini yansıtmada kullanılabileceğini düşündürmektedir. Bu konunun daha fazla çalışmayla desteklenerek çoklu frekans timpanometriyle uçuş ve uçuş saatleri arasındaki ilişki açık bir şekilde ortaya konmalı, çoklu frekans timpanometrinin uçucuların takibinde rutin olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmalıdır.

Çoklu frekans timpanometri değerleri 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucularda benzer saptanmış ve istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Halbuki uçucu adayları ile diğer gruplar arasında çoklu frekans timpanometri değerleri istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde farklı saptanmıştır. Çoklu frekans timpanometri değerlerinin uçuş saatlerinden etkilenip etkilenmediğini daha net olarak ortaya koymak için 200-3000 saat uçuş yapanlar, 3000-10000 saat uçuş yapanlarla daha fazla sayıda uçucu ile yapılan çalışmalara ihtiyaç vardır.

Sonuç olarak çoklu frekans timpanometri değerleri yaştan etkilenmezken, toplam uçuş saatinden etkilenmektedir. Bu da uçucuların takiplerinde çoklu frekans timpanometrinin kullanılabileceğini akla getirmektedir. Ancak literatürde bu konuyla ilgili çalışma bulunmadığından klinik çalışmalarla desteklenerek rutin uygulamaya geçilmesi gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çoklu Frekans Timpanometri Ölçümlerinin Uçucularda Ve Uçucu Adaylarında Karşılaştırılması adlı çalışmamıza katılan yaşları 20-55 arasında değişen 140 birey çalışmaya alınmıştır. Tüm bireylerin her iki kulak içinde işitme eşikleri, timpanometrik bulguları ve çoklu frekans timpanometri değerleri elde edilmiştir.

Uçucu adaylarının sol ve sağ kulak timpanometri değerleri ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol ve sağ kulak timpanometri değerleri karşılaştırıldığında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Uçucu adaylarının sağ kulak timpanometri değerleri ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak timpanometri değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken, sol kulak timpanometri değerlerinde anlamlı farklılık tespit edilmiştir.

200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların da sol ve sağ kulak timpanometri değerleri karşılaştırıldığında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak işitme eşikleri karşılaştırıldığında 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 6 kHz ve 8 kHz'de istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmezken 3 kHz ve 4 kHz'de anlamlı fark tespit edilmiştir.

Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak işitme eşikleri karşılaştırıldığında 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 6 kHz ve 8 kHz'de istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmezken 4 kHz'de anlamlı fark tespit edilmiştir.

Uçucu adayları ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ ve sol kulak işitme eşikleri karşılaştırıldığında 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz ve 8 kHz'de anlamlı farklılık saptanmıştır.



200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak eşikleri değerlendirildiğinde 250 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz ve 8 kHz'de anlamlı fark saptanırken 500 Hz'de anlamlı fark bulunamamıştır.

200-3000 saat uçuş yapan uçucular ile 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların sağ kulak eşikleri değerlendirildiğinde 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 6 kHz ve 8 kHz'de anlamlı fark saptanırken 4 kHz'de anlamlı fark bulunamamıştır.

Uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların çoklu frekans timpanometri sonuçları değerlendirilmiştir. Uçucu adaylarının sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri ortalaması 862,5 Hz saptanmıştır. Sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri ortalaması ise 882,95 Hz saptanmıştır. 200-3000 saat uçuş yapan uçucuların sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri ortalaması 605,88 Hz saptanmıştır. Sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri ortalaması ise 609,21 Hz saptanmıştır. 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların ise sol kulak çoklu frekans timpanometri değerleri ortalaması 547,77 Hz saptanmıştır. Sağ kulak çoklu frekans timpanometri değerleri ortalaması 606,66 Hz saptanmıştır.

Elde edilen verilere göre uçucu adayları ile 200-3000 saat uçuş yapan uçucular ve 3000-10000 saat uçuş yapan uçucuların çoklu frekans timpanometri değerleri karşılaştırıldığında her iki kulak için anlamlı fark saptanmıştır.

Uçuşla beraber çoklu frekans timpanometri bulgularında düşüş görülmektedir. Bu da bize çoklu frekans timpanometrinin uçuculardaki kulak problemlerini yansıtmada kullanılabileceğini düşündürmektedir. Bu konunun daha fazla çalışmayla desteklenerek çoklu frekans timpanometriyle uçuş ve uçuş saatleri arasındaki ilişki açık bir şekilde ortaya konmalı, çoklu frekans timpanometrinin uçucuların takibinde rutin olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmalıdır.

## 7. KAYNAKLAR

- 1) Margolis RH., Van Camp KJ., Wilso RH. & Creten WL. "Multifrequency Tympanometry in Normal Ears", J. Audiology, Sayı 24, s. 44-53, 1985.
- 2) Ögüt F., Şerbetçioğlu B., Kirazlı T., Kirkim G. & Gode S. Results of Multi-frequency Tympanometry Measures in Normal and Otosclerotic Middle Ears", International Journal of Audiology, Sayı 47, s. 615-620, 2008.
- 3) Shahnaz N, Polka L. Standard and multifrequency tympanometry in normal and otosclerotic ears. Ear Hear. 18:326-41, 1997.
- 4) Colletti V. Tympanometry from 200 to 2000 Hz probe tone. Audiology. 15:106-19, 1976.
- 5) Margolis RH. & Saly GL. "Wideband Reflectance Tympanometry in Normal Adults", Journal Acoustical Society of America, Sayı 106, s. 265-280, 1999.
- 6) Katz, J. Handbook of Clinical Audiology, Maryland: Williams & Wilkins, s. 159-175, 2002.
- 7) Akyıldız N. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi. cilt 1. Ankara: Bilimsel tıp yayınevi; 1998.
- 8) Aslan A, Belgin E. Kulak anatomisi ve işitme fiziolojisi. Koç C, editör. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisinde. Ankara: Güneş Tıp Kitapevi. s. 45-71, 2004.
- 9) Gulya AJ. Anatomy of the temporal bone. Shambaugh GE Jr, Glasscock ME III, editors Surgery of the ear. Ed 5 Philadelphia: WB Saunders. 35 -49, 2003.
- 10) Austin DF. Kulak anatomisi. In Ballenger JJ, Snow JB, editors. Hafız G. çev. ed. Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri. 838-57, 2000.
- 11) 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; 2533-46, 1998.
- 12) Pearson AA. Development of anatomy of the ear. In: English GM, editor. Otolaryngology. Philadelphia: Harper and Row Publishers; 1 -68, 1984.
- 13) Akyıldız AN. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi I. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi: 77 -99, 2002.
- 14) Austin DF. Anatomy of The Ear. In: Ballenger J. Diseases of the Nose, Throat, Ear, Head and Neck. 14ed. Philadelphia: Lea and Febiger; 922 -947, 1991.

- 15) Swartz JD, Harnsberger RH. Imaging of the Temporal Bone, 3th edition. New York, Thieme Medical Publishers Inc:47 -107, 1998.
- 16) Akyıldız N. Kulak hastalıkları ve mikroşirürüjisi. Cilt I, Ankara: Ongün Kardeşler Matbaacılık:1-33, 52, 65, 89-104, 118-126, 313-334, 1986.
- 17) Pabuşçu Y. Bilgisayarlı Tomografi. 23. Ulusal Radyoloji kongresi, Nürol Matbaacılık A.Ş. Ankara: 52 -73, 2002.
- 18) Som PM, Curtin HD. Head and Neck Imaging, 4th edition. St.Louis, Mosby Inc:1058 -1071, 2003.
- 19) Haaga JR, Lanzieri CF, Gilkeson RC. CT and MR Imaging of the Whole Body,4th edition. St. Louis, Mosby Inc: 495-514, 2003.
- 20) Bluestone CD. Anatomy and physiology of the eustachian tube. In: Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LE, editors. Otolaryngology head & neck surgery. 3rd ed. St.Louis: Mosby; 3003-22, 1998.
- 21) Tuncel E. Klinik Radyoloji, 2.Baskı. Bursa, Nobel&Güneş; 686-687, 2002.
- 22) Erişen L. Temporal Kemiğin Görüntülenmesi. Bursa, Uludağ Üniversitesi Yayınları: 15-21, 1999.
- 23) Dähnert W. Radiology Review Manual, 4th edition. Pennsylvania, Williams&Wilkins: 319-320, 1999.
- 24) Weissleder R, Wittenberg J, Harisinghani MG. Primer of Diagnostic Imaging, 3th edition. Philadelphia, Mosby Inc.: 590-597, 2003.
- 25) Kaya S. Ankara ili ve çevresinde okul dönemi çocuklarında orta kulak hastalıkları insidansı. Türk Otolaringoloji Arşivi.;25:184, 1987.
- 26) Abbas PJ, Miller CA, Physiology of the auditory system. \_n Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Richardson MA, Schuller DE, editors. Otolaryngology Head & Neck Surgery. 3 rd ed. St. Louis: Mosby-Year Book; 2831-74, 1998.
- 27) Bluestone CD. Physiology of the Middle Ear and Eustachian Tube. \_n Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhpff WL, editors. Otolaryngology. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 163-97, 1991.
- 28) Brenda L, Lonsbury-Martin, Martin GK, Luebke AE. isitme ve vestibüler sistemlerin fizyolojisi. In Ballenger JJ, Snow JB, editors. Senocak D, çev.ed. Otolaringoloji Bas Boyun cerrahisi. 15. baskı. istanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 879-929, 1996.
- 29) Guyton AC, Hall JE. Textbook of Medical Physiology. 7th ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 1986.

- 30) Lee KJ. Anatomy of the ear. In Lee KJ (ed) Essential Otolaryngology. Connecticut: Appleton&Lange Company; 1999.
- 31) Brownell WE, Bader CR, Bertrand D, Deribaupierre Y. Evoked Mechanical Responses of Isolated Cochlear Outer Hair-Cells. *Science*; 227(4683): 194-196, 1985.
- 32) Akyıldız AN. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi I. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi: 127-162, 2002.
- 33) Magnuson B, Falk B: Physiology of the eustachian tube and middle ear pressure regulation. A.F Jahn and J. Santos –Sacchi(Eds): Physiology of the ear, Raven Press, New York; 81- 100, 1998.
- 34) Elnor A: Quantitative studies of gas absorption from the normal middle ear. *Acta Otolaryngol (Stockh)*; 88: 25- 28, 1977.
- 35) Melville JG: Pressure changes in the middle ear after altering the composition of the contained gas. *Acta Otolaryngol.(Stockh.)*; 53: 1- 111, 1961.
- 36) Bluestone CD: Concepts on the pathogenesis of middle ear effusions. *Ann Otol Rhinol Laryngol*; 85(Suppl 25): 182- 186, 1976.
- 37) Sadé J, Luntz M, Berger G: The Infant's post- isthmus region of the eustachian tube in health and disease. *Am J Otol*; 7(5): 350- 353, 1986.
- 38) Sadé J, Luntz M: Eustachian tube lumen: Comparison between normal and inflamed specimens. *Ann Otol Rhinol Laryngol*; 98: 630- 634, 1989.
- 39) Buckingham RA, Ferrer J: Observations of middle ear pressures. *Ann Otol Rhinol Laryngol*; 89(Suppl 68): 56- 61, 1980.
- 40) Sadé J, Luntz M: Gaseous pathways in atelectatic ears. *Ann Otol Rhinol Laryngol*; 89(Suppl 68): 56- 61, 1980.
- 41) Sadé J, Luntz M, Levy D: Middle ear gas composition and middle ear aeration. *Ann Otol Rhinol Laryngol*; 104: 369- 373, 1995.
- 42) Buckingham RA, Stuart DR, Gieck HA: Experimental evidence against middle ear oxygen absorption. *Laryngoscope*; 95: 437- 442, 1984.
- 43) Hergils L, Magnuson B: Morning pressure in the middle ear. *Arch Otolaryngol*; 111:86- 89, 1985.
- 44) Tideholm B, Brattmo M, Carlborg B. Middle ear pressure: effect of body position and sleep. *Acta Otolaryngol (Stockh)*; 119: 880- 885, 1999.
- 45) Sadé J, Ar A. Middle ear and auditory tube: Middle ear clearance, gas Exchange, and pressure regulation. *Otolaryngol Head Neck Surg*; 116: 499- 524, 1997.

- 46) Ceylan A, Göksu N, Kemalöđlu YK, Uđur B, Akyürek N, Bayazıt YA. Impact of Jacobson's (Tympanic) nevre sectioning on middle ear functions. *Otol Neurotol*; 2007.
- 47) Eden AR, Gannon PJ: Neural control of middle ear aeration. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*; 113: 133- 137, 1987.
- 48) Metin S, Barotravmalar. Erişim:(<http://havauzayhekimligi.blogspot.com.tr/>) Erişim tarihi: 3/03/2014.
- 49) Ildız F, Uçuşa bağlı ortaya çıkan kulak barotravmaları. Erişim: (<http://www.hvtd.org/htm/wordpress/?p=47>) Erişim tarihi: 3/03/2014.
- 50) Farmer JC. Era and sinus problems in diving. In: Bove AA, Davis JC, eds. *Diving Medicine*, 2nd edition. Philadelphia: WB Saunders: 200-222, 1990.
- 51) Güneri A, Travma ve başdönmesi. *Vertigo* (Ardıç N.). İzmir, Güven Kitapevi, 219-237, 2005.
- 52) Banks, C. 'A novel technique of otic barotrauma management using modified intravenous cannulae' *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 270:2627-2630, 2013.
- 53) Klokker M, Vesterhauge S, Jansen E. Pressure-equalizing earplugs do not prevent barotrauma on descent from 8000 ft cabin altitude. *Aviat Space Environ Med*; 76:1079-82, 2005.
- 54) Watson W, The valsalva maneuver: its relationship to chronic recurrent aerotitis media. USAF Aerospace Medical Center Brooks Air Force Base, 1961.
- 55) Özgirgin N, Çelik O. Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi. İstanbul, Turgut yayıncılık, 1/12:217, 2002.
- 56) Roeser R.J., Valente M. & Hosford-Dunn H. *Audiology Diagnosis*, New York: Thieme, s. 381-402, 2000.
- 57) Stach B. *Clinical Audiology: An Introduction*, New York: Delmar, s. 313-331, 2010.
- 58) Esmer N., Akıner M.N., Karasalihođlu A.R.Klinik Odyoloji, Ankara:Özışık Matbaacılık, s. 92-93, 1995.
- 59) Jerger J, Northern J. *Clinical impedance audiometry*. Stuttgart, Thieme, 18-64, 1970.
- 60) Gelfand S. *Essential of audiology*. New York, Thieme, 226-236, 2001.
- 61) Öđüt F. Multifrekansiyel timpanometri ölçümlerinin otosklerotik ve normal kulaklarda karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, İzmir, 2006.

- 62) Lutman ME. "Phasor admittance measurements of the middle ear: I. Theoretical approach." *Scand Audiol*, Sayı 13, s. 253–264, 1984.
- 63) Lutman ME, McKenzie H, Swan IRC. Phasor admittance measurements of the middle ear. II. Normal phasor tympanograms and acoustic reflexes. *Scand Audiol*;13:265–74, 1984.
- 64) Nishihara S, Aritomo H, Goode RL. Effect of changes in mass on middle ear function. *Otolaryngol Head Neck Surg*;109:899–910, 1993.
- 65) Vanhuysse VJ, Creten WL, Van Camp KJ. On the Wnotching of tympanograms. *Scand Audiol*;4:45–50, 1975.
- 66) Shahnaz: Multifrequency-Tympanometry. 2003.
- 67) Stangerup, E:Point Prevalence of Barotitis and Its Prevention and Treatment with Nasal Balloon Inflation: A Prospective, Controlled Study. *Otology & Neurotology* 25:89–94, 2004.
- 68) Lewis ST. Barotrauma in United States Air Force accident/incidents. *Aerospace Med*; 44:1059-61, 1974.
- 69) Klokker M. Personal observation among 3000 airline pilots. *International journal of applied aviation studies*, 2003.
- 70) Mirza S. Otic barotrauma from air travel. *The journal of laryngology&otology*. vol.119, 336-370, 2005.
- 71) Brendan A:Ear problems and flying. *ASEM Jan*; 61:1, 56-61, 1990.
- 72) Jason L. When the envelope pushes back: a combat aviator experiences barotrauma after descending with an ear block. *Military Medicine*, 173. 4:403, 2008.
- 73) Satish C.Significance of 6 khz in noise induced hearing loss in Indian Air Force personnel. *IJASM*; 52(2): 15-20, 2008.
- 74) Raynal M. Hearing in Military Pilots: one-time audiometry in pilots of fighters, transports and helicopters. *Aviat Space Environ Med*; 77:57– 61, 2006.
- 75) Fitzpatrick E. Fitting audiology within the population health perspective. *Can J Public Health.*; 97(2):153-5, 2006.
- 76) Zhank Y. Distortion product of otoacoustic emissions as a sensitive indicator of hearing loss in pilots. *Aviat Space Environ Med*; 75:46–8, 2004.
- 77) Lindgren, T:Hearing status among commercial pilots in a Swedish airline company. *International Journal of Audiology*; 47:515-519, 2008.
- 78) Büyükçakır C:Hearing loss in Turkish aviators. *Mil Med* 2005 Jul;170:572-6

- 79) Devine, A: The Use of tympanometry to Detect Aerotitis Media in Hypobaric Chamber Operations, 1990.
- 80) De Heyn: Screening of tube permeability disorders in applicant student-pilots. *Acta Otorhinolaryngol Belg.*;34(6):717-23, 1980.
- 81) Tian Z: Clinical application of tympanometry in aviators. *Aviat Space Environ Med.* 1988 Jun;59(6):559-62.
- 82) Tahinciođlu Z: Orta kulak patolojilerinde multifrekans timpanometri bulguları. Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
- 83) Colletti V. Methodological observations on tympanometry with regard to the probe tone frequency. *Acta Otolaryngol (Stockh)*;80:54-60, 1975.
- 84) Margolis, R., & Shanks, J. E. "Tympanometry: Principles and Procedures" In W. F. Rintelmann (Ed.), *Hearing Assessment*, Pro-Ed., Texas: Austin, s. 179-246, 1991.
- 85) Shanks, J. E., & Shelton, C. Basic Principles and Clinical Applications of Tympanometry, *Otolaryngology Clinics of North America*, Sayı 24, s. 299-328, 1991.
- 86) Wada H, Kobayashi T: Dynamic behavior of middle ear based on sweep frequency tympanometry. *International Journal of Audiology*, Sayı 28(3), s.127-134
- 87) Russolo M., Bianchi M., Miani C. La timpanometria multifrequenziale nella diagnosi di otosclerosi fenestrata. *Audiol Ital*, Sayı 8, s. 87-94, 1991.
- 88) Valvik B.R., Johnsen M., Laukli E. Multifrequency tympanometry. Preliminary experiences with a commercial available middle-ear analyzer. *Audiology*, Sayı 33, s. 245-253, 1994.
- 89) <http://www.meders.com.tr/tr/gsi-odyolojik-tani-cihazlari/diagnostik-tanicihazlari/tympstar-middle-ear-analyzer.html> (Erişim Tarihi: 14.05.2011)
- 90) Sezin K: Normal işitmeye sahip yetişkinlerde multifrekans timpanometri normalizasyon değerleri. Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
- 91) Lai T: Multifrequency tympanometry in adults with otitis media with eVusion. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 265:1021-1025, 2008.
- 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.