



1993

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

**65 YAŞ ve ÜZERİ KİŞİLERDE SENSÖRİNÖRAL İŞİTME
KAYBININ, VIDEO BAŞ İTME TESTİ BULGULARI İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Habibe KÖSEOĞLU

ANKARA, 2019



1993

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

65 YAŞ ve ÜZERİ KİŞİLERDE SENSÖRİNÖRAL İŞİTME
KAYBININ, VIDEO BAŞ İTME TESTİ BULGULARI İLE
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Habibe KÖSEOĞLU

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selim Sermed ERBEK

ANKARA, 2019



T.C
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

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

Tez Savunma Tarihi: 23/09/2019

Tez Konusu : “ 65 Yaş ve Üzeri Kişilerde Sensörinöral İşitme Kaybının, Video Baş İtme Testi Bulguları ile Karşılaştırılması

”

TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Selim S. Erbek

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Prof.Dr. Hatice Seyra Erbek

Başkent Üniversitesi

Prof.Dr. Selim S. Erbek

Başkent Üniversitesi

Doç.Dr. Suna Yılmaz

Ankara Üniversitesi

ONAY: Bu tez, Başkent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunun 26... / 09.. / 2019 tarih ve 44-3... Karar Sayısı ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatma Belgin ATAÇ
Enstitü Müdürü



BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih:22 /10/2019

Öğrencinin Adı, Soyadı : Habibe KÖSEOĞLU

Öğrencinin Numarası : 21710467

Anabilim Dalı : Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı

Programı : Odyoloji Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof. Dr. Selim S. ERBEK

Tez Başlığı : : 65 yaş ve üzeri kişilerde sensörinöral işitme kaybının, video baş itme testi bulguları ile karşılaştırılması.

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 55 sayfalık kısmına ilişkin, 11/9/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %19'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Öğrenci İmzası:

Onay

22/ 10 /2019

Öğrenci Danışmanı Unvan, Ad, Soyad,

Prof. Dr. Selim S. ERBEK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca mesleki bilgi ve tecrübelerinden yararlanma imkanı bulduğum, kıymetli hocalarla buluşmamızı sağlayan, değerli hocam Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Levent N. ÖZLÜOĞLU'na

Eğitimim ve tez çalışmam sürecinde tez danışmanlığımı üstlenen, tez konumun belirlenmesi, çalışmamın planlanması, gerçekleştirilmesi ve sonuçlandırılmasında bana sabırla yol gösteren, bilgi ve birikimlerini paylaştan değerli hocam sayın Prof. Dr. Selim S. ERBEK'e,

Eğitim dönemi boyunca beni her konuda yüreklendiren, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, her zaman hoşgörölü, samimi, sıcak kalbini hep hissettiğim ve tanımaktan onur duyduğum çok kıymetli hocam sayın Prof. Dr. H. Seyra ERBEK'e,

Değerli hocalarım Doç. Dr. Evren HIZAIL'a, Prof. Dr. A. Fuat BÜYÜKLÜ'ye,

İnsan fizyolojisine olan hayranlığımı, merakımı daha çok arttırdığınız için, tekrar tüm hocalarıma,

Tereddütsüz yardım ve destekleri için Balıkesir Üniversitesi Tıp Faköltesi Kulak Burun Boğaz- Baş Boyun Cerrahisi Ana Bilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Haşmet YAZICI'ya,

Yeni dostluklar edindiğim, tanımaktan mutluluk duyduğum dönem arkadaşlarıma, özellikle Evrim GÖRÜŞ'e, Anı PARABAKAN'a,

Bu süreçte yanımda olan herkese özellikle çalışma arkadaşlarıma,

Sevgili annem Kübra ve sevgili babam Mustafa'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

KÖSEOĞLU, Habibe. 65 Yaş ve Üzeri Kişilerde Sensörinöral İşitme Kaybının Video Baş İtme Testi Bulguları ile Karşılaştırılması. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı Odyoloji Tezli Yüksek Lisans Programı. Ankara, 2019

AMAÇ: Çalışmamızın amacı 65 yaş ve üzeri bireylerde sensörinöral işitme kaybını video baş itme testi bulguları ile değerlendirmek.

GEREÇ- YÖNTEM: Hastalar vHIT kazanç değerlerinin yaş ile ilişkisinin değerlendirilmesi amacıyla 65-74yaş ve 75-85 yaş olarak iki gruba ayrıldı. Çalışmaya, 65- 74 yaş arası 36 hasta (18 kadın, 18 erkek), 75-85 yaş arası 24 hasta (12 kadın, 12 erkek) dahil edildi. Aynı hasta grubu sensörinöral işitme kaybı derecesine göre; 1.Grup (26 dB -55 dB hafif, orta derece işitme kaybı), 2.Grup (56 dB- >90 dB orta, ileri ve çok ileri derece işitme kaybı) olmak üzere iki gruba ayrıldı ve her hastaya vHIT uygulandı.

BULGULAR: Yaşı 75-85 aralığında olan grupta, yaş aralığı 65-74 olan gruba göre vHIT kazanç değerleri hem sağ hem de sol kulak için istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur ($p<0.05$). Sağ ve sol kulaklardaki işitme kaybı derecesi ile vHIT kazanç değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ($p>0.05$).

SONUÇ: Çalışmanın sonuçları, ileri yaşlarda sensorinöral işitme kaybı kadar vestibülooküler refleks kazançlarında da bozulma olduğunu düşündürmektedir. Ancak bu bozulma sensorinöral işitme kaybı derecesi ile ilişkili değildir.

Anahtar Kelimeler: vHIT, vestibüler sistem, sensörinöral işitme kaybı.

ABSTRACT

KÖSEOĞLU, Habibe. Comparison of Sensorineural Hearing Loss With Video Head Impulse Test Findings in People 65 Years and Older. Baskent University Institute of Health Sciences Department of Otorhinolaryngology Master in Audiology with Thesis. Ankara, 2019.

OBJECTIVE: To evaluate sensorineural hearing loss in patients 65 years and older with video head impulse test findings.

METHOD: The patient were divided into two groups as 65-74 years and 75-85 years age in order to evaluate the relationship between vHIT gain values and age. 36 patients aged 65-74 years (18women, 18 men) and 24 patient aged 75-84 years (12 women, 12 men) were included in the study. According to same patient groups sensorineural hearing loss level. 1.Group (26 dB – 55dB mild to moderate hearing loss), 2.Group (55 dB – 90 dB modarate to severe hearing loss) two groups were formed and each patient underwent vHIT.

RESULTS: In the 75-85 age group, the vHIT gain value was compared to the 65-74 age group; for both ear, it was statistically significantly lower ($p<0.05$). There was no statistically significant relationship between the degree of hearing loss in both ear and vHIT gain value ($p>0.05$).

RESULTS: The results of the study implies that sensorineural hearing loss as well as vestibulocular reflex gains are impaired in older ages. However, this deterioration has not affected the degree of sensorineural hearing loss.

Key words: vHIT, vestibular system, sensorineural hearing loss.

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	vii
ŞEKİLLER.....	ix
TABLolar.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. İç Kulak Anatomisi	3
2.1.1. Kemik Labirent	3
2.1.2. Zar Labirent.....	5
2.2. İşitme Fizyolojisi.....	8
2.2.1. İşitmenin fazları	9
2.3. Santral İşitme Sistemi.....	13
2.4. Vestibüler Sistem Anatomi ve Fizyolojisi.....	14
2.4.1. Vestibüler labirentin embriyolojisi ve anatomisi	15
2.5. Periferik Vestibüler Sistem Fizyolojisi	18
2.6. Santral Vestibüler Sistem Fizyolojisi	25
2.6.1. Vestibüler çekirdekler	25
2.6.2. Vestibülo-oküler refleks (VOR).....	26
2.6.3. Vestibülospinal refleks (VSR)	28
2.6.4. Vestibülokolik refleks	29
2.6.5. Proprioseptif Duyu (Derin Duyu)	29
2.7. Baş İtme Testi (Head Impulse Test -HIT) ve Video Baş İtme Testi (Video Head Impulse Test –vHİT-)	30
2.8. Vestibüler Sistem Hastalıkları.....	31
2.9. Saf Ses Odyometri.....	32
2.10. Akustik İmmitans Kavramı ve Timpanometri	34
2.11. İşitmenin Değerlendirilmesi ve İşitme Kayıplarının Sınıflandırılması.....	34

2.11.1. Sensörinöral işitme kaybı-SNİK	35
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	38
3.1. vHIT Test Tekniği ve Ölçümler	39
3.2. İstatistiksel Değerlendirme.....	43
4. BULGULAR.....	44
5. TARTIŞMA.....	47
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR	56



KISALTMALAR ve SİMGELER

AICA	Anterior inferior serebellar arter
AP	Aksiyon potansiyeli
BVK	Bilateral vestibüler kayıp
DTH	Dış tüy hücre
EP	Endolenfatik potansiyel
HIT	Baş itme testi (<i>Head Impulse Test</i>)
İTH	İç tüy hücre
KM	Koklear mikrofonik
LARP	Sol anterior sol posterior (<i>Left Anterior Right Posterior</i>)
LP	Sol posterior (<i>Left Posterior</i>)
LVST	Vestibülospinal traktus
MCL	En rahat ses seviyesi (<i>Most Comfortable Level</i>)
MVST	Medial vestibülospinal traktus
OTR	Oküler tilt reaksiyonu
RA	Sağ anterior (<i>Right Anterior</i>)
RALP	Sağ anterior sol posterior (<i>Right Anterior Left Posterior</i>)
RST	Retikülospinal traktus
SAT	Konuşmayı fark etme eşiği (<i>Speech Awareness Threshold</i>)
SD	Konuşmayı ayırt etme (<i>Speech Discrimination</i>)
SNİK	Sensörinöral işitme kaybı
SP	Sumasyon potansiyeli
SRT	Konuşmayı alma eşiği (<i>Speech Reception Threshold</i>)
SSK	Semisirküler kanal
SSO	Saf ses ortalaması

UCL	Rahatsız edici ses seviyesi (<i>Uncomfortable Loudness</i>)
vHIT	Video baş itme testi (<i>Video Head Impulse Test</i>)
VOR	Vestibülooküler refleks (<i>Vestibuloocular reflex</i>)



ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Kokleanın şematik yapısı.....	5
Şekil 2.2. Corti organı.....	8
Şekil 2.3. Bekesy ilerleyen dalga modeli Terimler Türkçeye çevrilmiştir	10
Şekil 2.4. İşitmenin temel santral bağlantıları	14
Şekil 2.5. Semisirküler kanalların (SSK) kafa içindeki yerleşimleri.	18
Şekil 2.6. Semisirküler kanallar, kemik labirent ve zar labirent, makula ve kupula İki farklı şekilden uyarlanarak elde edilmiştir.	20
Şekil 2.7. Utrikül ve sakkülün yerleşim düzlemleri. Kesikli çizgiler, striolayı temsil etmektedir.....	21
Şekil 2.8. Vestibülooküler Refleks (VOR) (Sol horizontal kanal VOR)	27
Şekil 2.9. vHIT' te, SSK konumuna uygun baş hareketleri.....	31
Şekil 3.1. vHIT testinde hastanın konumu.....	40
Şekil 3.2. Horizontal kanal vHIT'de hasta ve klinisyen konumu.	41
Şekil 3.3. Horizontal kanal vHIT' de ekran görüntüsü.....	42

TABLÖLAR

Tablo 2.1. Periferik ve santaral vestibüler hastalıkların sınıflandırılması	32
Tablo 2.2. Yetişkinlerde İşitme Kaybının Şiddetine Göre Derecelendirilmesi	35
Tablo 4.1. Hastaların yaş ortalamaları.....	44
Tablo 4.2. Yaş gruplarına göre hava yolu eşikleri ve vHIT kazanç değerleri.....	44
Tablo 4.3. Yaş gruplarına göre hava yolu eşikleri ve vHIT kazanç değerlerinin karşılaştırılması.....	45
Tablo 4.4. Sağ kulak hava yolu eşiklerine göre vHIT kazanç değerlerinin karşılaştırılması.....	45
Tablo 4.5. Sol kulak hava yolu işitme eşiklerine göre vHIT kazanç değerlerinin karşılaştırılması	46

1. GİRİŞ

Sensorinöral (S/N) işitme kaybı, dünyada 360 milyondan fazla insanı etkileyen en yaygın duyuusal hastalıktır (1) ve bu hastaların birçoğu baş dönmesi ve ilgili vestibüler semptomlardan yakınmaktadır (2).

Sensörinöral işitme kaybı, kokleadan beyne kadar devam eden işitme yolunun her hangi bir yerindeki patolojiden kaynaklanmakla birlikte çoğunlukla Corti organındaki duyu hücrelerinin hasarı ile ilişkilidir (3-5)

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)' nün kronolojik sınıflandırmasına göre 65-74 yaş arası erken yaşlılık evresi, 75-85 yaş arası orta yaşlılık evresi, 85 yaş ve sonrası ileri yaşlılık evresi olarak kabul edilmiştir (6).

İleri yaşlarda, işitme sorunlarının daha sık görüldüğü ve etkisinin daha fazla olduğu alan iç kulaktır (7). İç kulak, koklea ve vestibüler organlardan oluşur. Aynı reseptörlere (tüy hücreler) ve aynı iç ortama (endolenf) sahiptirler. Vestibüler organlar, utrikül, sakkül ve üç semisirküler (SSK) kanaldan oluşur. Koklea sesi algılar, otolit organlar (utrikül ve sakkül) ve semisirküler kanallar, başın lineer ve vertikal hareketlerini algılar (8).

Presbiakuzi, yaşlı bireylerdeki sensörinöral işitme kaybı olarak tanımlanmaktadır (9). İşitme kaybı, iç kulakta biyolojik yaşlanmaya bağlı olarak tüy hücre harabiyeti ile karakterizedir (10). İç kulakta Corti organında, stria vaskularisde, spiral ganglionlarda, baziler membran ve vasküler mekanizmada yaşa bağlı oluşan patolojinin derecesi arttıkça presbiakuzi oluşma ihtimali ve derecesi de artmaktadır. İşitme kaybı daha çok bilateral, simetrik (11-13).

Bir iç kulağın anatomik yapılarının yakın lokalizasyonu ve aynı etiyopatojenik faktörün neden olduğu hasar olasılığı, sensörinöral işitme kaybının vertigo ve baş dönmesi ile birlikte olabileceğini düşündürmektedir (14).

Yaşlanan popülasyondaki baş dönmesi, dengesizlik nedeni çok faktörlü olsa da, yaşlanan otolitik zar, kalsiyum metabolizmasındaki değişiklikler ve mikrovasküler iskemi gibi faktörlerin tümü rol oynamaktadır. Kantitatif testlerde yaşa bağlı vestibüler fonksiyon bozukluğu belgelenmiştir ve başlangıç yaşı, vestibüler sistemdeki yaşa bağlı hücrel kayıplarla ilişkilidir. Periferik vestibüler sistem dejenerasyonu, insanlarda vestibüloökuler refleks (VOR) kazancında azalmaya sebep olmaktadır (15). VOR'un görevi, baş hareketi sırasında, eşit ve tam tersi olan bir refleksif göz hareketini başlatarak sabit görüş sağlamaktır (16).

vHIT (Video Head Impulse Test-Video Baş İtme Testi), çıplak gözle görülemeyen sakkadların tespit edilmesini sağlamaktadır. VOR kazançları bilgisayar yardımı ile rakamsal olarak hesaplanabilmektedir (17). vHIT, vestibüler sistemdeki üç SSK'ı ve ayrıca vestibüler sinirin superior ve inferior dalını değerlendirmektedir (18) vHIT aynı zamanda, santral vestibüler patolojilerin periferik vestibüler patolojilerden ayırt edilebilmesinde (19) ve benign paroksizmal pozisyonel vertigo tedavisinde uygulanan posterior kanal oklüzyonu cerrahisi başarısının kontrolünde de kullanılabilmektedir (20).

Bu çalışmamızın amacı, 65 yaş ve üzeri bireylerde teşhis edilen sensörinöral işitme kaybı ile vestibüler sistem ilişkisini vHIT kullanarak değerlendirmektir.

H0: Sensörinöral işitme kaybı anormal vHIT bulguları ile ilişkisizdir.

H1: Sensörinöral işitme kaybı anormal vHIT bulguları ile ilişkilidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İç Kulak Anatomisi

Bir anatomist olan Gabriele Fallopio (İtalya 1523-1562), kulak anatomisini ilk tanımlayan bilim insanıdır. Gabriele Fallopio, iç kulağı iki bölüme ayırmış; birinci bölümün vestibül ile semisirküler kanalları (SSK) ve ikinci bölümün ise, kokleayı içermekte olduğunu belgelemiştir (21).

İç kulak morfolojisinin incelenmesinde en önemli adım, Alphonso Corti (1851)'nin günümüzde de kabul edilen metodolojisidir. Corti, koklear kanalı radyal keserek Corti organını tanımlamış ve bunları anatomik planlar halinde çizmiştir. Corti'den sonra Reissner, Deiters, Bottcher, Claudius, Hensen ve özellikle Retzius kokleanın ayrıntılı çizimlerini yapmışlardır. Retzius'un çizimleri bugünkü mikroskopik çizimlerle hemen hemen aynıdır (22).

İç kulak, isitme ve denge ile ilgili reseptörlerin bulunduğu kısımdır ve temporal kemiğin petröz bölümünde bulunur (23). Yuvarlak ve oval pencereler aracılığıyla orta kulakla; koklear ve vestibüler aquaduktuslar aracılığıyla da kafa içiyle bağlantılıdır. Kemik (*osseöz*) ve zar (*membranöz*) labirent olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur (24,25).

2.1.1. Kemik Labirent

Kemik (*osseöz*) labirenti, otik kapsül adı verilen sert kompakt kemik dokusu oluşturmaktadır. Zar labirent bunun içinde yer almaktadır. Aralarında perilemf adı verilen sıvı bulunur (26,27). Otik kapsül vücudun en sert kemiğidir (22).

Kemik labirent, vestibül, semisirküler kanallar, koklea, aquaduktus vestibüli, aquaduktus kokleadan oluşur.

Vestibül: Kelime itibarı ile “giriş, açıklık, antre, hol” anlamlarına gelen vestibül, kemik labirentin orta kısmında yer alır (28-34). Yaklaşık 4mm çapında düzensiz ovoid bir kavitedir. Üst ve arka duvarda semisirküler kanallarla birleşir (26). Vestibül, lateral duvarındaki oval pencere yoluyla, iç kulağın, orta kulak ile bağlantısını da sağlar. Vestibüler uç-organlardan utrikül ve sakkül, vestibülde yer alır (28-34).

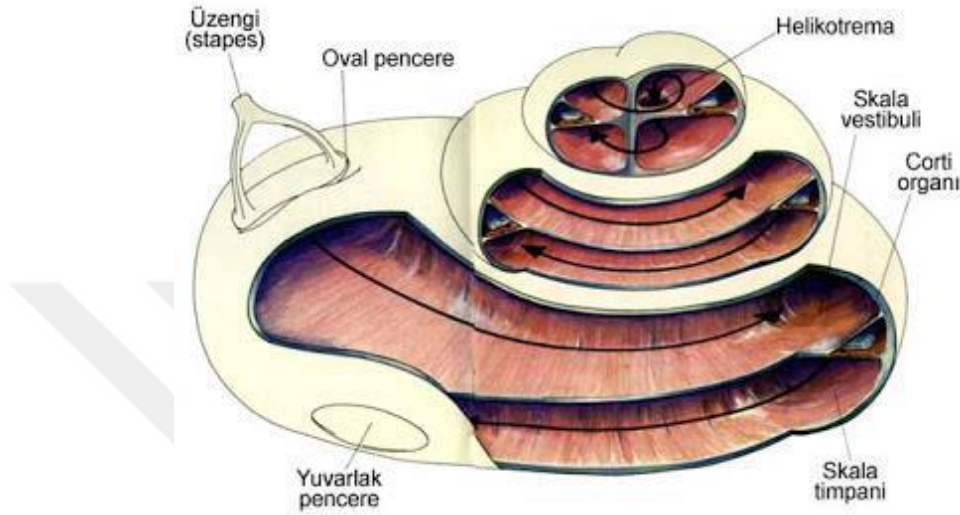
Semisirküler kanallar (SSK): Anterior (superior), posterior (inferior) ve lateral (horizontal) olmak üzere üç adet semisirküler kanal bulunur ve bu kanallar vestibüle açılır (26).

Koklea: Kemik labirentin salyangoza benzeyen bölümüdür. Ortasında modiolus adı verilen koni şeklinde bir kemik bulunmaktadır. Bu koninin etrafında duktus koklearis bulunur, yaklaşık 30 mm uzunluğundadır. Duktus koklearis, modiolus çevresinde 2,75 tur yapar; Bu turlar apikal, medial ve bazal tur olarak isimlendirilir (24,36).

Ses reseptörü olarak özelleşmiş bir organ olan kokleanın histolojik kesitlerinde, üstte skala vestibüli, ortada skala media ve altta skala tympani olarak isimlendirilen üç farklı alana ayrıldığı tespit edilmiştir. Skala vestibüli ve skala tympani perilenf içeren, oval pencereden başlayıp yuvarlak pencerede sonlanan uzun birer tübüler yapıdırlar (37,38). Skala vestibüli ve skala timpani en üst kısımda birleşerek helikotremayı oluşturur (39,40) (Şekil 2.1). Skala timpani orta kulak boşluğuna yuvarlak pencere ile açılır. Skala media ise endolenf ile dolu olup değişik ses frekanslarına cevap veren iç ve dış tüy hücrelerin bulunduğu Corti organını içermektedir (Şekil 2.2). Corti organı koklear kanalda lamina spiralis ossea üzerinde yer alır. Hem iç hem de dış tüy hücreleri motor sinir uçları içerir. Corti organının bipolar afferent nöronlarının hücre gövdeleri, modiolusda bulunur ve spiral ganglionu oluşturur (37,38).

Skala media ise kapalı bir uç halinde helikotremada sonlanır. Skala vestibüli ve skala timpani, Na⁺ oranı yüksek, K⁺ iyonu düşük perilenf adı verilen sıvı ile doludur. Skala media ise K⁺ oranı yüksek, Na⁺ oranı düşük olan endolenf

ile doludur. Endolenf ve perilenf, kokleanın metabolizmasında önemlidir. Skala media ile skala vestibüli birbirinden Reissner membranıyla, skala media ile skala timpani, baziler membran ile ayrılır. Baziler membran üzerinde Corti organı bulunur (39,40) (Şekil2.2).



Şekil 2.1. Kokleanın şematik yapısı (41)

Akuaduktus vestibüli: Bu kanalın içinde zar labirente ait ductus endolenfatikus ve onun ucunda sakkus endolenfatikus vardır.

Akuaduktus koklea: Bu kanal içinde ductus perilenfatikus ve v. kanalikuli koklea vardır (26,37,42).

2.1.2. Zar Labirent

Zar (membranöz) labirentin içi “endolenf”, membranöz labirent ile kemik labirent arası ise “perilenf” ile doludur. Perilenf, sodyumdan (Na^+) zengindir, elektrolit bileşimi hücre dışı (ekstrasellüler) sıvıya ve serebrospinal sıvıya benzer ($[\text{K}^+]=10 \text{ mEq/l}$; $[\text{Na}^+]=140 \text{ mEq/l}$); venüller ve orta kulak mukozasını drene eder. Endolenfin bileşimi ise hücre içi (intraseellüler) sıvıya benzer ($[\text{K}^+]=144 \text{ mEq/l}$; $[\text{Na}^+]=5 \text{ mEq/l}$); kokleadaki stria vascularis tabakasında yer alan hücreler tarafından perilenften sentezlenir. Her iki sıvının elektrolit dengesi karanlık (dark)

hücreler tarafından, aktif transport mekanizmasıyla sağlanır. Endolenf, krista ve makülalarda yer alan karanlık hücreler ve aquaductus vestibuli yoluyla, posteriorda dura materin altına doğru uzanan endolenfatik kese tarafından emilir. Endolenfatik kese ayrıca labirent ve orta kulağın lokal immünolojik yanıtlarının düzenlenmesinde de görev alır (28,31,33,34,43-45).

Zar labirent, kemik labirentin içinde yer alır ve kemik labirentin tamamını doldurmaz; ancak 1/3 kısmını doldurur (26,27). Zar labirent şu kısımlardan oluşur: Utrikül, sakkül, ductus semisirkularis, ductus endolenfatikus, ductus perilenfatikus, ductus koklearis, corti organı.

Utrikül: Denge organlarıyla ilgili olan iki keseden (utrakül ve sakkül) geniş olanı utriküldür. Kemik labirent vestibülün arka üst kısmında yer alır (46). Utrikül duvarının iç yüzünde vücut dengesiyle ilgili spesifik hücreleri barındıran maküla yer alır.

Sakkül: Sakkül, kemik labirent vestibülün ön alt bölümüne doğru uzanan küçük yuvarlak bir yapıdır (46). İç yan duvarında maküla yer alır. Makülada bulunan tüy hücreler vücudun lineer hareketiyle uyarılır (26). Sakkül, çoğu memeli dışı canlılarda sese duyarlı primer veya sekonder işitme organı olarak görev alır. Memelilerde primer işitme organı koklea olsa da belli uyaran şiddetine ulaşıldığında sakkül devreye girmektedir (47).

Duktus semisirkularis: Kemik semisirküler kanalların içerisinde bulunur. Ancak kemik kanalların 1/5 kalınlığındadır. Diğer 4/5'lik kısmı perilenf ile doludur. Membranöz kanalların ampullaları içerisinde, krista ampullaris adı verilen şişkin ucunda duyu ve destek hücreleri mevcuttur (26,35). Bu duktusların bütün uçları utrikülusa açılır. Bu hücreler vücudun dairesel hareketleriyle uyarılır.

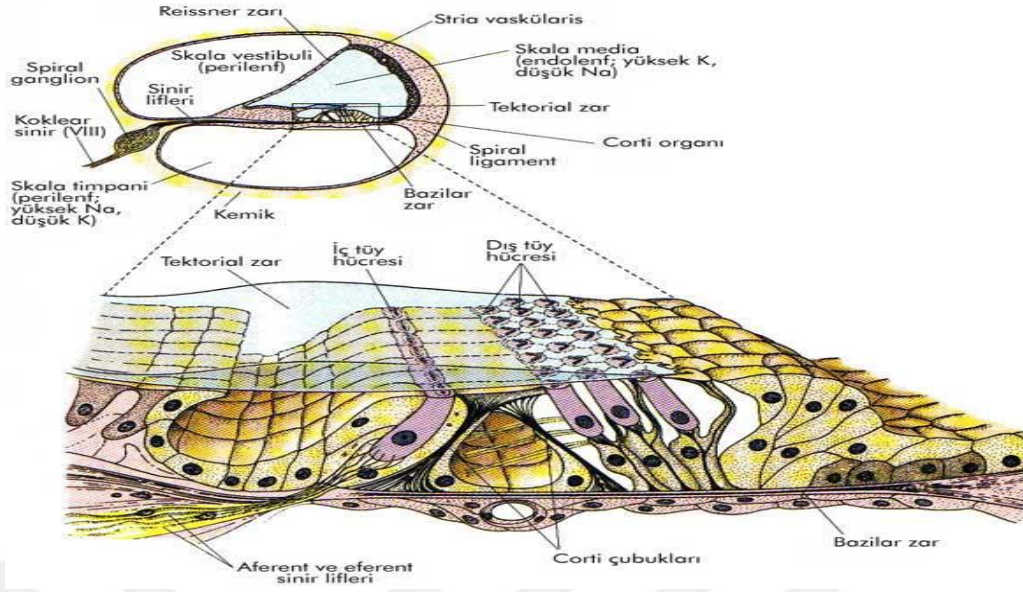
Duktus endolenfatikus: Duktus utrikülosakkularis adlı borucuktan doğar. Aquaduktus vestibüli adlı kemik kanal içinde ilerler. Sakkus endolenfatikus adı verilen şişlikte dura mater altında sonlanır (26,35).

Duktus perilenfatikus: Aquaduktus koklea içerisinde bulunur ve skala timpani ile subaraknoid boşluğu birleştirir. İçinde perilenf bulunur (26,35).

Duktus koklearis: İşitme duyusuyla ilgili zar labirentin parçasıdır. Duktus koklearis, kemik labirentteki koklea içinde merkezi bir konumdadır ve kemik labirenti, skala timpani ve skala vestibüli olmak üzere iki kanala bölmektedir. Duktus koklearisin alt duvarında işitmeyle ilgili duyu ve destek hücrelerinin yer aldığı Corti organı bulunur (26,35).

Reissner membranı (membrana vestibularis), duktus koklearisin üst duvarını oluşturur. Skala vestibüli ve skala mediyayı birbirinden ayırır. Bu oluşumu yukarıdan sınırlayan çıkıntıya prominenta spiralis adı verilir. Dış duvarın iç yüzünde stria vaskularis denilen, damardan zengin bir tabaka mevcuttur. Ligamentum spirale koklea, duktus koklearisin dış duvarını oluşturur (26,35).

Corti organı: Duktus koklearisin alt duvarında, baziler membranın üzerinde bulunur ve kupulaya kadar uzanmaktadır. Bazılar membran üzerindeki Corti organında iç tüy hücreler (İTH) ve dış tüy hücreler (DTH) adı verilen sensorial hücreler ve bu hücreler arasında da Dieters, Cladius, Hensen adı verilen destek hücreleri yer almaktadır. Sensorial hücrelerin her birinin alt yüzünden sinir fibrilleri çıkar. Bu sinir lifleri kümeler oluşturarak kemik spiral laminaya gider ve modiolusta bulunan işitme ganglionunda sonlanır. Bu gangliona, spiral ganglion adı verilir. İTH ve DTH'leri inerve eden sinir lifleri, spiral ganglionda yer alır. Corti organında; ses titreşimleri nöroepitelyal hücreler aracılığıyla elektriksel potansiyellere dönüşür. İTH'ler tek sıralıdır, DTH'ler ise üç-dört sıralıdır. Tüylü hücrelerin üzerindeki kütiküler plakta titreşim tüyleri (stereosilia) yer alır. Stereosilialar kendi aralarında bir düzen içinde sıralanmıştır. İTH'lerde bu düzen duktus koklearise paralel, DTH'lerde ise 'W' veya 'V' şeklinde oluşmuştur. DTH'de, stereosilialar tektorial membran ile temas halinde bulunurlar, İTH ise tektorial membran ile doğrudan temasta bulunmaz. Tektorial membran, kemik spiral laminadan başlayarak DTH'lerin üzerini örten ve jel kıvamında bir madde içeren yapıdır (24,36).



Şekil 2.2. Corti organı (41)

2.2. İşitme Fizyolojisi

İşitme sistemi, periferik işitme sistemi ve santral işitme sistemi olarak iki bölümde incelenir (48). İşitme siniri ve serebellopontin açığı arasındaki alan retrokoklear alan olarak adlandırılır (49).

Santral işitme sistemindeki temel yapılar sırasıyla koklear çekirdekler, superior olivier kompleks, lateral lemniskus, inferior kollikulus, medial genikulat cisim ve işitme korteksidir (49).

İşitme, atmosferde meydana gelen ses dalgalarının aurikula tarafından toplanıp, beyindeki merkezlerde, karakter ve anlam olarak algılanmasına kadar geçen süreç olarak tanımlanmaktadır ve "işitme sistemi" olarak adlandırılan kompleks bir yapı tarafından gerçekleştirilir (24).

Ses uyarılarının algılanması dış kulak, orta kulak, koklea, VIII. sinir ve kortekse kadar uzanan yapıların sistematik uyumu ile sağlanır (49).

2.2.1. İşitmenin fazları

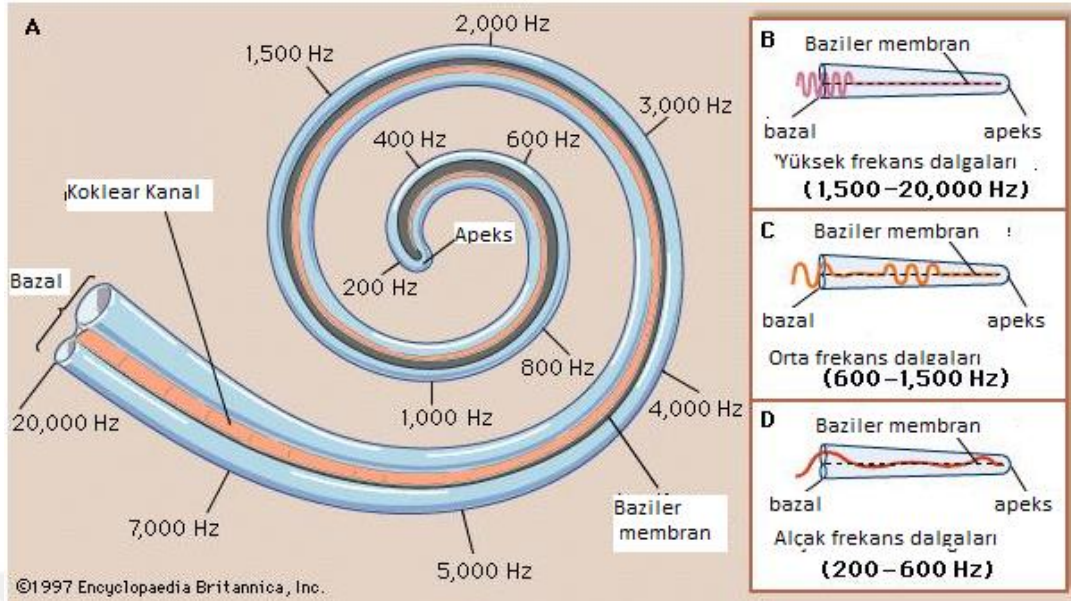
İşitme, birbiri ile sistematik bir uyum içerisinde olan dört fazdan meydana gelir.

- İletim (*conduction*) fazı
- Dönüşüm (*transduction*) fazı
- Sinirsel Kodlama (*neural coding*) fazı
- Birleştirme-Algılama (*association-cognition*) fazı

1. İletim fazı: İşitmenin gerçekleşmesi için öncelikle ses dalgalarının atmosferden dış ve orta kulak aracılığıyla Corti organına iletilmesi gereklidir.

2. Dönüşüm fazı: İç kulakta frekansların periferik analizleri yapılır ve Corti organında ses enerjisi, biyokimyasal olaylarla elektrik enerjisine dönüşür; bu aşamadan hemen önce oluşan faz farkı sonucu, ses dalgalarının perilenfe geçmesi ile perilenf hareketlenir ve baziler membranda titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler bazal turdan başlayarak apikal tura ulaşır (18).

Bekesy, bu harekete ‘‘ilerleyen dalga’’ (*travelling wave*) adını vermiştir (Şekil 2.3) Titreşimlerle oluşan bu yer değiştirme baziler membranın, bazal ucundan başlayarak apekse doğru ilerler. Bu yayılma hem enine hem de boyuna, iki yönde gerçekleşir. Bazal membran bazal turda dar (0,12 mm) ve apikal tura doğru genişliği artar (0,5mm), gerginliği giderek azalır. Bu fark nedeniyle ses dalgası, bazal turdan, apikal tura kadar gezinen dalgayla götürülmüş olur. Bekesy’nin ortaya koyduğu diğer bir özellik te, bu dalgaların baziler membran üzerinde amplitüdlerinin her yerde aynı olmadığıdır (32,51-53).



Şekil 2.3. Bekesy ilerleyen dalga modeli (50) Terimler Türkçeye çevrilmiştir

Kokleanın bazalinde, yani stapeze yakın olan kısmında dalga boyu kısa olan yüksek frekans sesler; apikalinde ise dalga boyu uzun olan alçak frekans sesler algılanır. Baziler membrandan başlayıp, işitsel kortekse kadar devam eden bu özelliğe “Tonotopik Organizasyon”adı verilir (54).

Baziler membranın hareketi, tüy hücre hareketleri ile büyük ölçüde ilişkilidir. Tüy hücrelerin titreşim amplitüdları arttıkça, baziler membran amplitüdları da artar. Amplitüd artması özellikle dış tüy hücrelerin hareket amplitüdüne bağlı olarak artış gösterir. Her tüylü hücrenin titreşim amplitüdünün en yüksek olduğu bir frekans vardır (18,52,55).

Kokleada yaklaşık olarak 16.000 civarında olan tüy hücrelerinin, %80’i DTH (12.500 hücre), geri kalan %20’si (3500 hücre) İTH’dir (57,58). Kokleada bulunan tüy hücrelerin temel fonksiyonu, mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüşmesini sağlamaktır. Bazal membrandaki yer değişimi, tektorial membran ve retiküler lamina arasındaki DTH’leri bükerek hareketlenmesini sağlar. Tektorial membran ve retiküler lamina arasındaki sıvı hareketi İTH’leri hareketlendirir. Böylece, iç tüy hücreleri hız, dış tüy hücreleri yer değiştirme algılayıcısı olarak görev alır (18,52,55).

Transdüksiyon olayının meydana gelişi, yani baziler membran hareketleri ile sinir enerjisinin oluşması, kokleada bulunan dört farklı ekstrasellüler elektriksel potansiyelin fonksiyonu ile bağlantılıdır. Bu potansiyeller endolenfatik potansiyel (EP), koklear mikrofonik (KM), sumasyon potansiyeli (SP) ve aksiyon potansiyeli (AP) olarak adlandırılmaktadır (24).

Endolenfatik potansiyel (EP): Koklea dinlenme halindeyken bile mevcut olan elektrik potansiyelidir (59). Skala mediada var olan elektriki potansiyeldir. Diğer elektriki potansiyeller gibi akustik uyarıya bağlı değildir. EP, kokleadaki stria vasküleriste oluşur. Bu bölgenin tahrip edilmesi elektriki potansiyeli düşürür. EP, transdüksiyon için mutlaka gereklidir (24).

Koklear mikrofonik (KM): Koklea içinde veya oval pencere kenarından ölçülebilen alternatif bir akımdır. Büyük oranda DTH'lere ve bunların meydana getirdiği K⁺ iyonu akımına bağlıdır. Baziller membran hareketleri ve ses uyarımları ile direkt ilişkidir. DTH'lerin stereosilyalarının hareketi ile direnci değişir. Stereosilyaların modiolustan uzaklaşmaları ile direnç düşer; modiolusa yaklaşmaları halinde ise artar. Endolenfatik potansiyel de bu hareketlerden etkilenir. DTH hasarında koklear mikrofonik kaybolmaktadır. KM dalga şekli baziler membran hareketleri ile benzerlik göstermektedir (24).

Sumasyon potansiyeli (SP): SP'yi, İTH içindeki elektriksel potansiyelin oluşturduğu düşünülmektedir. Yüksek şiddetteki uyarımlarla daha belirgin hale gelirler ve bu yönüyle koklear mikrofonikten ayrılırlar. Ses uyarımına, frekansına ve şiddetine göre değişiklik gösterir (60).

Aksiyon potansiyeli (AP): Bileşik aksiyon potansiyeli olarak ta adlandırılmaktadır. İşitme sinirinin aksiyon potansiyelleri, sinir üzerinden, yuvarlak pencereden ya da kokleadan kayıt edilebilir. İnsanlarda DKY'den ya da saçlı deriden de kayıt edilebilir.

İTH'lerin stereosilyaları tektorial membran ile doğrudan ilişki kurmazlar. Aralarında zayıf bir bağ dokusu vardır. Buna karşılık DTH'lerin stereosilyaları

tektorial membran ile sıkı bir ilişki içindedir. Stereosilyaların tepelerinde spesifik olmayan iyon kanalları mevcuttur. Bu kanallar stereosilyaların hareketi ile açılır ya da kapanır. Baziler membran hareketleri ile stereosilyalar da hareket eder ve iyon kanalları hareketin yönüne göre açılır ya da kapanır (60,61).

Endolenf içinde +80 mV'luk bir endolenfatik potansiyel vardır. Buna karşılık tüylü hücrelerin içinde negatif elektriksel yük bulunur. Bu yük İTH'lerde -45 mV, DTH'lerde ise -70 mV'tur. Bu fark nedeni ile hücre içine doğru K⁺ iyonları akımı ortaya çıkar ve kimyasal birtakım transmitterler aracılığıyla K⁺ akımı bir elektriksel polarizasyon meydana gelir (63). Sonuçta baziler membran hareketleri elektriksel akıma dönüşmüş olur ve kendileri ile ilişkili olan sinir liflerine bu elektriksel potansiyel aktarılır. Bu yolla mekanik enerji, stapes tabanından perilenfe aktarıldıktan sonra tüy hücrelerde elektriksel akıma dönüştürülür ve böylece işitmenin transdüksiyon aşaması gerçekleşmiş olur (61).

3. Sinirsel kodlama fazı: Corti organında tüylü hücrelerde oluşan elektriksel akım, akustik nöronların dendritlerini uyarır. Her frekanstaki ses uyarını baziler membranda, farklı bir alanda uyarı oluşturur. Yüksek frekanstaki sesler kokleanın bazal bölgesinde, alçak frekanslı sesler ise apeks bölgesinde maksimum amplitüd meydana getirir. Bu şekilde sinir enerjisi frekans ve şiddetine göre değişik sinir liflerine iletilir. Sonuç olarak kulağa gelen ses şiddetine ve frekansına göre Corti organında kodlama yapılır (62-63).

4. Birleştirme-algılama fazı: Corti organ ve spiral gangliondaki sinir hücrelerinin aksonları, koklear siniri oluşturarak, koklear çekirdeklere ulaşırlar. Koklear çekirdekler, ventral ve dorsal olmak üzere iki gruptur. Düşük frekanslı seslerle oluşan uyarı ventral koklear çekirdekte, yüksek frekanslı seslerle oluşan uyarı, dorsal koklear çekirdekte sonlanır. Bu liflerin çoğu beyin sapının karşı tarafına geçerek superior oliver komplekse, buradan da lateral lemniskus ve inferior kollikulusa ulaşırlar. Inferior kollikulustan çıkan lifler, medial genikulat nükleus aracılığıyla kortekste bulunan işitme merkezine ulaşırlar. İşitme merkezi temporal lobdaki Silvyan fissüründe yerleşmiştir (24). Kokleadan tek tek gelen sinir

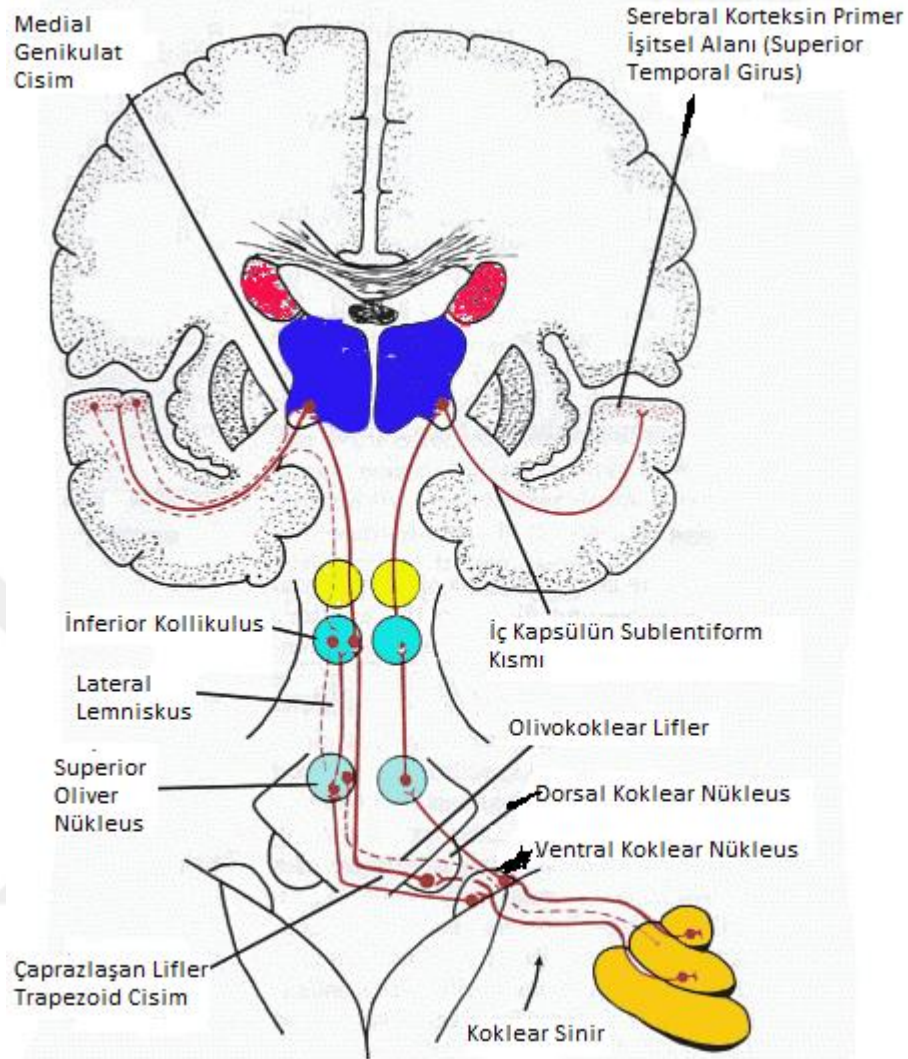
iletimleri, işitme merkezinde birleştirilmekte ve çözümlenmektedir. Böylece sesin karakteri anlaşılır hale getirilmiş olur (64).

2.3. Santral İşitme Sistemi

Santral işitme sistemi birçok gelişimsel ve patolojik durumlardan etkilenen, basit ve sözel olmayan uyaranları, lisan gibi oldukça karmaşık bir eylemi tanımlayan ve ayırt eden birçok nöral yollardan oluşmuş bir sistemdir (66).

Akustik bir uyarı sonucu ortaya çıkan nöral impulslar, kokleadaki modiolus içinde bulunan spiral ganglion hücrelerine gelir. Daha sonra buradan orijin alan VIII. kafa çiftinin koklear fibrilleri aracılığı ile santral işitsel yola gönderilir. Medial genikulat cisim ve santral işitsel kortekse kadar uzanan bu yol kısaca ECOLİ (eight nerve, cochlear nucleus, olivary complex, lateral lemniscus ve Inferior colliculus) şeklinde formülize edilmiştir (Şekil2.4). Tüm bu yol boyunca tonotopik organizasyon büyük oranda korunmaktadır (32).

Ses lokalizasyonu ve lateralizasyonu ile ilgili temporal ve frekans bilgilerinin detaylı olarak analiz edildiği bu bölgenin lezyonlarında, özellikle ses lokalizasyonu ve lateralizasyonu ile ilgili problemler meydana gelmektedir (66).



Şekil 2.4. İşitmenin temel santral bağlantıları (67) .

Tek parça (kesiksiz) renkli çizgiler, birincil işitsel korteks için assending yolları, kesikli çizgiler dessending yolları ifade etmektedir). Terimler Türkçeye çevrilmiştir.

2.4. Vestibüler Sistem Anatomi ve Fizyolojisi

Kulak anatomisi, büyük oranda 19.yüzyılın başlangıcında detaylı olarak tanımlanmıştır. İç kulak sıvılarının keşfedilmesi, Domenico Cotugno ve Antonio Scarpa'nın üstün başarısı olarak literatürde yerini almıştır. Perilenf sıvısı, 1761 yılında Cotugno tarafından tanımlanmıştır. Scarpa ise membranöz labirente ayrı bir sıvının daha olduğunu yani endolenfi tanımlamıştır. Ancak o dönemde SSK'lerin fonksiyonu hala belirlenememiştir. Ondokuzuncu yüzyıl ortalarında,

Fransız fizyolog Pierre-Marie Flourens güvercinler ile yaptığı deneylerde SSK'lerin, kokleadan ayrı olduğunu ve dengede kritik rol oynadığını keşfeden ilk bilim insanıdır (21).

Vestibüler sistem; periferik vestibüler sensoriyel organlar, oküler sistem, postüral kaslar, beyin sapı, serebellum ve korteks arasında iletişim kuran kompleks bir duyu organizasyonudur (69).

Vestibüler sistem, periferik ve santral olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Periferik bölüm, üç SSK, sakkül, utrikül, vestibüler sinir ve vestibüler gangliondan (65), santral vestibüler sistem ise dört adet vestibüler çekirdek, ikincil nöronları ve bunların santral bağlantılarından oluşmaktadır (24).

2.4.1. Vestibüler labirentin embriyolojisi ve anatomisi

Vestibüler uç organlar, gebeliğin 3. haftasından 25. haftasına kadar gelişir. Dördüncü haftanın sonunda otik vezikül (otokist) ortaya çıkar. Otik vezikülün yani membranöz labirentin etrafındaki mezenşim zamanla değişerek önce kıkırdak daha sonra da kemik labirent (otik kapsül) haline gelir. Otik vezikülden, utriküler ve sakküler odacıklar oluşur. Utriküler odacık daha sonra utrikül ve semisirküler kanalları; sakküler odacık ise sakkül ve kokleayı meydana getirecektir. Sakkül ile koklea zaman içinde birbirlerinden ayrılır ve aralarında ductus reuniens adı verilen çok küçük bir bağlantı kalır (24,28-32,47).

Embriyonun 14-16. haftasında, her bir semisirküler kanal duktusun ampullasında birer adet olmak üzere üç ampuller krista; biri utrikülde diğeri de sakkülde olmak üzere iki maküla gelişimi gerçekleşir. Onbirinci haftada maküladaki duyu epiteli ve destek hücreleri ayrılarak otolitler oluşur. Koklear duktus boyunca bir bazal membran ayrımlaşır. Otik veziküle ilk ulaşan lifler efferent liflerdir. Afferent uçların nörosensöriyal epitele gelmesi ile tüy hücre gelişimi başlar. Krista 23. haftada, Corti organı ise 25. haftada erişkin formuna ulaşır. Labirentin geri kalan kısmı prenatal yaşamın ortasında yetişkinlikteki

boyutuna ulaşsa da aquaduktus vestibüli ve endolenfatik kese postnatal dönemde gelişmeye devam ederler (24,28-32,47).

Temporal kemiğin, petröz parçasında bulunan vestibüler sistem, dengenin sağlanmasında rol almaktadır. Vestibüler uç organlar, işitme duyusunun algılandığı koklea ile birlikte kemik labirent içinde yer alır (28-34). Kemik labirentin içinde zar (membranöz) labirent bulunur (Şekil 2.6) Vestibüler uç organlar membranöz labirentte bulunur. Membranöz labirentin vestibülün içindeki kısmında, birbirine bağlı iki kese şeklinde utrikül ve sakkül bulunur. Membranöz labirentin, semisirküler kanalların içindeki kısımları da, semisirküler duktus olarak adlandırılır (34).

Kemik (Osseöz) Labirent: Kemik labirent odacık ve kanallardan oluşan, karmaşık bir anatomiye sahiptir. Bu kanallar işitme ve dengenin sensöriyal organlarını barındırır. Yaklaşık 1,5 cm² lik alanda anterior koklear bölüm ve posterior vestibüler bölüm yerleşmiştir. Vestibülün santral kısmı daire olarak düşünülürse, bu 4mm lik çapın utrikulus ve sakkulusa ait ressesleri barındırdığı görülür. Bu çembere superior ve posterolateralden 3 semisirküler kanalın açıldığı görülür. Anteriorda vestibül skala vestibüli yoluyla kıvrımlı koklea ile birleşir. Lateralinde, mastoid hava hücreleri, mastoid antruma açılan açıklık (aditus ad antrum) ve orta kulak boşluğu bulunur. Kemik labirentin medialinde bulunan internal akustik kanal 7. ve 8. kranial sinirler ve internal auditory arteri barındırırken, kranial yüzünde yaklaşık olarak temporal lob posterior yüzü ile komşudur. Kemik labirent, kabaca üç kısma ayrılabilir. Anteriorda, koklea; posteriorda, semisirküler kanallar (yarım daire kanalları); bu ikisinin ortasında ise vestibül yer alır (55).

Zar (Membranöz) Labirent: Membranöz labirent kemik labirent ile yakın komşuluk gösterir. Membranöz labirent ile kemik labirent arasında perilenfatik sıvı bulunur. Destekleyici konnektif doku kan damarları kemik labirent periosteumu ve membranöz labirent arasındadır. Membranöz labirent endolenfatik sıvıyı içerir (55).

Utrikül

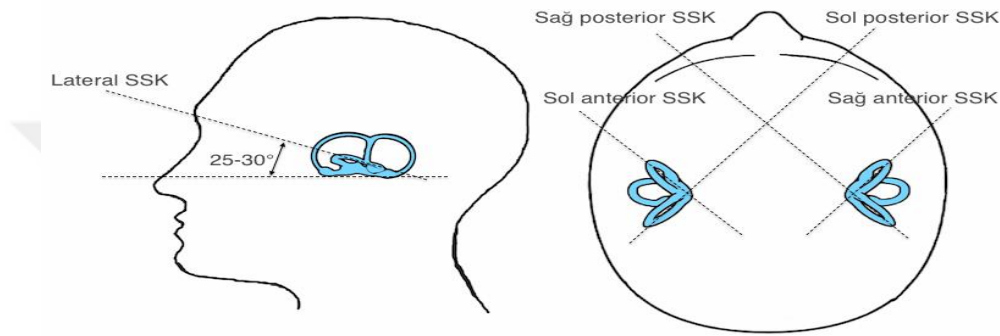
Vestibülün girişinde yerleşmiş, hafifçe düzleşmiş oval bir keseciktir. Medial duvarı vestibülün medial duvarına; laterali ise oval pencere karşısında lateral SSK'nin ön tarafına tutunmaktadır. Oval pencere ile arasında 1,9-2,4 mm, sakkül ile arasında 1,7-2,1 mm mesafe bulunmaktadır (71). Kesenin içinde endolenf bulunmaktadır. Bu kesenin anterolateral yarısında, kafa tabanına paralel olarak 3x2 mm boyutlarında kalınlaşmış, endolenf hareketini algılayan silyalı hücreleri içeren maküla bulunmaktadır (72).

Sakkül

Sakkülün, utrikül veya SSK'ler ile direkt bir bağlantısı yoktur (73). Utrikül ile arasında bağlantıyı sağlayan utrikülo-sakküler duktus bulunur. Utrikülden daha küçüktür ve vestibül içerisinde ön kısımda yerleşmiştir. Utrikül makulası yatay düzlemde yerleşmiş olmasına rağmen, sakkülün makulası vertikal düzlemde yerleşmiştir. Bu sebepten utrikül horizontal plandaki hareketten etkilenirken sakkül vertikal plandaki hareketlerden etkilenmektedir (72,74). Ancak utrikül makulasının kemiğe rijit olarak tutunmadığı, daha çok mebranöz labirentle temas ettiği, anteriorda kaudal kısmının kemik ile temas etmediği patolojik kesitlerle ispat edilmiştir. Bundan dolayı lineer kuvvetten daha kompleks olarak sağ sol şeklinde lineer akselerasyon, antero-posterior akselerasyonda olduğu gibi utrikülü stimüle edebilir (75). Utrikülün aksine sakkülün makulası kemik labirente sıkıca tutunmuştur.

Semisirküler kanallar (SSK): Anterior (superior), lateral (horizontal) ve posterior (inferior) olmak üzere 3 adettir. Genel olarak SSK'lerin hepsinin birbiriyle 90° açı yaptığı bilinmekle beraber açılanmanın 100° olduğunu söyleyen çalışmalar da vardır (76). Lateral SSK'nın bir ucu horizontal planda 30° yukarıya doğru yerleşmiş halde iken, anterior ve posterior SSK'lar sagittal plandan 45° açı ile yerleşmişlerdir (77) (Şekil 2.5). SSK'ların düz olarak bilinen başlangıç kısımlarına krus simpleks adı verilirken, sonlandığı kısımlardaki genişlemeleri ise ampulla olarak adlandırılır. Anterior ve posterior SSK'ların krus simpleksi ortaktır

ve krus commune olarak adlandırılır (24). Ampulla, krista (nöroepitelyum), kupula, destek hücreleri, bağ dokusu, vasküler yapılar ve nöronal yapılardan oluşmaktadır. Krista; ampulla tabanına eyer şeklinde ve ampulla uzun eksenine dik olarak yerleşmiştir. Üzerinde endolenf hareketlerine duyarlı tüy hücreler (kinosilya, stereosilya) ve destek hücreler bulunmaktadır (76). Ampullaların içinde endolenf akımıyla eğilip bükülme gösteren esnek bir membran olan kupula yer alır (75).



Şekil 2.5. Semisirküler kanalların (SSK) kafa içindeki yerleşimleri (28).

2.5. Periferik Vestibüler Sistem Fizyolojisi

Denge sisteminin temel olarak iki işlevi vardır:

1. Baş hareketleri sırasında görme alanını sabit tutmak,
2. Yerçekimi alanında duruşu ve dengeyi kontrol etmek

Bu görevlerini, duyuusal verilerin alınması, işlenmesi ve daha sonra motor çıktılara dönüştürülmesi ile tamamlar (78).

Dengenin sağlanmasında görev alan 3 sistem vardır. Bunlardan birincisi görsel (vizüel) sistem, ikincisi somatosensoriel (proprioseptif) sistem ve üçüncüsü vestibüler sistemdir. Vestibüler sistemin temel görevi baş hareketleriyle oluşan uyarıları işleyip diğer sistemlerle beraber dengeyi sağlamaktır (79).

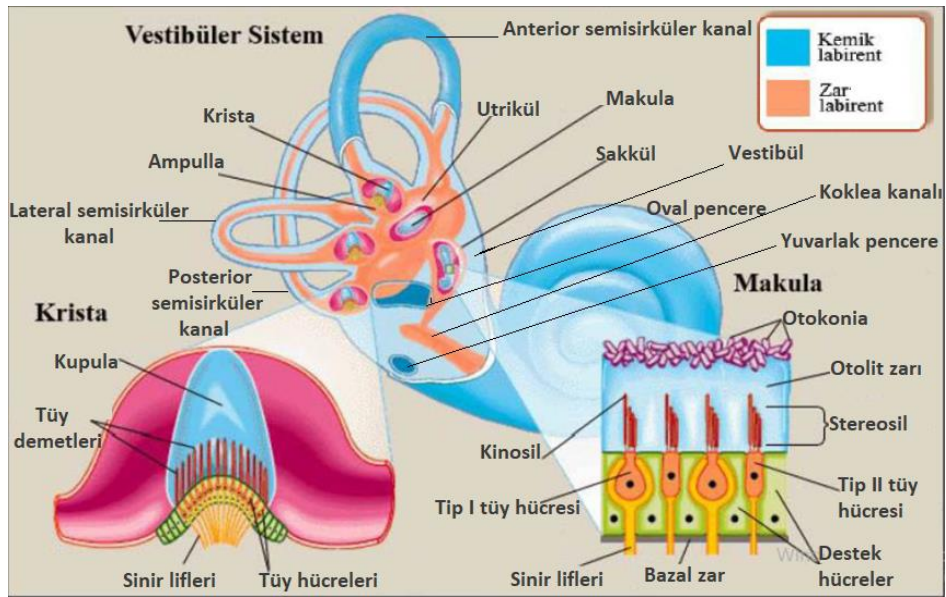
Vestibüler sistemde, baş hareketlerine duyarlı beş adet oluşum bulunmaktadır. Bunların üçü SSK'ların ampullarındaki kupula ve krista çiftidir, diğerleri ise sakkül ile utriküldür (99). Vestibüler reseptör hücrelerin çalışma prensipleri tüm vestibüler uç organlarda aynıdır. Ancak, bu hücrelerin yerleşim özellikleri, SSK'lar ile utrikül ve sakkülde farklılık gösterir. SSK'larda bulunan özelleşmiş vestibüler duyu epiteline “krista (*crista*) ampullaris”; sakkül ve utrikülde bulunan özelleşmiş vestibüler duyu epiteline ise maküla (*macula*) adı verilir (28-34,43,44,82)

Krista ampullaris: Her SSK'nın ucundaki ampullanın içinde, vestibüler duyu hücreleri (tüy hücreler) ile destek hücrelerinin yerleştiği “krista ampullaris” adı verilen bir alan bulunur. Krista ampullarisin üst kısmı, kubbe şeklinde jelatinöz bir madde olan kupula (*cupula*) ile kaplıdır. Krista ampullaristeki tüy hücreler, üstlerini örten kupulanın içine doğru uzanır (Şekil 2.6). Kristaların tepe bölgelerinde daha çok Tip I; kenarlarına doğru daha çok Tip II vestibüler duyu hücreleri mevcuttur (28,31). Kupula, mukopolisakkarit yapıda ampulla tabanında kristadan başlayarak tavana kadar devam eden, SSK ile utrikülün arasındaki sıvı geçişini engelleyen, özgül ağırlığı etarfindaki endolenfle aynı olan bir oluşumdur. Elastik bir membran özelliğindedir (55).

Endolenfatik sıvının semisirküler duktuslar ve ampulla içinde hareket etmesi kupulayı da hareketlendirir. Kupulanın bu hareketi, içinde gömülü halde bulunan vestibüler reseptör hücre tüylerini hareket ettirir. Tüylerin hareketi ile de vestibüler reseptör hücrelerin aktivitesi belirlenmiş olur; semisirküler kanala ve endolenf akımının yönüne göre eksitator veya inhibitör uyarı oluşur (24,85). Kupulanın etkisi ile stereosilyumların kinosilyumlara doğru eğilmesi, hücrenin depolarize olmasına ve uyarım artışına neden olur. Kupulanın ve dolayısıyla stereosilyumların, kinosilyumlardan ters tarafa doğru eğilmesi ise hiperpolarizasyona ve uyarımda azalmaya yol açar(28-34,43,44,82) (Şekil 2.6).

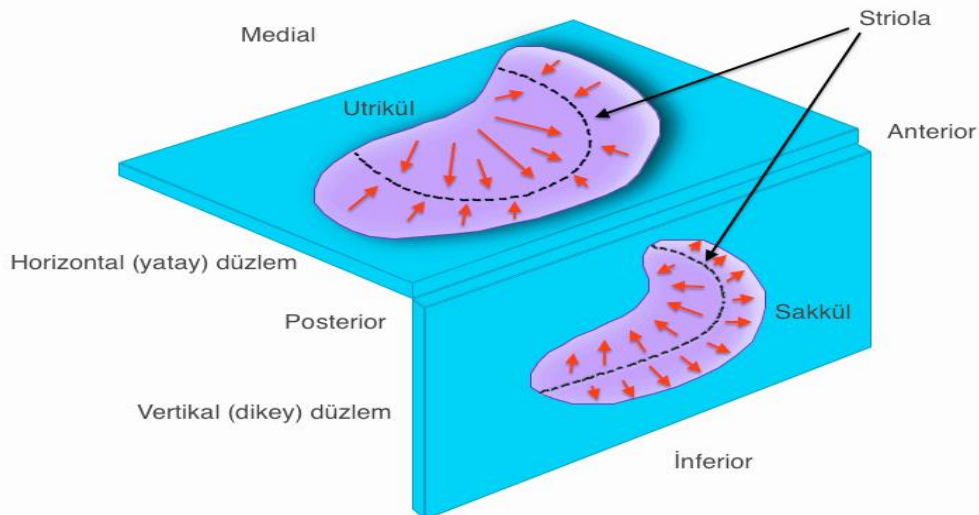
Maküla: Utrikül ve sakkülün iç yüzünde, duvarın kalınlaşmış küçük bir bölümüne yerleşen, çapı yaklaşık 2 mm kadar olan ve maküla (*macula*) olarak adlandırılan küçük bir duyu alanı bulunur (28-34,43,44,82) (Şekil 2.6). Maküla,

yerçekiminden etkilenen nöroepitel hücreler, sinir lifleri, kan damarları, destek hücreleri ve bunun üzerine yerleşmiş otolitik membrandan oluşur (24). Membran dansitesi yaklaşık 1.0 gr/ml dir. Otolitik membranın üzerinde özgül ağırlığı yüksek otolitler (*statoconia*, *otoconia*) bulunmaktadır. Bu otolitler kalsiyum karbonat kristallerinden meydana gelir ve ağırlığı yaklaşık 2.7 gr/ml'dir (24,73). Bu nedenle otolitler normalde endolenf içinde yüzmeyen, maküladaki jelatinöz tabakaya gömülü halde bulunurlar (Şekil 2.6). Otolitlerin ağırlığı, jelatinöz tabaka içine doğru uzanan siliaların yerçekimine doğru eğilmesine neden olur. Makülalarının yapısında otolitler bulunduğu için sakküle ve utriküle “otolitlik organlar” adı da verilir. Vestibüler duyunun algılandığı temel birimler olan vestibüler reseptör hücreler, kokleadaki reseptör hücreler gibi tüylü hücrelerdir. Her vestibüler hücrede, hücrenin apikal ucunda 20-200 arası stereosilyum (stereocilium) ve 1 adet kinosilyum (kinocilium) bulunur (28,31-34,48) (Şekil 2.6). Kinosilyum her zaman en kenarda yer alır. Kinosilyumun olduğu kenardan diğer kenara doğru gidildikçe stereosilyumlar da uzundan kısaya doğru dizilir. Stereosilyumların tepesinde elektron mikroskopuyla bile güçlükle fark edilen çok ince ipliksi bağlantılar bulunur. Bu bağlantılar her bir stereosilyumun ucunu yanındaki daha uzun stereosilyuma, en uzun stereosilyumu ise kinosilyuma bağlanmasını sağlar (28, 86).



Şekil 2.6. Semisirküler kanallar, kemik labirent ve zar labirent, makula ve kupula (83, 84) İki farklı şekilden uyarlanarak elde edilmiştir.

Her makülada, tüy hücrelerin her biri farklı yönlerde doğru bakacak şekilde dizilmiştir. Makülanın içinde, aynı yöne doğru bakacak şekilde dizilmiş tüy hücrelerini, farklı yönde yerleşen hücrelerden ayıran, merkezde, striola adı verilen eğri bir hat bulunur. Sakkül makülada, tüy hücreler kinosilyumları strioladan uzağa doğru bakacak şekilde konumlanırken; utrikül makülada tüy hücreler kinosilyumları striolaya yakın olacak şekilde dizilmişlerdir (28,31,44) (Şekil 2.7). Bu farklılık utrikülün lineer hareketlere daha duyarlı olmasını sağlar. Ani ve öne doğru olan hareketlerde başla beraber destekleyici yapılar eş zamanlı hareket ederler. Otokonyalar ağırlıkları nedeniyle bu hareketin gerisinde kalırlar. Birkaç ms sonra bu hareketi yakalarlar (73). Striola civarında daha çok Tip I vestibüler duyu hücreleri bulunurken, strioladan uzaklaştıkça daha çok Tip II vestibüler duyu hücreleri görülür. Striolaya yakın yerleşen otolitler dejenerasyona karşı daha açıktır (28,31,44). Tip I hücreler yüksek frekanstaki baş hareketlerine, Tip II tüylü hücreler ise düşük frekans baş hareketlerine daha duyarlıdır (87). Bu Tip I ve Tip II hücreler maküladaki otolitik membran içerisinde ve ampulladaki kristalarda bulunurlar (80). Tip I tüylü hücreler morfolojik olarak daha büyük ve düzensiz ateşlenme özelliği bulunan sinir uçlarına sahipken; Tip II hücrelerde düzenli ateşlenme özelliğine sahip daha küçük sinir uçları bulunur (28-34,43,44,82).



Şekil 2.7. Utrikül ve sakkülün yerleşim düzlemleri. Kesikli çizgiler, striolayı temsil etmektedir (28).

Stereosilyumların tek bir hareket yönü vardır, yalnızca kinosilyuma doğru veya kinosilyumdan uzağa doğru eğilebilirler. Stereosilyumlar, kinosilyuma doğru eğildiğinde ipliksi bağlantılar stereosilyumları hücre gövdesinden dışa doğru çeker. Bu hareket, stereosilyumların tabanına doğru, hücre zarında bulunan yüzlerce iyon kanalının açılmasını sağlar. Açılan bu kanallardan çok miktarda pozitif yüklü iyon geçişi olur. Hücre içi, etraftaki endolenfatik sıvıdan gelen pozitif yüklü iyonlarla dolar ve reseptör hücre membranı depolarize olur. Bunun tersine, stereosilyumlar kinosilyumun olduğu tarafın tersine doğru bükülecek olursa ipliksi bağlantılar gevşer, iyon kanalları kapanır ve reseptör hücre membranı hiperpolarize olur (44).

İnsan dik pozisyonda iken, utrikül makülasındaki reseptör hücreler yatay düzleme dik, sakkül makülasındaki reseptör hücreler ise yatay düzleme paralel uzanırlar. Makülalardaki tüylü hücrelerin bu yerleşim özelliği nedeniyle utrikül daha çok yatay düzlemdeki doğrusal kafa hareketlerinin; sakkül ise daha çok yerçekiminin ve dikey düzlemdeki doğrusal kafa hareketlerinin algılanmasını sağlar. Kafa sabit iken vücudun ileri-geri (araç içinde yolculuk gibi), sağa-sola (koltukta düz otururken, koltuğun sağa veya sola itilmesi gibi) yönlü doğrusal hareketleri utrikül makülası tarafından; kafa sabitken vücudun aşağı-yukarı yönlü hareketleri (asansörde inip çıkarken veya uçakta alçalıp yükselirken olduğu gibi) ve yerçekiminin etkisi ise sakkül makülası tarafından tespit edilir. Sonuçta maküla, şekli ve konumu sayesinde tüm yönlerdeki doğrusal hareketleri fark edebilmektedir (28,31-34,88).

Kafa bir yöne doğru çevrildiğinde (açısal hareket), SSK'lar içindeki endolenf eylemsizlik prensibi nedeniyle hareketsiz kalma eğiliminde olur. SSK'lar kafayla birlikte hareket ettiği, içindeki sıvı ise hareketsiz kaldığı için kafanın çevrildiği yönün tersine doğru göreceli bir sıvı hareketi meydana gelir. Örneğin; Kafa sola doğru çevrildiğinde, sağ lateral SSK'da ampullaya doğru olan endolenf akımı, kupulayı ve dolayısıyla tüy hücreleri, kinosilyumun olduğu tarafa doğru iter ve uyarı sıklığı artar. Kafanın dönme hareketi devam ederse, tüy hücrelerden çıkan artmış uyarı giderek azalır ve sonraki birkaç saniye içinde

tekrar istirahat seviyesine döner. Reseptör hücredeki bu adaptasyonun sebebi, ilk birkaç saniyelik dönme hareketi sırasında endolenfatik sıvının semisirküler kanalla aynı hızda dönmeye başlaması ve kupulanın eğilmesi; sonraki saniyeler içinde ise esnekliği nedeniyle kupulanın yavaşça tekrar ampullanın ortasındaki eski pozisyonuna dönmesidir (28,31,34,48).

Dönme hareketi aniden durursa, bu sefer olaylar tam ters şekilde gelişir. SSK'lar durmasına rağmen endolenfatik sıvı hareket etmeye devam eder. Kupula bu sefer tam ters yönde eğilir ve tüy hücrelerden çıkan uyarıların tamamen kesilmesine sebep olur. Birkaç saniye sonra endolenfatik sıvı da durur ve kupula yavaş yavaş istirahat konumuna döner; tüy hücrelerden çıkan uyarılar da artarak tekrar istirahat haline ulaşır. Kısaca, SSK'lar kafa çevrilmeye başladığında bir yöne doğru hareket uyarısı iletirken, kafa durduğunda bir süre daha aksi yöne hareket devam ediyormuş gibi uyarı iletirler (28,31,34,44). Semisirküler duktusların kristaları, hareketin gerçekleştiği kanal düzlemindeki açısız harekete duyarlıdır. Sağ lateral SSK ile sol lateral SSK, sağ posterior SSK ile sol anterior SSK, sağ anterior SSK ile sol posterior SSK birbirinin karşıt eşi gibidir. Bir taraftaki SSK'larda uyarım artışı varsa, karşı kulaktaki eşinde uyarımda azalma meydana gelir (28-31,43,44,82).

Tüy hücrelerin kinosilyumları, kupulanın içinde hep aynı yöne doğru bakacak şekilde yerleşmiştir. Lateral SSK kristalarındaki tüy hücrelerin kinosilyumları, utriküle yakın konumda yer alır. Bu nedenle örneğin baş sağa doğru çevrildiğinde sağ lateral SSK kristasında uyarım artışı (*eksitasyon*), bunun karşılığı olan sol lateral SSK kristasında ise uyarımda azalma (*inhibisyon*) meydana gelir. Bir başka ifadeyle, lateral kanallarda SSK içinde ampulopedal (*ampullaya doğru*) bir endolenf akımı olursa eksitasyon gerçekleşir. Anterior ve posterior semisirküler duktusların kristalarında ise kinosilyumlar, kanalların utriküler uçlarının tersi yönde konumlanmıştır. Bu nedenle anterior ve posterior kanallarda, lateral kanalın tersi olur; ampullaya doğru (*ampulopedal*) olan akım sonucu uyarımda azalma (*inhibisyon*) görülür (28-31,34,43,44,82).

SSK'deki tüy hücreler, başın her türlü dönme, eğilme, çevrilme hareketini ve hareket hızını algılayarak vestibüler sinir yoluyla merkezi sinir sistemine iletirler. (28,31-33,88).

Vestibüler labirentin kan akımı: Vestibüler uç organlar, a. labirinthe (a. auditiva interna veya internal auditory artery olarak da isimlendirilir) tarafından beslenir. Bu damar, genellikle anterior inferior cerebellar artery (AICA) bir dalıdır; ancak a. basilaris (baziler arter) ve nadiren de a. cerebelli superior'dan (superior cerebellar arter) köken alabilir. İç kulağa girerken a. labirinthe, a. vestibularis anterior (anterior vestibüler arter) ve a. cochlearis communis (common koklear arter) dallarına ayrılır. A. cochlearis communis, a. vestibulocochlearis (vestibülokoklear arter) olarak devam eder; a. vestibulocochlearis ise a. vestibularis posterior (posterior vestibüler arter) dalını verir. A. vestibularis anterior ise anterior ve lateral SSK'ları, utrikülü ve sakkülün küçük bir kısmını besler. A. vestibularis posterior ise vestibülün medial yüzü boyunca seyrederek posterior ampullayı ve sakkülün büyük bölümünü besler. Arteriyel dağılım genellikle bu şekildedir; ancak labirentin venöz kan dolaşımı kişiden kişiye değişiklikler göstermektedir (28,31-33,88).

Vestibüler sinirler: Tüy hücrelerden çıkan uyarılar, bu hücrelerin etrafında bulunan sinir uçları tarafından alınır. Bu sinir uçları birleşerek sinir liflerini oluştururlar. Anterior ve lateral SSK ampullaları ile utrikül makülasından kaynaklanan lifler, superior vestibüler siniri meydana getirirler.

Posterior SSK ampullası ile sakkül makülasından kaynaklanan lifler ise birleşerek inferior vestibüler siniri oluştururlar. İnsanlarda utrikül ve her bir semisirküler kanaldan çıkan sinir lifleri sayıca birbirine yakın iken, sakkül kaynaklı sinir lifleri biraz daha azdır. Superior ve inferior vestibüler sinirler, kokleadan gelen koklear sinir ile birlikte vestibülokoklear siniri meydana getirir (31,34). Vestibülokoklear sinir, sensöriyel (duyusal) afferent liflerden meydana gelir. Bununla birlikte bazı kaynaklarda vestibüler efferent liflerinde olduğu, beyin sapından çıkan bu efferent liflerin koklear efferentlerle birlikte (olivo-koklear demet) VIII. kranial sinir içinde seyrettiği ve her iki labirentteki vestibüler

yapılarla sinaps yaptığı belirtilmiştir. Ancak, efferent sistemin fonksiyonu henüz anlaşılamamıştır (31).

2.6. Santral Vestibüler Sistem Fizyolojisi

2.6.1. Vestibüler çekirdekler

Vestibüler çekirdekler, labirentten gelen uyarıların ana işlem noktasıdır. Vestibüler sinir, vestibüler çekirdeğe geldiği zaman lifler ikiye ayrılır. Çıkan (afferent) yollar ve inen (efferent) yollar. Vestibüler çekirdekler superior (Bechterev veya angular), inferior (spiral), medial (Schwalbe veya trianguler) ve lateral (Deiters) olmak üzere dört tanedir. Utrikül ve sakkülden gelen lifler lateral ve inferior çekirdeklerde, semisirküler kanalların lifleri ise süperior ve medial çekirdeklerde sonlanırlar. Böylece lateral ve inferior nükleuslar vestibülospinal refleks, medial ve süperior nükleuslar vestibülooküler refleksler için kavşak noktasını oluştururlar (78).

Vestibüler çekirdekler beyin sapında yaklaşık olarak medulla ile pons arasında bulunurlar. Ayrıca vestibüler çekirdekler, vagus sinirinin parasempatik çekirdekleriyle de bağlantılı olduğu için vestibüler sistem patolojilerinde bulantı kusma meydana gelebilmektedir (45).

Superior vestibüler çekirdek, vestibülooküler refleks (VOR) için ana yönlendirme çekirdeğidir. Medial vestibüler çekirdek, vestibüler çekirdeklerin en büyüğüdür; superior vestibüler çekirdeğin hemen kaudalinde bulunur. Medial vestibüler çekirdek, VOR için önemli semisirküler kanal girdilerini alır; bunun yanında kas tonusunu düzenlemek için vestibülospinal traktusa vestibüler sinyalleri yönlendirir. Özellikle de hızlı ve beklenmedik kafa hareketleri sırasında postürün korunması için önem taşır. İnferior vestibüler çekirdeğin, geniş afferent ve efferent ağıyla diğer vestibüler yapılar arasındaki bütünleşmeyi sağladığı düşünülmektedir . Lateral vestibüler çekirdek veya Deiter's çekirdeği, ventral yüzünde utrikülden gelen, dorsal yüzünde ise serebellumdan gelen bilgileri alır. Vestibüler çekirdeklere gelen afferentlerin birçoğu serebellumdan gelir. Bunu

vestibüler sinir ve spinal korddan gelen primer vestibüler afferentle takip eder (31).

2.6.2. Vestibülo-oküler refleks (VOR)

Vestibülo-ölküler refleks (VOR), net bir görüş sağlamak için başın dönme hareketlerine karşılık göz hareketleri oluşmasını sağlayan ve çok hızlı çalışan bir reflektir (31,33,44,47).

Vestibülo-ölküler refleks; baş hareketleri ile uyumlu düzgün konjuge göz hareketleri oluşmasını sağlar ve bakıőı sabit tutmada rol oynamaktadır. Aynı tarafı aktive ederken diğer planda relaksasyona yol açar. SSK'lar, kafa pozisyonu her deęiőtięinde bu deęiőiklięi algılayarak; kafa hareketinin büyüklüğüne eşit şekilde, kafa hareket yönünün tam tersi yöne doğru gözlerin kaymasını sağlayacak uyarılar iletirler (31,33,44,47).

Günlük hayatımızda baş hareketleri frekansı 1.5-5 Hz arasındadır. Baş hareketi hızı ile göz hareketi hızı aynı oranda olmalıdır ya da iki hız arasındaki fark en fazla 2 derece/sn olmalıdır. VOR 8Hz'e kadar olan hareketleri yakalayabilir. Serebellum ise 1Hz altındaki göz hareketlerini yakalar. Ancak sadece VOR 2Hz üzerindeki hareketleri yakalayabilir (89).

Her bir SSK kendi planında olacak şekilde iki ekstraoküler kası innerve eder. Bu düzenleme, uyarıların vestibüler çekirdekler ve medial longitudinal fasikulus aracılığıyla, gözleri hareket ettiren kaslara iletilmesi sayesinde gerçekleşir. VOR, refleks yollarının köken aldığı vestibüler duyuşal yapılarla göre, kanal-oküler ve otolit-oküler refleks alt başlıklarında incelenebilir (31,33,44-47) VOR latansı 5-7 msn dir (90).

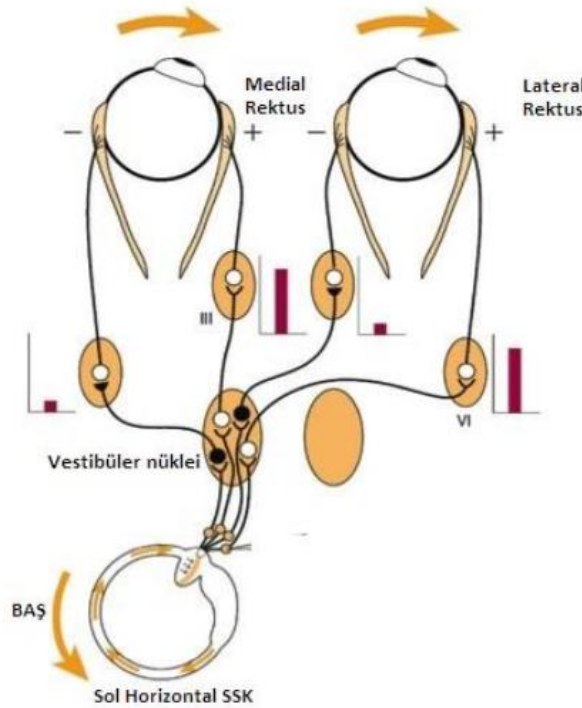
- a) **Kanal-oküler refleks:** Kanaloküler refleks, semisirküler kanal ampullasının uyarılması ile başlar. Bir kanalın uyarılması, o kanalın düzlemindeki kas kontraksiyonuna yol açar (Flouren kanunu). Diğer

ifadeyle, hangi kanal uyarılırsa gözler o kanal düzleminde hareket eder (31).

Horizontal kanal VOR: Lateral kanallar uyarıldığında her iki göz için karşı tarafa doğru, uyarılan kanalın tersi yönde, horizontal bir harekete neden olmaktadır (Şekil 2.8).

Superior kanal VOR: Anterior semisirküler kanalda uyarı artışı olduğunda, gözler yukarı ve karşı tarafa doğru torsiyonel şekilde hareket eder.

Posterior kanal VOR: Posterior semisirküler kanalda uyarı artışı olduğunda, gözler aşağı ve karşı tarafa doğru torsiyonel şekilde döner (30,31,47,82).



Şekil 2.8. Vestibüloöklüler Refleks (VOR) (Sol horizontal kanal VOR) (91)

SSK'ların, dengenin sağlanmasında önemli bir role sahip olduğunu ilk kez, 1842 yılında Pierre-Marie Flourens tespit etmiştir (21). Ancak endolenf hareketlerinin meydana geldiği kanal ile göz ve baş hareketleri arasındaki ilişki,

açık bir şekilde 1992 yılında Ewald tarafından tanımlanmıştır (24). Bu ilişki Ewald kanunları adı altında toplanmaktadır. SSK’lerde, endolenf akımının yönü ve bu etkenlerin yönü ile ilişkisini ortaya koyan üç adet kural vardır. Bunlar:

Ewald’ın birinci kanunu; Kanalın uyarılması sonrasında ortaya çıkan göz hareketleri, o kanalın düzleminde ve endolenf akımı yönündedir.

Ewald’ın ikinci kanunu; Lateral SSK’da ampullopedal (utrıkule doğru) endolenf akımı, ampullofugal (utrıkülden uzaklaşan) endolenf akımına kıyasla daha büyük cevap doğurmaktadır.

Ewald’ın üçüncü kanunu; Vertikal (anterior ve posterior) SSK’lerde ampullofugal endolenf akımı, ampullopedal endolenf akımına göre daha büyük cevap doğurmaktadır (31).

- b) Otolit-oküler refleks:** Sakküler ve utriküler uyarıların göreceli olarak küçük vertikal göz hareketlerine neden oldukları; otolitoküler reflekslerin gözlerin, aynı yatay düzlemde yer almasını sağladığı düşünülmektedir. Otolit ve vertikal kanal yolaklarında sorun olduğunda, patolojik “oküler tilt reaksiyonu” (*ocular tilt reaction, OTR*) olarak adlandırılan bir bulgu görülür. Oküler tilt cevabı, başın lezyon tarafına eğilmesi, lezyon tarafındaki gözün aşağıya, diğer gözün yukarıya kayması (*vertical skew deviation*) ve lezyon tarafına torsiyonel göz hareketi şeklinde üç bileşenden oluşur (31).

2.6.3. Vestibülospinal refleks (VSR)

Vestibüler organlarda oluşan uyarılar, lateral vestibülospinal traktus (LVST) (medulla spinaliste sakral düzeye uzanır), medial vestibülospinal traktus (MVST) (servikal düzeye uzanmaktadır) ve retikülospinal traktus (RST) yoluyla spinal korda iletilir. Bu refleks, duruş/hareket değişimleri sırasında dengenin devamını sağlar. Spinal korda giden bilgiler, yerçekimine karşı çalışan vücuttaki

birçok kasın kasılma-gevşeme düzenini sağlamada ve dengenin otomatik olarak korunmasında etkili olur (31,34,44).

2.6.4. Vestibülokolik refleks

Vestibülokolik refleks, sakkülün uyarılması ile başlar. Geçici inhibitör sinyalleri, ipsilateral boyun kaslarına taşır; vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyellerle bu refleks arkı ile çıkan cevap ölçülmektedir. İnferior vestibüler sinir yoluyla MVST içinde ilerler (31).

2.6.5. Proprioseptif Duyu (Derin Duyu)

Bir kas veya tendondaki gerilim değişikliklerini hissedebilen duyuşal sinir uçlarına proprioseptör adı verilir. Vestibüler organlar sadece kafanın hareketlerini ve konumunu belirleyebilirler. Kafanın vücudun diğer kısımlarına göre konumunu ve pozisyonunu belirleyebilmek için ise merkezi sinir sisteminin ek bilgiye ihtiyacı vardır. Bu bilgi, boyun ve vücuttaki proprioseptörlerden sağlanır. Proprioseptif bilgi, direkt olarak beyin sapındaki vestibüler ve retiküler çekirdeklere veya indirekt olarak serebellum üzerinden iletilebilir (34,44).

Boyundaki proprioseptörler, dengenin sağlanabilmesi için çok önemlidir. Boyun bükülerek, baş herhangi bir yöne doğru eğildiğinde, boyundaki proprioseptörlerden gelen uyarılar dengesizlik hissini devam ettirirler. Boyundaki proprioseptörler dışında vücudun diğer kısımlarından da bilgi sağlanır. Örneğin ayak tabanlarında bulunan basınç sensörleri ağırlığın her iki ayak arasında eşit şekilde dağılıp dağılmadığını ve bir ayağın diğerine göre önde ya da geride olduğunu hisseder. Eksteroseptif bilgi özellikle koşarken dengenin sağlanmasında önemlidir. Vücudun önünde hissedilen hava basıncı, yerçekiminden farklı bir kaynağın harekete karşı koyduğunun hissedilmesini sağlar; kişi bu etkiye karşı koymak için öne doğru eğilir (44).

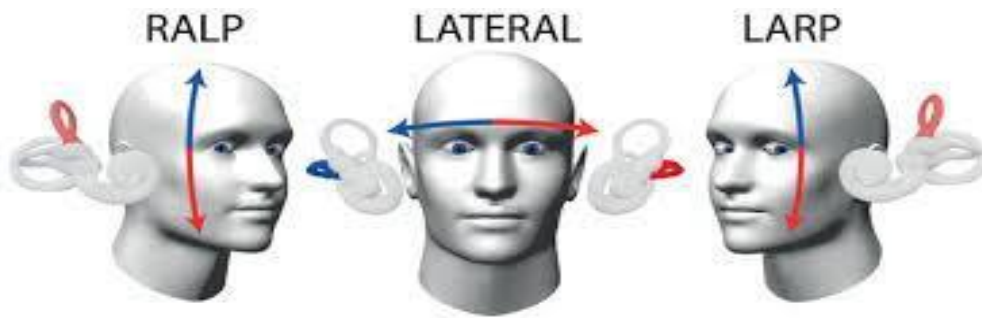
2.7. Baş İtme Testi (Head Impulse Test -HIT) ve Video Baş İtme Testi (Video Head Impulse Test –vHİT-)

Halmagyi ve Curthoys tarafından 1988 yılında tanımlanan baş itme testi (*Head Impulse Test -HİT-*), hızlı, pasif baş hareketleri kullanılarak VOR'un değerlendirildiği, kolay uygulanabilen bir testtir (92).

HIT testi uygulanır iken, hasta testi yapan kişinin önünde oturtularak başı 30° kadar önce doğru eğilir ve lateral SSK'ler yer düzlemi ile paralel hale getirilir. Hastadan, testi yapanın burnu ya da alını gibi belirlenmiş bir hedefe bakması ve işlem süresince gözünü hedeften kaçırmaması istenir. Testi uygulayan kişi, hastanın başını her iki yandan kavrar ve kısa süreli, tek yöne doğru, yüksek ivmeli bir itme hareketi yaptırır. Hareket, ani (>3000 derece/s²), hasta tarafından beklenmedik ve 20-30° den daha az açılı olmalıdır. Testi yapan kişi, hastanın gözlerine bakarak, görsel fiksasyonun hareket süresince devam edip etmediğini, hastanın hedefi kaçırmak tekrar yakalamak için düzeltici göz hareketleri yapıp yapmadığını (yakalama sakkadları olarak isimlendirilir) anlamaya çalışır. Belirgin bir unilateral veya bilateral vestibüler kaybı olan hastalarda, baş lezyon olan labirent yönünde itildiğinde, gözler hedefe fiksasyonu sağlayamayacak ve hedefi gözleriyle tekrar yakalamak için düzeltici sakkad hareketi ortaya çıkacaktır. Bunun sebebi, ipsilateral kulakta VOR'un nöral katkısının zayıflamış olması ve kontralateral kulaktan kaynaklanan inhibitör sinyalin rotasyon sırasında bakışların sabitlenmesi için yeterli olmamasıdır. Böylelikle gözler ilk olarak başla birlikte hareket ederler ve hedefi tekrar yakalamak için düzeltici bir hareket (sakkad) gerekir (93). Sakkad, baş hareketi sonlanırken yada sonlandıktan sonra meydana gelirse overt (açık) sakkad olarak, baş hareketi esnasında meydana gelirse covert (gizli) sakkad olarak adlandırılır. Overt sakkad, yatak başı muayenesinde çıplak göz ile görülebilir, buna karşılık covert sakkadlar görülemez (94). Vestibüler bir kayıp yoksa, hareket yönündeki VOR normal ise veya normale yakın ise gözler hedefte kalacak ve düzeltici yakalama sakkadları oluşmayacaktır. Yatay düzlemde bu şekilde yapılan baş itme hareketleri ile lateral SSK'lar değerlendirilebilir. Anterior ve posterior kanallarda, bulundukları düzleme uygun şekilde yapılan baş itme hareketleri ile test edilebilirler (93) (şekil 2.9).

Yüksek çözünürlüklü ve hızlı kayıtların alınabilmesi, çıplak gözle görülemeyen veya tespit edilemeyen sakkadların tespit edilmesini sağlamakta, VOR kazançları bilgisayar yardımı ile rakamsal olarak hesaplanabilmektedir. Bu şekilde yapılan testte, görüntüler bir video kamera ile alındığı için video Head Impulse Test (vHIT) adı verilmiştir. Baş itme hareketine karşılık olarak düzeltici göz hareketinin magnitudü (büyüklük), “kazanç” olarak isimlendirilir (17). VOR üç ana anatomik bileşene sahiptir: periferik vestibüler sistemdeki SSK’lar, beyin sapındaki vestibüler ve oküler motor çekirdekleri ve ekstraoküler kaslar. vHIT vestibüler sistemdeki üç SSK’yı ve ayrıca vestibüler sinirin superior ve inferior dalını değerlendiren yeni bir test yöntemidir (18). VOR kazancı yaklaşık 6 yaşına kadar hızlı bir şekilde artar (kanallar arasında değişkenlik göstererek), daha sonra 16 yaşına kadar yetişkin değerlerine ulaşmak için daha yavaş ilerler (95).

Gözlüğe yerleştirilen kamera ile kayıt edilen VOR cevaplarının, göz hareketlerini saptamada altın standart kabul edilen “corneal/scleral search coil” tekniğindeki benzer güvenilirlikte sonuçlar verdiği bildirilmiş ve testin geçerliliği ve güvenilirliği gösterilmiştir (17). Bu (*corneal/scleral search coil*) elektromanyetik sistem ile kamera göze kontak lens şeklinde yerleştirilir. Fakat invaziv olması, pahalı bir test olması ve pratik olmaması nedeniyle kullanımı tercih edilmemektedir (19,93).



Şekil 2.9. vHIT’ te, SSK konumuna uygun baş hareketleri (19)

2.8. Vestibüler Sistem Hastalıkları

Periferik vestibüler sistem hastalıkları baş dönmesi, dengesizlik, sersemlik, bulantı, kusma gibi semptomlara sebebiyet veren, hastanın günlük aktivitelerini

kısıtlayan, sosyal ve iş hayatını etkileyen toplumda sık görülen hastalıklardır. En sık görülenleri Benign Paroksizmal Pozisyonel Vertigo (BPPV), vestibüler nörit, Meniere hastalığı, vestibüler migren ve vestibüler schwannomdur (97).

Tablo 2.1. Periferik ve santral vestibüler hastalıkların sınıflandırılması (28)

Periferik Vestibüler Hastalıklar	Santral Vestibüler Hastalıklar
BPPV	Vestibüler migren
Meniere hastalığı	Travma
Vestibüler nörit	Posterior fossa tümörleri
Labirentit	Demiyelinizan hastalıklar
Perilenfatik fistül	Serebrovasküler hastalıklar
Vestibüler ototoksiste	Beyin sapı iskemisi
Konjenital iç kulak anomalileri	Serebellar infarkt hemoraji
Unilateral periferik vestibülopati	Vertebrobasilar yetersizlik
Rekürren vestibülopati	Subklavian çalma sendromu
Cogan sendromu	Vasküler loop sendromu
Otolojik sifiliz	Epilepsi
Travmalar	Anomaliler(Dandy-WalkerKisti,Arnold-Chiari)
Gecikmiş endolenfatik hidrops	Lyme hastalığı (MSS tutulumlu)

2.9. Saf Ses Odyometri

Subjektif bir test olan saf ses odyometri, bireylerin işitmesinin değerlendirilmesinde saf seslerin kullanılması temeline dayanan standart davranışsal testlerden biridir (99,100) Hastanın işitme kaybının derecesini ve tipinin belirlenmesini sağlar (101).

Hava Yolu İşitme Ölçümü: Kulaklıklar aracılığı ile dış kulak yolundan verilen saf seslerle, hastanın duyabildiği eşik seviyesinin belirlenmesi için yapılan ölçümlerdir (102,103). Günümüzde kullanılan standart odyometreler, 125-8000 Hz arasındaki frekanslarda ölçüm yapılmasını, yüksek frekans odyometreler ise 8000-18000 arasındaki yüksek frekansların değerlendirilmesini sağlar (57).

Kemik Yolu İşitme Ölçümü: Koklea, saf sesler haricinde kemik yolu titreşimleri ile de uyarılmaktadır. Kemik iletimi, kulak kepçesinin (aurikula)

arkasındaki mastoid çıkıntı üzerine yerleştirilen vibratörler aracılığı ile sağlanır. Kemik yolu ölçümü 250-4000Hz arasında uygulanır.

Kemik yolu değerlendirmeleri sensörinöral sistem, hava yolu ise iletim ve sensörinöral sistemi içine alan total sistem hakkında bilgi verir. Ölçümlerde elde edilen hava ve kemik yolu değerleri, işitme kayıplarının tanısında belirleyici kriterleri oluşturur (104).

Konuşma Odyometrisi: Odyolojik değerlendirmenin bir diğer önemli safhası konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etmenin değerlendirilmesidir. Konuşma odyometrisinin uygulanmadığı odyolojik bir değerlendirme, eksik bir değerlendirmedir (104). Konuşma odyometrisinde kullanılan testler şunlardır:

a) Konuşmayı Alma Eşiği (SRT-Speech Reception Threshold):

Konuşmayı alma eşiği, 0,5kHz-1kHz-2kHz ortalaması (saf ses ortalaması – SSO-)nın 10-15dB üzerinde, hastadan, 3 heceli 6 kelimeyi tekrar etmesi istenir. Üç heceli 6 kelimenin %50'ni doğru tekrar ettiği dB, SRT değeri olarak kabul edilir (105).

b) Konuşmayı Fark Etme Eşiği (SAT-Speech Awareness Threshold):

Konuşmayı fark etme eşiği olarak tanımlanmaktadır. Konuşmayı alma eşiği ile konuşmayı fark etme eşiği arasındaki fark iletim veya mikst tip işitme kayıplı kişilerde normal işitenlere göre 5 dB veya daha az, hafif derecede sensörinöral kayıplarda ise yaklaşık 8 dB olarak belirlenmiştir (105).

c) Konuşmayı Ayırt Etme (SD-Speech Discrimination)

Bu testte eşik üstü sabit bir seviyede tek heceli kelimeler kullanılır. Kişinin doğru tekrar ettiği kelimeler konuşmayı tanıma veya ayırt etme yüzdesi olarak belirlenir. Konuşmayı ayırt etme testi, en rahat ses seviyesi değerinde uygulanır. Konuşma seslerinin geniş bir alanda (100-6000 Hz) dağılımı nedeniyle gerçek ayırt etmeyi ölçebilmek için fonetik dengeli tek heceli kelime testleri kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Türkçe tek heceli fonetik dengeli kelime listeleri 1970 yılında Hacettepe Üniversitesi Odyoloji Bölümü tarafından oluşturulmuştur (57). İşitme kaybının

derecesine ve işitme kaybına neden olan patolojinin cinsine göre konuşmayı ayırt etme skoru %0- %100 arasında değişiklik gösterebilir(102). SD yüzdesi, koklear veya retrokoklear patolojilerin tanısında önemli ölçüde bilgi vericidir. Ayrıca sözel iletişimin, işitsel performansın ve santral işitsel fonksiyonların değerlendirilmesinde ve uygun işitme cihazının seçiminde de kullanılmaktadır (106).

d) Rahatsız Edici Ses Seviyesi (UCL-Uncomfortable Loudness): Hastanın, rahatsız olduğu işitme eşiğinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir konuşma testidir. Elde edilecek veriler patolojinin lokalizasyonu hakkında bilgi vericidir. Koklear patolojilerde UCL seviyesi düşerken, retrokoklear patolojilerde bu değer genellikle yükselmektedir (102).

e) En Rahat Ses Seviyesi (MCL-Most Comfortable Loudness): Hastanın konuşma sesini en iyi duyduğu ses seviyesidir. Normal işitmeye sahip bir kulağın en rahat duyabildiği ses yaklaşık olarak SRT+40 dB'dir düzeyindedir (57).

2.10. Akustik İmmitans Kavramı ve Timpanometri

Akustik immitans, akustik admitans ve akustik empedans kavramlarının her ikisini birden ifade eden ortak bir terimdir. Orta kulak, iletim sistemi olarak zarların, kemikçiklerin, kasların, ligamentlerin ve sıkışmış havanın oluşturduğu bir ortamdır (101).

Orta kulak patolojilerini ayırıcı tanıda timpanometrik ölçümlerden orta kulak basıncı, fiziksel volüm testi, statik akustik admitans, timpanometrik genişlik gibi parametreler önem kazanmaktadır (24).

2.11. İşitmenin Değerlendirilmesi ve İşitme Kayıplarının Sınıflandırılması

İşitme fizyolojisi ve anatomisinde yer alan dış, orta, iç kulak yapıları ile işitme yollarının ve işitme korteksinin herhangi bir yerinde oluşan patolojiler, işitme kaybına neden olur. Periferik işitme sisteminde oluşan sorunlar, işitme kaybı, santral sistemde oluşan sorunlar ise santral işitme bozukluğu olarak adlandırılır (108).

İşitme kaybının özelliği kişiye göre değişiklik gösterir ve birçok faktöre bağlıdır. İşitme kaybının çeşitli şekillerde sınıflandırılması mümkündür. Bunlar;

1. İşitme kaybının şiddetine göre: hafif, orta, orta-ileri, ileri ve çok ileri
2. Ortaya çıkış zamanına göre: prenatal, perinatal, postnatal
3. Konuşma yetisinin edinildiği döneme göre: prelingual, perilingual, postlingual
4. Patolojinin yerleştiği bölgeye göre: iletim tipi işitme kaybı, sensorinöral işitme kaybı, mikst tip işitme kaybı, santral tip işitme kaybı
5. Fonksiyonel (organik olmayan, psikojenik) tip işitme kaybı (109).

Tablo 2.2. Yetişkinlerde İşitme Kaybının Şiddetine Göre Derecelendirilmesi (57)

İşitme Kaybının Derecesi	Goodman, 1965	Jerger ve Jerger, 1980	Northern and Downs, 2002
Normal işitme	<26	<21	<16
Çok hafif	-	-	16-25
Hafif	26-40	21-40	26-30
Orta	41-55	41-60	31-50
Orta-ileri	56-70	-	-
İleri	71-90	61-80	51-70
Çok ileri	>90	>80	>70

2.11.1. Sensörinöral işitme kaybı-SNİK

İç kulakta veya iç kulaktan santral işitme merkezi ne kadar olan işitsel yolda meydana gelen bozukluklara bağlı ortaya çıkan işitme kayıplarıdır. SNİK reseptör hücrelerin (tüy hücreler) zarar görmesinden kaynaklanır ve genellikle kalıcıdır. Odyogramda SNİK’te hava ve kemik yolu işitme eşikleri arasında aralık bulunmaz. Bu tür işitme kayıpları, hem sensör (kokleanın) hem nöral bölgenin (n.statoakustikus’un akustik dalı) dejenerasyonundan kaynaklanmaktadır (9).

Burada “sensorinöral” terimi, iç kulaktaki veya akustik sinirdeki fizyolojik bir sorun sonucu olduğuna inanılan işitme kaybını tanımlamak için kullanılır. İşitme kaybının “sensör” bileşeni, muhtemelen tüy hücrelerinin bulunduğu Corti organındaki sorun ile ilişkilidir ve odyogramda yüksek saf ses ortalama eşikleri görülmektedir. “Nöral” bileşen, kavramsal olarak akustik sinirdeki veya yakınındaki sorun ile ilişkilidir ve hastaya test uygulandığında SD’nin düşük olduğu bir sonuç elde edilmektedir (110).

Örneğin, orta derece sensorinöral işitme kaybına sahip bir hasta mükemmel SD puanlarına sahipse, bu sorunun, akustik sinir veya beyinde olduğundan daha çok iç kulakta olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hafif ve orta derece SNİK’te, kötü SD sonucu, hastanın hem iç kulağında, hem de akustik sinirde sorunu olduğunu ve muhtemelen hastanın da konuşmayı ayırt etmekte zorluk yaşayabileceğini göstermektedir. Genel olarak, işitme kaybı iç kulak ile sınırlı olan insanlar, amplifikasyon ve işitme cihazlarından iyi faydalanırlar, oysa akustik sinir ve beyin fonksiyon bozukluğuna sahip olanlar, işitme cihazlarını kullanma konusunda daha çok sorun yaşamaktadırlar (110).

Konuşmayı ayırt etmede bozulma ile beraber yüksek frekansları tutan işitme kaybı ile karakteristiktir. Yüksek frekans işitme kaybı ve ileri yaş arasındaki ilişki ilk defa 1899 yılında Zwaardemaker tarafından tanımlanmıştır. Bundan sonra presbiakuzide meydana gelen patolojik değişiklikler üzerinde geniş araştırmalar yapılmıştır. Fakat kesin mekanizma halen bilinmemektedir. Yaşlanmaya bağlı, işitme sisteminde, kokleanın tüy hücrelerinden, temporal lobda bulunan işitme korteksine kadar histolojik değişiklikler meydana gelebilir. Bu değişiklikler görüldüğü anatomik seviye klinik bulgular ve bu değişikliklerin şiddetini gösteren işitme testleri ile uyumludur. Crowe ve ark. presbiakuzisi olan insan kokleasındaki histolojik değişiklikleri incelemiş ve koklear yaşlanma ile ilgili 4 bölge tanımlamışlardır ve bu bölgeler esas alınarak presbiakuzi 4 tipe ayrılmıştır (9).

Sensitif Presbiakuzi: Bilateral simetrik ve yüksek frekansları tutan SNİK mevcuttur. Sıklıkla 2000 Hz’de ve daha yüksek frekanslarda kayıp görülmektedir.

Bundan dolayı konuşmayı ayırt etme skoru başlangıçta iyidir, ancak işitme kaybı ilerledikçe ayırt etme düzeyi düşmektedir.

Nöral Presbiakuzi: Odyometride tüm frekansları tutan orta derecede işitme kaybı olup ayırt etme skoru düşüktür. Buna “fonemik regresyon” denir. Sıklıkla Corti organındaki dejenerasyona, spiral ganglionların kaybı da eşlik eder. Bunun yanı sıra yaygın nöral bozukluk olan olgularda koordinasyon bozuklukları, hafıza sorunları ve motor sistem bozuklukları da görülebilmektedir.

Striyal (Metabolik) Presbiakuzi: Tüm frekansları tutan, yaklaşık değerlerde işitme kaybını gösteren bir odyogram elde edilir. Stria vasküleriste atrofiye bağlı yavaş ilerleme gösteren bir işitme kaybı söz konusudur. Hastaların ayırt etme test sonuçları çok iyi olduğu için işitme cihazından oldukça fayda görürler

Koklear Presbiakuzi: Baziller membranda kalınlaşma, striyal elemanlarda kistik dejenerasyon ve spiral ganglionlarda atrofiye bağlı işitme kaybı oluşur. Konuşmayı ayırt etme, oldukça iyi bir düzeydedir (111).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu tarafından onaylanmıştır (Proje No: KA18/252),

Çalışmaya, Balıkesir Devlet Hastanesi Kulak Burun Boğaz Kliniği'ne 01 Ocak 2018-31 Ocak 2019 tarihleri arasında işitme kaybı, baş dönmesi ve dengesizlik şikayeti ile başvuran, odyolojik (saf ses odyometri, konuşmayı anlama ve konuşmayı ayırt etme testleri), immitansmetrik testleri (orta kulak basınçları, ipsilateral ve kontralateral akustik refleksler) yapılan, sensörinöral işitme kaybı teşhisi konulmuş ve vHIT uygulanan, 65 yaş ve ileri yaşlarda 60 hasta dahil edilmiştir.

vHIT, Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi Kulak Burun Boğaz-Baş Boyun Cerrahisi Anabilim Dalı Odyoloji Ünitesi'nde uygulanmıştır. Odyolojik testler, işitme kaybı türünü ve seviyesini tespit etmek için 0,25kHz-8kHz dahil tüm frekansları, sessiz kabinde Interacoustics AC-30 odyometre cihazı ve standart TDH-39 kulaklık ile yapılmıştır. İmmitansmetrik testler MAICO MI-34 Timpanometre cihazı ile Balıkesir Devlet Hastanesi Odyometri Birimi'nde uygulanmıştır. Saf ses ortalamasını (SSO) belirlemek için, 0,5-1- 2 kHz frekans ortalamaları alınmıştır.

Araştırma sürecinde, cinsiyet farkı gözetmeksizin, 65 yaş ve üstü, dosya bilgileri eksiksiz olan hastaların dosyaları incelendi. Hasta dosyasında, ototoksik ilaç (ibuprofen, naproxen, indomethacin, fenoprofen, sulfasalazine, salicylic asid) kullanımı, viral enfeksiyon, genetik, otoimmün, metabolik anormallikler, akustik travma, kulak zarı perforasyonu, anormal orta kulak fonksiyonu, başın ani hareketini engelleyen hastalık (boyunda disk hernisi vb.) bilgisi olanlar, çalışma grubuna dahil edilmedi.

3.1. vHIT Test Tekniği ve Ölçümler

vHIT ölçümleri, Synapsys ® 13013 (Marsilya, Fransa) vHIT Ulmer sistemi ile yapılmıştır. Sistem, yüksek hızlı, kızılötesi dijital ayarlanabilir video kamera (video kaydı 410 ms) ve bilgisayardan oluşur. Kamera bilgisayara bir USB ile bağlanmıştır. vHIT yazılımı (sürüm 2.0) kullanılan bu sistem, klinisyene, test sırasında göz hareketlerini ve ölçüm grafiklerini eşzamanlı izlemesine, baş itme hareketlerinin yeterliliğine dair fikir olanağı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (112) VOR'a ilişkin sayısal değerler bilgisayar tarafından saptanmaktadır. Otomatik analiz yazılımı anında sonuç sağlar (17).

Hasta kameraya bakan sabit bir sandalyeye oturtulur, hastanın gözü ile harici kamera arasında 90cm mesafe oluşturulur. Hastanın, göz hizasında, karşı duvarda yaklaşık 180cm-2m uzaklıktaki, bir tanesi merkezi bakış ekseninde, diğer ikisi $\pm 20^\circ$ üç küçük hedef nokta oluşturulur (Şekil 3.1). Bilgisayar ekranından izlenerek, hastaya, hangi noktaya bakması gerektiğı, söylenir. Lateral semisirküler kanal ölçümleri sırasında, hastanın arkasında duran klinisyen merkezi hedefe odaklanma talimatı ile hastanın başını tutup, mandibulayı kavrayarak; sol ve sağ lateral SSK'yı uyarmak için başa sağa veya sola doğru küçük bir açı ($10-20^\circ$), öne 30° eğim uygulanarak, sağa ve sola rastgele hızlı baş itme hareketi uygulanır.

Vertikal kanallar (anterior ve posterior semisirküler kanallar), iki farklı yöntemle test edilebilmektedir. Bunlardan birincisinde, orta hattaki hedefin sağında ve solunda olacak şekilde iki ek hedef daha belirlenir ve hastanın başı $\sim 30-45^\circ$ sağa veya sola çevrilip bu hedeflere bakması istenerek vertikal bakış düzleminde itme hareketi uygulanır. İkinci yöntemde ise, hasta orta hattaki hedefe bakarken başı vertikal kanal düzleminde itilir. Bu çalışmada, vertikal kanallar birinci yöntem kullanılarak test edilmiştir. Aynı düzlemde yer aldıkları için sağ anterior (RA-right anterior) ve sol posterior (LP-left posterior) semisirküler kanallar (RALP- right anterior left posterior-) ile sol anterior (LA-left anterior) ve sağ posterior (RP-right posterior) semisirküler kanallar (LARP-left anterior right posterior-) birlikte test edilmektedir. Vertikal kanallar için, bir el ile alın ve diğer el ile oksipital bölgeden tutularak, vertikal bakış düzleminde rastgele, hızlı,

öngörülemeyen zamanlama ve yön ile manuel baş itme hareketi uygulanır. Lateral kanallarda olduğu gibi vertikal kanallarda da her kanal için en az 5, en fazla 10 baş itme hareketi yapılarak test sonlandırılır.

Göz hareketlerini kayıt eden kamera sistemleri temel olarak iki farklı şekilde çalışmaktadır; birinci yöntemde, kamera hastanın başına takacağı bir gözlüğün üzerine yerleştirilmektedir. İkinci yöntemde ise harici bir kamera hastanın yüzüne dönük şekilde uzağa yerleştirilmekte ve göz hareketlerini kaydetmektedir. Bu çalışmada, harici, ayarlanabilir, monte edilmiş kızılötesi dijital video kamera kullanılmıştır.



Şekil 3.1. vHIT testinde hastanın konumu

Hastanın solundan uygulanan baş itme hareketi RALP kanallarını uyarırken, sağından uygulananlar LARP kanallarını test eder. Genellikle, lateral kanal testlerinin gerçekleştirilmesi daha kolaydır ve vertikal olanlardan önce test edilir. Baş itme hareketleri, hasta tarafından beklenen aktiviteyi önlemek için mümkün olduğunca rastgele bir sıra halinde sunulur (95). Bakış noktası değişebilmekte ve

rastgele olabilmektedir, bu sırada hastaya başını rahat bırakması, direnç göstermemesi, boynunu kasmaması ve bakmakta olduğu noktadan gözünü kaçırmamaya, kırpmamaya çalışması istenir.

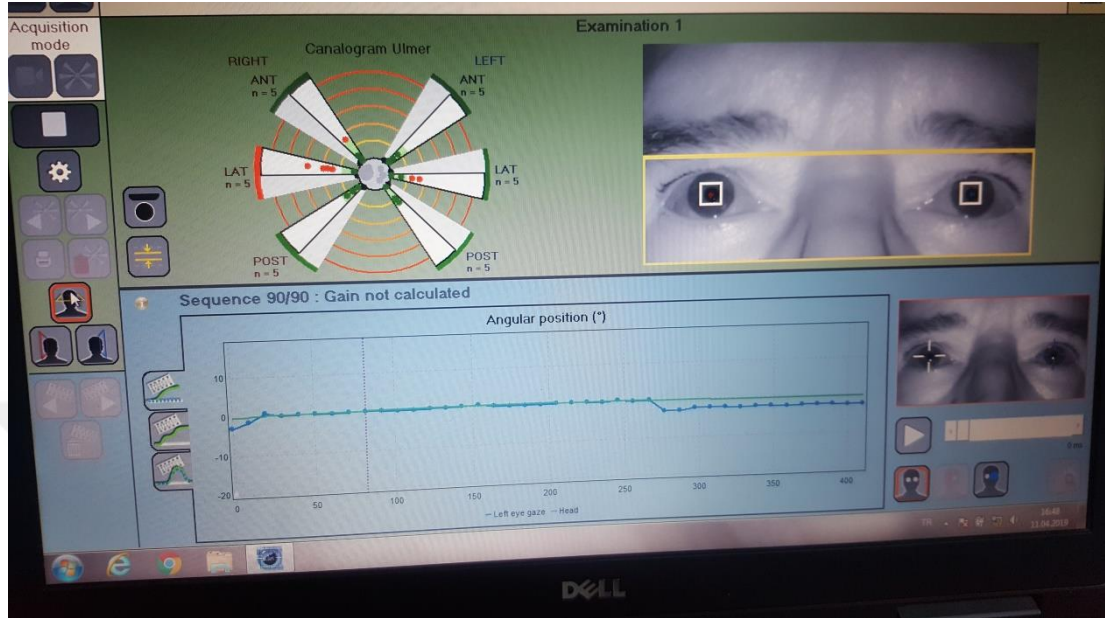
Klinisyen, her bir kanal düzlemi için, 120-150°/s arasında bir hız ile başı döndürmeye çalışır (Synapsys® vHIT Ulmer programında, kafa impulslarının istenen bir kritere ulaşmadığı durumlarda denemeler yapma talimatı verilir). Düşük genlikli (~ 10-20°), yüksek ivmeli baş itme hareketi uygulanır.



Şekil 3.2. Horizontal kanal vHIT’de hasta ve klinisyen konumu.

Önceki çalışmalarda bu değerler önerildiği, kullanıldığı için (17,112,113) ve vHIT cihazı kurulumunu yapan firma yetkilisinden alınan bilgi doğrultusunda

vHIT vormal kazanç aralıkları, lateral kanallar için 0,8-1,2 ve vertikal kanallar için (LARP/RALP) 0,7-1,2 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.3. Horizontal kanal vHIT’ de ekran görüntüsü.

Bu çalışmada, vHIT kazançlarının yaş ile ilişkisinin değerlendirmek için, Dünya Sağlık Örgütü’nün kronolojik yaşlılık sınıflandırması temel alarak, 3 farklı yaş grubu oluşturmayı amaçlamıştık ancak, 85 yaş ve üzeri (çok yaşlı) hasta olmadığından 3. grup oluşturulamamıştır. Değerlendirme 2 grup arasında yapılmıştır.

1. Grup: 65-74 yaş arası genç-yaşlı
2. Grup: 75-85 yaş arası yaşlı

Goodman (1965)’a göre tanımlanan işitme kaybı seviyeleri temel alınarak 2 grup oluşturuldu. Yaş gruplarına ve sensörinöral işitme kaybı derecelerine göre vHIT kazanç değerleri karşılaştırıldı.

1. Grup (26 dB-55 dB hafif, orta derece işitme kaybı)
2. Grup (56 dB- >90 dB orta, ileri ve çok ileri derece işitme kaybı)

3.2. İstatistiksel Değerlendirme

İstatistiksel değerlendirme SPSS (Statistical Program for Social Sciences) kullanılarak yapılmıştır. Çalışma verileri ortalama ve standart sapma olarak sunulmuştur. Yaş guruplarına ve hava yolu (sağ kulak sol kulak) eşiklerine göre vHIT kazanç değerlerinin karşılaştırılması için nonparametrik Mann-Witney U testi kullanılmıştır. P değerinin 0,05'ten küçük olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.



4. BULGULAR

Çalışmaya 65-74 yaş arası 36 hasta (18 kadın, 18 erkek), 75-85 yaş arası 24 hasta (12 kadın, 12 erkek), dahil edildi. Tablo 4.1’de grupların yaş ortalamaları verilmiştir.

Tablo 4.1. Hastaların yaş ortalamaları

Grup	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
65-74 Yaş	69,86	2,685	66	74
75-85 Yaş	79,38	2,961	75	84
Toplam	73,67	5,458	66	84

Tablo 4.2. Yaş gruplarına göre hava yolu eşikleri ve vHIT kazanç değerleri

Yaş Grupları		Sol Hava Yolu	Sağ Hava Yolu	LA*	LL**	LP***	RA	RL	□□□
65-74 Yaş	Ortalama	46,83	48,75	3,6036	0,7319	0,7408	0,9797	0,8103	0,7544
	Standart Sapma	9,443	12,571	15,83976	0,13926	0,18264	0,08962	0,14589	0,16060
	Minimum	33	30	0,64	0,33	0,29	0,70	0,41	0,28
	Maksimum	70	85	96,00	1,01	0,99	1,12	1,00	1,03
75-85 Yaş	Ortalama	50,67	48,87	0,7254	0,4879	0,4038	0,7379	0,5875	0,4546
	Standartt Sapma	11,374	12,298	0,26211	0,32850	0,28763	0,23616	0,30891	0,27028
	Minimum	32	30	0,09	-0,05	-0,05	0,09	-0,05	-0,05
	Maksimum	82	93	1,15	1,00	1,04	1,17	0,95	1,03

*Sol Anterior Kanal

** Sol Lateral Kanal

***Sol Posterior Kanal

— Sağ Anterior Kanal

--- Sağ Lateral Kanal

---- Sağ Posterior Kanal

Tablo 4.3. Yaş gruplarına göre hava yolu eşikleri ve vHIT kazanç değerlerinin karşılaştırması

Yaş Grupları		LA*	LL**	LP***	RA□	RL□□	□□
65-74 Yaş	Ortalama	3,6036	0,7319	0,7408	0,9797	0,8103	0,7544
	Standart Sapma	15,83976	0,13926	0,18264	0,08962	0,14589	0,16060
	Minimum	0,64	0,33	0,29	0,70	0,41	0,28
	Maksimum	96,00	1,01	0,99	1,12	1,00	1,03
75-85 Yaş	Ortalama	0,7254	0,4879	0,4038	0,7379	0,5875	0,4546
	Standart Sapma	0,26211	0,32850	0,28763	0,23616	0,30891	0,27028
	Minimum	0,09	-0,05	-0,05	0,09	-0,05	-0,05
	Maksimum	1,15	1,00	1,04	1,17	0,95	1,03
P değeri		0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001

Tablo 4.3.'te yaşı 75-85 aralığında olan grupta vHIT kazanç değerleri hem sağ hem de sol kulak için istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur ($P<0,05$).

Tablo 4.4. Sağ kulak hava yolu eşiklerine göre vHIT kazanç değerlerinin karşılaştırılması.

Gruplar		RA□	RL□□	RP+□□
26-55 dB	Ortalama	0,8848	0,7250	0,6444
	Standart Sapma	0,18314	0,24788	0,24405
	Minimum	0,43	-0,05	-0,05
	Maksimum	1,17	1,00	1,03
56- >90 dB	Ortalama	0,8758	0,7058	0,5950
	Standart Sapma	0,27447	0,26335	0,30968
	Minimum	0,09	0,00	-0,05
	Maksimum	1,12	0,95	1,00
P değeri		0,548	0,817	0,767

□ Sağ Anterior Kanal

□□ Sağ Lateral Kanal

+□□ Sağ Posterior Kanal

Tablo 4.5. Sol kulak hava yolu işitme eşiklerine göre vHIT kazanç değerlerinin karşılaştırılması

Gruplar		LA*	LL**	LP***
26-55 dB	Ortalama	0,8616	0,6390	0,6261
	Standart Sapma	0,22925	0,25603	0,28253
	Minimum	0,09	-0,05	-0,05
	Maksimum	1,15	1,01	1,04
56- >90 dB	Ortalama	9,5382	0,6136	0,5164
	Standart Sapma	28,67662	0,29429	0,27689
	Minimum	0,58	-0,04	0,13
	Maksimum	96,00	1,00	0,91
P değeri		0,752	0,516	0,181

*Sol Anterior Kanal

** Sol Lateral Kanal

***Sol Posterior Kanal

Tablo 4.4'te ve 4.5'te sağ ve sol kulaklardaki işitme kaybı derecesi ile vHIT kazanç değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ($P>0,05$)

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, 65-85 yaş aralığında, S/N işitme kaybı ve aynı zamanda baş dönmesi şikayetleri olan bireyler ele alınmıştır. Baş dönmesi ve S/N işitme kaybının ortak nedenlere ve/veya sonuçlara dayanıp dayanmadığına dair sorulara cevaben, bireyler yaş ve işitme kaybı derecesine göre gruplandırılarak vHIT test sonuçları incelenmiştir. Çalışmamızda elde edilen bulgulara göre, ileri yaşlarda vHIT kazanç değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Ancak sensörinöral işitme kaybı derecesi ile vHIT kazançları arasında bir ilişki saptanmamıştır.

Yaşlı popülasyonda, vestibüler sistemle ilişkili baş dönmesi sıklığı için bildirilen veriler değişkendir. Baş dönmesi şikayeti ile kulak burun boğaz kliniğine başvuran hastaların % 40 ila % 50'sinin semptomlarının vestibüler bir etyolojiye sahip olduğu bildirilmiştir. Baş dönmesi olan yaşlı hastalar ile postüral instabilite arasında, düşme ve vestibüler bozukluklara neden olan klinik bağlantı yüksektir (114).

Dewane'e göre, yaşlıların yaşadığı en sık sorunlardan ikisi baş dönmesi ve düşmedir (151). Cutson, baş dönmesi sıklığının 65 ila 69 yaşları arasındaki yetişkinler için % 22'den, 80 ila 84 yaşları arasındaki yetişkinler için % 40'a yükseldiğini bildirmiştir (152). Hobeika, 60 yaşından büyük bireylerin % 65'inin genellikle günlük olarak baş dönmesi veya denge kaybı yaşadığını tahmin etmektedir (153). Bunun yanında Jacobson ve meslektaşları, periferik ve santral vestibüler bozuklukların, postural dengesizliğe ve yaşlılarda düşmeye etkisinin, çok az oranda olduğunu savunmuşlardır (150).

Vestibüler duyuşal uç organların dejenerasyonu, 1970'lerde histolojik incelemelerle belgelenmiştir (154). Ancak bu anatomik değişikliklerin ölçülebilirlik düzeyi belirsizliğini korumaktadır. Vestibüler fonksiyon testlerinin, bu anatomik bozulmayı tanımlamak için ya da yaşlanmaya bağlı fizyolojik gerilemeyi ve /veya merkezi telafi edici mekanizmaları tespit etmek için yeterli duyarlılığa sahip olmadığı sonucuna varılmıştır (119).

En temel seviyede, vestibüler sistem hem bir duyuşal sistem aynı zamanda bir motor sistemdir (120). Duyuşal bir sistem olarak, vestibüler cevap sadece kendi kendine hareketin doğru bir sunumunu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda yerçekimi açısından uzayda kütle merkezinin bir “iç haritasını” inşa etmenin ayrılmaz bir parçasıdır. Bir motor sistemi olarak, vestibüler cevap, kişinin ağırlık merkezine göre statik ve dinamik dengeyi sağlamanın yanı sıra kafa hareketi sırasında görme keskinliğini sağlamak için etkili postural ve oküler motor reflekslerini koordine eder. Uygun bir motor tepkisinin, doğru duyuşal algılamaya bağılı olduğu hiyerarşik bir sistemdir (121).

Son yıllarda vestibüler sistem hastalıklarının tanısında ve santral-periferik vestibüler hastalıkların ayırımında kullanılmaya başlanan vHIT, VOR yeterliliğini değerlendirir. VOR yeterliliğinin ölçüsü kazançtır (122). VOR kazancı, göz hareketi hızının baş hareketi hızına oranı şeklinde ifade edilebilir.

Maria Geraldine Zuniga ve meslektaşlarının yaptığı çalışma, yaşlı bireylerde koklea ve sakkülde eş zamanlı fonksiyonel kayıp göstermektedir. Eşzamanlı kokleosakküler disfonksiyon gözlemlenmesine rağmen, koklea yaşlanması ile utrikül veya SSK’lar arasında anlamlı bir ilişki bulamadıklarını ifade etmişlerdir. Ancak S/N’li hastalarda işitsel ve vestibüler sistemler arasındaki etkileşimin mekanizması henüz açıkça anlaşılamamıştır (123). Koklea ve sakkül arasındaki ilişki için olası açıklama; koklear ve sakküler yapıların kökeninin ortak embriyolojiye dayanması şeklinde yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından, daha önce yapılan hayvan modeli çalışmalarda da işitsel ve vestibüler fonksiyonda paralel düşüşler gözlemlenmiştir (124-128). Bir fare suşunda yapılan çalışmada, eşzamanlı yaşlanan işitsel ve vestibüler reseptör varlığı bildirilmiştir (127). Ayrıca, sincap maymununun üzerinde yapılan bir deney, utrikül ve sakkülde bağımsız endolenfatik dolaşım varlığını göstermiştir. Bu deney sonucu, sakkül hareketlerinin, utrikül ve SSK’leri neden etkilemediğini sorusuna cevap olabilir niteliktedir (129). Koklea ve sakkülün ortak duyarlılığı, aynı zamanda histolojik olarak kokleasakküler hidrops ile gözlenen Meniere hastalığı gibi diğer patolojik süreçlerde de gözlenmiştir (130).

Ortak embriyoloji, bu organlarda anatomik ve fizyolojik olarak benzer patolojilerin oluşmasına sebep olabilir. Nitekim, Gussen presbiakuzinin kokleosakküler dejeneratif sürecin bir örneği olduğunu öne sürdü; yerinden ayrılmış sakkülün otokonia, duktus reineus ve koklear kanal aracılığıyla kokleaya ulaşacağını, böylece kokleanın bazalını ve yüksek frekans işitme sistemini de etkileyebileceğini belirtmiştir (131). İnsan temporal kemik örneklerinin diğer çalışmaları, yaşla birlikte artan kokleosakküler dejenerasyon ile, sakküler otokonial kaybı tarif etmişlerdir (132-134).

Vestibüler tüy hücre dejenerasyonunu araştıran histolojik raporların çoğu, 65 ile 70 yaşları arasında bir tüy hücresi sayısında belirgin bir düşüşün başladığını doğrulamaktadır. Rosenhall ve Rubin tarafından 1975 yılında vestibüler epitel mikrodiseksiyonları, uç organ tüy hücre sayısının, 70 yaşına kadar göreceli olarak sabit kaldığı ve ardından kademeli bir düşüş gözlemlendiği sonucuna varmışlardır (135). Bununla birlikte, dejenerasyon oranları, başlangıç yaşına, duyu organlarının hassasiyetine, hücrelere veya nöronlara göre büyük oranda değişebilmektedir. Jang ve arkadaşları, ilerleyen yaşla birlikte ortalama 50'li yaşların başlarında ciddi oranda artan sakkül otokonia yıkımı belirlemişlerdir (136). Rosenhall, SSK'larda krista tüy hücre sayısında, 50 ila 60 yaşlarında belirgin bir azalma olduğunu tespit etmiştir (137). Richter, 60 yaşın başlarında, vestibüler ganglion hücrelerinin sayısında önemli bir azalma olduğunu (138) ve Bergström, 50'li yaşlarda var olan vestibüler sinir lifleri sayısının, 75 ila 80 yaş arasındaki bireylerde % 40 oranında azaldığını tespit etmiştir (140,139).

Yayınlanan en kapsamlı ve spesifik vestibüler tüy hücresi histolojisi çalışmalarından birinde, Merchant ve meslektaşları, beş vestibüler duysal uç organın her birinde toplam vestibüler tüy hücrelerinin sayısını belirlemek için Nomarski diferansiyel girişim kontrast mikroskopisini kullanmıştır. Araştırmacılar, doğum ile 100 yaş arasında değişen, 67 normal temporal kemik serisinde tüy hücreleri saymışlardır. Vestibüler tüy hücre sayımında, tüm duysal uç organlarda, makûladakinden daha çok miktarda, yaşa bağlı ciddi bir düşüş tespit etmişlerdir. Merchant ve meslektaşları ayrıca, periferde tüy hücre yoğunluklarının, özellikle Tip I tüy hücrelerinin, kristanın merkezi bölgelerine

göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Üç SSK'ler, iki makula ve kadın-erkek arasında veya sağ ve sol kulaklar arasında tüy hücresi kaybında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (141).

Rauch ve meslektaşları da yaşlanan insandaki vestibüler tüy hücresi sayısının azaldığını bildirmişlerdir (142). Anniko ve Rosenhall utrikül ve sakküle kıyasla, SSK'lerin kristalarında yaşa bağlı dejenerasyona karşı daha çok duyarlılık tanımlamışlardır (132,143)

Histolojik raporlar, sakkül ve utrikül arasındaki vestibüler tüy hücrelerinin dejenerasyon oranlarında belirgin farklılıklar olduğunu göstermiştir. Rosenhall, sakkülde % 25 oranında tüy hücresi kaybını tespit ederken (137), Engstrom ve arkadaşları utrikülde tüy hücresi kaybının, 70 ila 95 yaş arasında, sadece % 20 olduğunu bildirmişlerdir (180). Igarashi ve arkadaşları daha sonra, utrikül ve sakkül makulası arasında, tüy hücre kaybı oranında, daha büyük bir eşitsizlik tespit etmişlerdir (144). Genel olarak otokonia dejenerasyonunun nedenleri tam olarak anlaşılmamasına rağmen, Johnsson ve Hawkins, sakkülün dikey konumunun otokonia kaybına daha duyarlı hale gelmesine neden olabileceğini öne sürmüşlerdir (133). Thalmann ve meslektaşları tarafından sunulan bir başka sebep de, sakkül içerisinde dark hücrelerin bulunmamasıdır (146).

Tip I ve tip II vestibüler periferik duyu tüy hücrelerinin yanı sıra, vestibüler çekirdek ve serebellumdaki vestibüler duyu nöronlar için, yaşa bağlı histolojik bozulma konusunda büyük oranda uzlaşma vardır (119).

Chang ve meslektaşları VOR kazancını, genç (20 ila 26 yaş) ve yaşlı (63 ila 84 yaş) bireyler arasında karşılaştırmışlar ve VOR kazançları açısından, önemli bir grup farkı elde etmemişlerdir (147).

Yapılan çalışmalar, vHIT'in SSK fonksiyonunda hafif bir bozulmayı da algılayabileceğini göstermektedir. Weber ve meslektaşları hastalara sistemik gentamisin uygulamışlardır. Uygulama sonrası hastalara yapılan baş itme testlerinde, bilateral SSK'larda farklı seviyelerde fonksiyon bozukluğunu, hatta

bazı hastalarda çok hafif fonksiyon bozukluğunu tespit etmişlerdir. vHIT'in sonuçları, neredeyse normalden, bilateral vestibüler kayıplara (BVL) kadar VOR spektrumu göstermiştir. (148). vHIT'in hafif fonksiyon kaybını tespit ettiğini gösteren başka bir çalışma Marques ve ark. tarafından yapılmıştır. Çalışmada tek bir intratimpanik gentamisin (ITG) dozu ile ortalama % 26 oranında azalmış VOR işlevi, yalnızca vHIT uygulanarak tespit edilmiştir -burada “ağır” bir kaybı değil, çok az düzeyde bozulmuş SSK işlevini tespit etmişlerdir- (149). Normal kontrol popülasyonlarında yaşamın 8. ve 9. onyılındaki vHIT VOR kazancında yaşa bağlı azalmalar gözlenmiştir (150-153).

Bir çok çalışmada VOR kazancındaki yaşa bağlı değişikliklerin olmaması, reseptör fonksiyonundaki fizyolojik azalmaları belgeleyen histolojik çalışmalar ile altmış ve yetmiş yaşlarından önce yaş etkilerinin başlangıcını gösteren anatomik ve fizyolojik verilerin varlığı ile ters orantılıdır (137-144). Bununla birlikte, McGarvie ve arkadaşları, serebellumun VOR'da azalmayı telafi etmekte etkili olduğunu ve vHIT'te yaşın etkilerinin üstesinden gelmekten sorumlu olabileceğini öne sürmektedirler (152).

Baş itme hızından bağımsız olarak, 70 yaşlarına kadar stabil VOR kazancı belirlemişlerdir, 70 yaşın üzerindeki bireyler için, genç yaş gruplarına kıyasla VOR kazancında aşamalı bir azalma olduğunu, bunun da yalnızca daha yüksek baş itme hızları için geçerli olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, 90 yaşından büyük bireyler için tüm baş itme hızlarında, VOR kazancında önemli bir azalma gözlenmiştir (119). Genel olarak, yaş, cinsiyet ve kafa hızını kontrol ederken, Martino-Soler ve meslektaşları, yaş ve baş itme hızı arttıkça VOR kazancında önemli bir düşüş tespit etmişler ve 70 yaşın üzerinde açık sakkad gözlenen daha fazla sayıda kişi olduğunu belirlemişlerdir (150). Li ve meslektaşları yaşlanmanın vHIT üzerindeki etkilerini de yayınlamışlardır. Yaşları 26 ila 92 arasında değişen 109 hastayı vHIT ile değerlendirmişlerdir. Li ve arkadaşları, vHIT VOR kazancı ve yaş arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. 26 ila 79 yaşları arasında nispeten istikrarlı bir kazanım belirlemişler, ardından önemli bir düşüş gözlemlemişlerdir (155). Yang ve arkadaşları, McGarvie ve arkadaşları, VOR kazancında yaşla birlikte çok fazla

azalma olmadığını, c-WEMP ve o-VEMP 50-60 yaşlarından sonra düştüğünü; HIT' lerin VOR değerinin 70-90 yaşları arasında azalmakta olduğunu ifade etmişlerdir (152,156). Karmali ve arkadaşları bu durumu; otolit organlar, SSK'den daha önce dejenere olmakta veya VOR, merkezi kazanç ile telafi edilmekte olabilir şeklinde açıklamışlardır (157).

Vestibüler fonksiyondaki yaşa bağlı düşüşleri belgelemek için mevcut klinik yöntemlerin yetersiz kaldığı açıktır. Vestibüler fizyolojideki yaşa bağlı düşüşü araştıran klinik çalışmaların çoğu, özellikle 60 ila 70 yaşlarından önce, duyuşal saç hücre sayısındaki bariz düşüşü belirleyen histolojik raporlarla güçlü bir korelasyon göstermemiştir (118,137). Paige klinik ve histolojik veriler arasındaki bu zayıf korelasyonlar için, vestibüler sistemin klinik değerlendirmesinde kullanılan uyaranların, yavaş yaşlanma sürecinde merkezi sinir sistemi tarafından sağlanan telafi edici mekanizmalar karşısında, yetersiz olabileceğini öne sürmektedir (158,159). Bunun ışığında Paige, birçok yaşlı hastada, mevcut yaşa bağlı değişiklikleri ortaya çıkarmak için daha güçlü uyaranların kullanılmasını önermiştir. Furman ve Redfern ayrıca yaşa bağlı değişikliklere duyarlılığı arttırmak için alternatif ve daha hassas klinik ölçümlerin kullanılmasını teşvik etmiştir (160).

Rutin klinik vestibüler değerlendirme sırasında kullanılan uyaranların vestibüler fonksiyondaki yaşa bağlı farklılıkları ayırmada büyük ölçüde yetersiz olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, vestibüler testin yaşa bağlı fizyolojik değişikliklerin tanımlanmasındaki duyarlılığı, mevcut uyaranların kullanımı göz önüne alındığında sorgulanabilir (119).

Sonuç olarak, yaşa bağlı vestibüler kaybın altını çizen çoğu klinik veri sonuçları büyük oranda çeşitlilik gösterir ve 60 yaş öncesi için net olmayan bulgular nedeniyle, sonuçların güvenilirliği zayıftır (119).

Cinsiyet farkı gözetmeksizin 60 birey ile yaptığımız çalışmamızda elde edilen bulgulara göre, erken yaşlılık evresi ve ileri evrelerde vHIT kazanç

değerlerinde azalma olduğu istatistiklere yansımıştır. Ancak sensörinöral işitme kaybı derecesi ile vHIT kazançları arasında bir ilişki saptanmamıştır.

Bu çalışmada, sensörinöral işitme kaybının ve yaşlılık evresinin anormal vHIT kazanç değerleri ile ilişkisine bakılmıştır. Aynı özelliklere/kriterlere sahip ancak vestibüler herhangi bir sorunu olmayan bireylerden kontrol grubu oluşturulamaması, araştırma için kısıtlılık oluşturmaktadır.

Yapılan araştırmalarda, yaşın VOR kazancı üzerinde, orta ve erken yaşlılık döneminde etkisi olduğunu savunanlar kadar, yaşın VOR kazancı üzerinde yaklaşık 80 yaşından sonra etkili olduğunu savunanlar da mevcuttur. Vestibüler sorunu olmayan, yalnızca sensörinöral işitme kaybı olan 65 ve ileri yaşlardaki bireyler ile 16-64 yaşlarında ya da 65-79 yaş ve 80 yaş sonrası yaş iki farklı grup oluşturularak, yaş ve VOR arasındaki ilişkiye dair daha net sonuçlar elde edilebilir.

Çalışmamız sonucunda, yaşlanmanın vHIT kazanç değerlerinde düşmeye neden olduğu, sensörinöral işitme kaybı ile vHIT kazançları arasında bir ilişki olmadığı verisine ulaşılmıştır. İleri dönem çalışmalarla, daha geniş yaş gruplarında, farklı işitme kaybı türlerinde vHIT kazanç değerleri elde edilebilirse; yaş ve sensörinöral işitme kaybının VOR'a etkisi daha çok açıklık kazanacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sensörinöral işitme kaybına sebep olan patolojilerin, aynı embriyolojik kökene sahip olan işitme ve vestibüler sistemde de disfonksiyona neden olabileceği hipotezine dayandırılmıştır.

Vestibüler tüy hücre dejenerasyonunu araştırma raporlarının bir çoğu, 65 ile 70 yaşları arasında belirgin bir tüy hücresi düşüşünün başladığını doğrulamaktadır. Rosenhall ve Rubin tarafından 1975 yılında vestibüler epitel mikrodiseksiyonları, uç organ tüy hücre sayısının, 70 yaşına kadar göreceli olarak sabit kaldığı ve ardından kademeli bir düşüş gözlemlendiği sonucuna varmıştır. Sensörinöral işitme kaybı ile vestibüler disfonksiyon arasındaki korelasyon çoklu etkenlere bağlı olabilir. Bu nedenle vestibüler sistemin bütünlüğünü değerlendirmek için uygulanan test sayısının artması, hastaların lehine olacaktır.

Vestibüler sistem hakkında çok şey bilinmesine rağmen, fizyolojisi ve postural stabilite ve lokomasyondaki sofistike rolü hakkında açıklanamayan ve muhtemelen keşfedilmemiş olan birçok şey vardır. Karmaşık anatomisi ve diğer sistemler ile entegrasyonlu fizyolojisi, vestibüler sistemin bütünüyle değerlendirilmesinde zorluklar ortaya koymaktadır. Vestibüler sistemin kompleks anatomisine ve fizyolojisine ilave olarak, vestibüler hastalık ve hatta yaşlanmadan dolayı vestibüler fonksiyondaki değişikliklerin ayırt edilmesi oldukça zordur.

Çalışmamız sonucunda yaş, VOR kazancında azalma için önemli bir risk faktörü olarak görülmüştür ancak sensörinöral işitme kaybı derecesi ile VOR arasında bir ilişki saptanmamıştır.

Çalışmamız yaşa bağlı görülen vestibüler fonksiyon kaybını, vHIT bulgularıyla da tespit ederek desteklemiştir. Fakat histopatolojik olarak kanıtlanmış dejenerasyonu göstermede literatürde fikir birliği sağlanamadığı bilinmektedir. Farklı klinik testlerin kullanıma girmesiyle yaşlı popülasyondaki

vestibüler fonksiyonların daha detaylı, hassas olarak değerlendirilmesi ve daha kesin sonuçlara ulaşılması mümkün olacaktır.

S/N işitme kaybının VOR kazancı ile ilişkisine dair daha net bilgilere ulaşılma olasılığını arttıracığından, vestibüler sistem disfonksiyonuna bağlı baş dönmesi gibi şikayetleri olan fakat S/N işitme kaybı olmayan kontrol grubu oluşturulan, yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.



KAYNAKLAR

1. Nakagawa T. Strategies for developing novel therapeutics for sensorineural hearing loss. *Front Pharmacol* 5:1-5, 2015.
2. Hullar TE, Zee DS, Minor LB. Evaluation of the patient with dizziness (Flint PW, Haughey BH, ed). *Cummings oto-laryngology head & neck surgery*. Philadelphia: Mosby Elsevier Press. 27-2305, 2010.
3. Moore KL, Dalley AF. *Clinically Oriented Anatomy*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 43-1033, 7-1146, 2006.
4. Hickey SA. Inner ear. In Stranding S, editor. *Gray's anatomy*. Section 3, chapter 39. Spain: Elsevier Churchill Livingstone. 80-663, 2005.
5. Tortora GJ, Anagnostakos NP. *Principles of Anatomy & physiology*. New York: Harper Collins. 94-483, 1990.
6. Tümerdem Y. Gerçekyaş. *Türk Geriatri Dergisi* 9(3):195-198, 2006.
7. Moscicki E, Elkins E, Baum H, McNamara P. Hearing loss in the elderly: An epidemiologic study of the Framingham Heart cohort study. *Ear and Hearing* 6:184-190, 1985.
8. Jia L, Zhaia S. Aging and the peripheral vestibular system. *Journal of Otology* 13(4): 138–140, 2018.
9. Şenkal ÖA. Derecesine ve lokalizasyonuna göre işitme kayıpları. *Temel Odyoloji* (Belgin E. ed) 1'inci baskı. Ankara, Güneş Tıp Kitabevleri. 301-322, 2015.
10. Schuknecht H. Presbycusis. *Laryngoscope* 6: 402-419, 1955.
11. Weinstein BE. Hearing loss in the elderly: A new look at an old problem (Katz J, ed). *Handbook of Clinical Audiology*. Fifth edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins. 597-607, 2002.
12. Van Rooij J, Plomp R, Orlebeke J. Auditive and cognitive factors in speech perception in elderly listeners I: Development of test battery. *Journal of Acoustical Society of America* 86:1294-1309, 1989.
13. Cervera TC, Soler MJ, Dasi C, Ruiz JC. Speech recognition and working memory capacity in young-elderly listeners: Effects of hearing sensitivity. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 63(3):216-226, 2009.

14. Pajor A, Gryczyński M, Łukomski M. Vestibular system in patients with sensorineural hearing loss. *Otolaryngol Pol* 56(6):12-707, 2002.
15. Ishiyama G. Imbalance and vertigo: the aging human vestibular periphery. *Semin Neurol* 29:491–499, 2009.
16. Janky K. L, Patterson J. N, Shepard N. T. Effects of device on video head impulse test (vHIT) gain. *Journal of the American Academy of Audiology* 28:778-785, 2017.
17. MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS. The video head impulse test: diagnostic accuracy in peripheral vestibulopathy. *Neurology* 73(14):1134-1141, 2009.
18. Lonsbury-Martin BL, Martin GK; Coats AC. Physiology of the Auditory and Vestibular Systems. In Ballenger JJ. *Diseases of the Nose, Throat, Ear, Head&Neck*. Lea &Febiger, 948-1005. 1991.
19. MacDougall H G, McGarvie LA, Halmagyi GM. Application of the video head impulse test to detect vertical semicircular canal dysfunction. *Otol Neurotol*, 34, 974–9, 2013.
20. Cremer PD, Halmagyi GM, Aw ST, Curthoys IS, McGarvie LA, Todd MJ. Semicircular canal plane head impulses detect absent function of individual semicircular canals. *Brain* 121:699-716, 1998.
21. Wiest, G. The origins of vestibular science. *Ann N Y Acad Sci*, 2015.
22. Çakır N. Kulak Anatomisi ve İşitme Fizyolojisi, *Otolaringoloji. Baş ve Boyun Cerrahisi* (Çakır N, ed). 2'inci baskı. İstanbul, Nobel Tıp Kitabevleri. 2-15, 1999.
23. Moller, M. *Hearing its Physiology and Pathophysiology*, ch. Academic Press. 74-75, 2000.
24. Akyıldız N. İşitme Fizyolojisi Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi Ankara, Bilimsel Tıp Yayınevi, 1.cilt: 22-173. 1998.
25. Karasalihoğlu A. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi. Ankara, Güneş Tıp Kitabev, 2003.
26. Austin DF. Kulak anatomisi (Ballenger JJ, ed), Snow JB, (Hafız G. Çev, ed.) *Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi*. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri 57,838, 2000.
27. Santi PA, Mancini P. Cochlear anatomy and central auditory pathways. *Otolaryngology Head & Neck Surgery*. (In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, eds) third edition. St. Louis: St. Louis: Mosby 803-2826, 1998.

28. Hızal E. Vestibüler sistemin anatomi ve fizyolojisi. Temel Odyoloji (Belgin E, ed). 1'inci baskı. Ankara, Güneş Tıp Kitabevleri. 57-69,445, 2015
29. Gacek RR. Anatomy of the central vestibular system. Neurotology (Jackler RK, Brackmann DE, ed) Philadelphia, USA: Elsevier Mosby. 75-90, 2005.
30. Schwarz DWF, Tomlinson RD. Physiology of the vestibular system. Neurotology (Jackler RK, Brackmann DE, ed) Philadelphia, USA: Elsevier Mosby, 91-121, 2005.
31. Fife TD. Overview of anatomy and physiology of the vestibular system. Vertigo and imbalance: Clinical neurophysiology of the vestibular system. Handbook of clinical neurophysiology (Eggers SDZ, Zee DS, eds). Amsterdam, Elsevier. 5-17, 2010.
32. Lee KJ. Anatomy of the ear. Otolaryngology Head and Neck Surgery Otolaryngology Head and Neck Surgery (Lee KJ, ed). Eight edition. New York, A.B.D. McGraw Hill. 1989.
33. Toth M, Csillag A. The organ of hearing and equilibrium. Atlas of the sensory organs Functional and clinical anatomy (Csillag A, ed) Totowa, New Jersey: Humana. 1-85, 2005
34. Van De Graaff KM. Senses of hearing and balance. Human Anatomy (Van De Graaff KM, ed) Sixth ed. USA: The McGraw-Hill Companies. 30-516, 2001.
35. Arıncı K, Elhan A. Anatomi. cilt 1. Ankara: Güneş Kitabevi 1997.
36. Esmer N, Akıner NM, Karasalioglu AR, Saatçi MR. Klinik odyoloji. 1.baskı, Ankara, Özışık Matbaacılık, 1995.
37. Junqueira L.C, Carneiro J, Kelley O.R.Temel Histoloji. Barış Kitabevi/ Appleton&Lange. 573–580, 1993.
38. Snell Richard S. Tıp Öğrencileri İçin Klinik Anatomi. Nobel Kitabevi 5. baskı, İstanbul. 725–734, 1995.
39. Maxwell AP, Mason SM, O'Donoghue GM. Cochlear nevre aplasia: Its importance in cochlear implantation. Am J Otol. 20, 335–337, 1999.
40. Miyashita H, Isono M, Murata K, Nakayama K, Tanaka H, Ishikawa. Three-dimensional magnetic resonance imaging findings of inner ear anomaly, Acta Otolarygol Suppl. 542, 67–70, 2000.
41. Kokleanın şematik yapısı ve Corti organı Erişim: (<http://isitmevizyoloji.blogspot.com.tr/p/isitme-organlar.html>). Erişim Tarihi: 09.5.2019

42. Ömür M, Dadaş B. Klinik Baş ve Boyun Anatomisi.1.cilt. İstanbul: Ulusal Tıp Kitapevi 1996.
43. Baloh RW, Honrubia V. Vestibular physiology. Otolaryngology Head and Neck Surgery (Cummings CWea, ed). Third edition. St Louis, A.B.D. Mosby 622-2584, 1998.
44. Guyton AC, Hall JE. Cortical and brain stem control of motor function. Textbook of Medical Physiology (Guyton AC, Hall JE, ed). Eleventh edition. Philadelphia, USA: Elsevier Saunders. 97-685, 2006.
45. Topuz B. Kulak anatomi, fizyoloji, odiooloji, semptomlar, muayene; Kulak Burun-Boğaz Hastalıkları Teşhis ve Tedavi. Denizli, Türker Ofset. 7-12, 1997.
46. Drake LR, Vogl W, Mitchell AWM, Auris Media, Tıp Fakültesi Öğrencileri İçin Gray's Anatomi (Yıldırım M, ed). İkinci baskı. Ankara, Güneş Tıp Kitabevi, 861-869, 2007.
47. Erbek HS. Sağlıklı erişkin bireylerde oküler vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyel (oVEMP) normal değerleri. Yüksek lisans tezi, Baskent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı, Ankara, 2012.
48. Baker E.W. Baş ve Boyun Anatomisi Atlası. Nobel Tıp Kitabevi. 2013.
49. Madanoğlu NA. Dış ve orta kulağın işitme mekanizmasındaki yeri. Otoskop 1:33-38, 2003.
50. Bekesy ilerleyen dalga modeli
<https://www.britannica.com/science/innerear/media/288499/1810> Erişim tarihi: 27-4-2019
51. Brenda L, Lonsbury-Martin, Martin GK, Luebke AE. İşitme ve vestibüler sistemlerin fizyolojisi. Otolaringoloji Baş Boyun Cerrahisi (Ballenger JJ, Snow JB eds). 15'inci baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri 879-929, 1996.
52. Bluestone CD. Physiology of the Middle Ear and Eustachian Tube. Otolaryngology (Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhpff WL ed.) Third ed. Philadelphia: WB Saunders Company. 163-197, 1991.
53. Brownell WE, Bader CR, Bertrand D, Deribaupierre Y. Evoked Mechanical Responses of Isolated Cochlear Outer Hair-Cells. Science. 227 (4683): 194-196, 1985.
54. Atkin L.M, Anderson D.J., & Brugge J.F. Tonotopik organisation and discharge characteristics o single neurons in nuclei of the lateral lemniscus of the cat. Journal of Neurophysiology, 33, 421-440, 1970.

55. Abbas PJ, Miller CA. Physiology of the Auditory System. In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Richardson MA, Schuller DE. Otolaryngology Head&Neck Surgery, Mosby 4: 2831-2874,1998.
56. Mills JH, Adkins WY. Anatomy and Physiology of Hearing Head&Neck Surgery–Otolaryngology (Bailey BJ, ed). Lippincott Company, Piladelphia, First Edition. Vol. 2: 1441-1461, 1993.
57. Belgin E. Temel Odyoloji (Belgin E,ed). 1’inci baskı Ankara, Güneş Tıp Kitabevleri. 27-38, 69-82, 2015.
58. Kemp DT. Otoacoustic emissions as a diagnostic tool in a clinical contex. Active process and otoacoustic emissions in hearing (Manley G.A, ed). New York, Springer. 421-460, 2008.
59. Moore K.L. & Dalley A.F. Kliniğe yönelik: anatomi, 4.Baskı. Nobel Tıp Kitabevleri, 2007.
60. Büyüklü AF. Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi. 1’inci baskı. 1.Cilt. Ankara, Anadolu Sanat. 2013.
61. Moore DR. Anatomy and physiology of binaural hearing. Audiology 30: 125-134. 1991.
62. Eldredge DH, Miller JD. Physiology of hearing. Annu Rev Physiol, 33: 81-310, 1971.
63. Daniel H.J, Brinn J.E, Fulghum R.S., Comparative anatomy of eustachian tube and middle ear cavity in animal models for otitis media. Annals of Otology, Rhinology & Laryngology, 91(1):82-9. 1982.
64. Neely JG. Mechanisms of hearing: cochlear physiology. Ear Nose Throat J 64:292-307, 1985.
65. Guyton AC, Hall JE. Tıbbi Fizyoloji. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri, 2007.
66. Pickles CF, James O. An Introduction to the Physiology of Hearing. (Fourth ed). Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited, 215-238, 2012.
67. <https://earcentral.com/wp-content/uploads//audipath-drtbalau1.jpg> Erişim: 06-5-2019).
68. Lee KJ. Essential Otorhinolaryngology, Baş ve Boyun Cerrahisi (Önerci M, Korkmaz H, ed.) 8’inci baskı, Güneş Tıp Kitabevi, 27-28-29,39, 2004.
69. Khan S, Chang R. Anatomy of the vestibular system: a review. NeuroRehabilitation, 32(3), 437-443, 2013.
70. Faller A, Michael S. Color Atlas of Human Body. Fourth edition. 644-654, 2004.

71. Pauw BK, Pollak A, Fisch U. Utricle, Saccule, and Cochlear Duct in Relation to Stapedotomy A Histologic Human Temporal Bone Study. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*. 100:966-970, 1991.
72. Snell R. *Clinical Anatomy*. Lippincott Williams & Wilkins: USA. 7- 436, 2004.
73. Çoruhlu-Uzun H, Cuthoys SI, Jones A.S. Attachment of the utrikular and saccular macula to the temporal bone. *Hear Res*. 233:77-85, 2007.
74. Sans AE. Scarfone. Afferent calyces and type I hair cells during development. A new morphofunctional hypothesis. *Ann N Y Acad Sci*. 781:1-12, 1996.
75. Naganuma H, Tokumasu K, Hashimoto S. Three-dimensional analysis of morphological aspects of the human utricular macula. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*. 112:419-424, 2003.
76. Aslan A. Kulak anatomisi. Kulak Burun Bogaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisi (Koç C, ed). 4:58-61, 2013.
77. Della Santina CC, Potyagaylo V, Migliaccio AA. Orientation of human semicircular canals measured by three-dimensional multiplanar CT reconstruction. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. 6:191-206, 2005.
78. Ardıç FN. Denge sisteminin işleyişi. Ardıç FN (ed). *Vertigo*. İzmir Güven Kitapevi. İzmir. 3-27, 2005.
79. Minor LB. Physiological principles of vestibular function on earth and in space. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 118:5-15, 1998.
80. Abbas PJ, Miller CA. Physiology of the Auditory Vestibular System. *Head&Neck Surgery–Otolaryngology* (Bailey BJ, ed). First edition. Volum 2. Philadelphia: Lippincott Company. 1441-1461, 1993.
81. Schwarz DWF, Tomlinson RD. Physiology of the vestibular system. *Neurotology* (Jackler RK, Brackmann DE, ed). Philadelphia, USA: Elsevier Mosby. 91-121, 2005.
82. Barin K. Clinical neurophysiology of the vestibular system. *Handbook of Clinical Audiology* (Katz J, ed). Philadelphia, USA: Lippincott Williams&Wilkins. 431-67, 2009.
83. Janfaza P. *Surgical Anatomy of the Head and Neck* (Nadol JB, ed). (Second Edition). America: Lippincott Williams and Wilkins, 419-479, 2001.
84. Minor L. B. Physiological principles of vestibular function on earth and in space. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 118:5-15, 1998.

85. Gulya AJ, Schuknecht HF. Vascular anatomy. Anatomy of the Temporal Bone with Surgical Implications. Second edition. New York, USA: The Parthenon Publishing Group Inc. 185-206, 1995.
86. Assad JA, Shepherd GM, Corey DP. Tip-link integrity and mechanical transduction in vertebrate hair cells. *Neuron*. 7(6):94-985, 1991.
87. Hullar TE, Della Santina CC, Hirvonen T. Responses of irregularly discharging chinchilla semicircular canal vestibular-nerve afferents during high-frequency head rotations. *Journal of neurophysiology*. 93:2777-2786, 2005.
88. Mazzoni A. The vascular anatomy of the vestibular labyrinth in man. *Acta otolaryngologica Supplementum*. 472:1-83, 1990.
89. Leigh RJ, Zee DS. The Neurology of the Eye Movements (second edition). Oxford: Oxford University Press, 2006.
90. Schubert MC, Shepard NT. Practical anatomy and physiology of the vestibular system. Balance Function Assessment and Management (Jacobsen GP, Shepard NT, eds). San Diego, CA: Plural Publishing 1–11, 2008.
91. Carey JP, Della Santina CC. (2005). Principles of applied vestibular physiology. *Otolaryngology: Head & Neck Surgery*. Fourth edition. Philadelphia, PA: Elsevier Mosby. 78-2761, 2005.
92. Halmagyi GM, Curthoys IS. A clinical sign of canal paresis. *Archives of neurology*. 45(7):9-737, 1988.
93. Aw ST, Halmagyi GM, Haslwanter T. Threedimensional vector analysis of the human vestibuloocular reflex in response to high-acceleration head rotations. II. responses in subjects with unilateral vestibular loss and selective semicircular canal occlusion. *Journal of neurophysiology* 76(6):30-4021, 1996.
94. Fetter M. Vestibulo-ocular reflex. *Dev Ophthalmol* 40:35–51, 2007.
95. Wiener-Vacher SR, Wiener SI. Video head impulse tests with a remote camera system: normative values of semicircular canal vestibulo-ocular reflex gain in infants and children *Front Neurol* 8: 434, 2017.
96. Aw ST, Haslwanter T, Halmagyi GM, Curthoys IS, Yavor RA, Todd MJ. Three-dimensional vector analysis of the human vestibuloocular reflex in response to high-acceleration head rotations, I: responses in normal subjects. *J Neurophysiol* 76:4009–4020, 1996.
97. Akkuzu G, Akkuzu B, Ozluoglu LN. Vestibular evoked myogenic potentials in benign paroxysmal positional vertigo and Menier's disease. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 263:7-510, 2006.

98. Hızal E. Temel Odyoloji (Belgin E, ed). 1'inci baskı. Ankara, Güneş Tıp Kitabevleri. 57-69, 443-463, 2015.
99. American Speech and Hearing Association(ASHA). Working group on auditory processing disorders. (Central) auditory processing disorders. Technical Report, 2005.
100. Cooper J, Lightfoot GA. Modified pure tone audiometry technique for medico-legal assessment. British Journal of Audiology 34(1):37-46, 2000.
101. Katz J, Medwetsky L, Burkard R, Hood L, Handbook of Clinical Audiology. Eighth edition. Baltimore, Williams and Wilkins, 80-114, 157-184, 2009.
102. Gerçeker M, Odyolojik Değerlendirme. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi. (Belgin E, ed). Akademisyen Tıp Kitapevi, 2014.
103. Dowson, S.P, McNeill, H.A, Torr, G.R. The performance and calibration of TDH39 earphones fitted with Model 51 and MX41/AR cushions. British Journal of Audiology 25(6):419-422, 1991.
104. Hart, LA. Development of Thai Speech Audiometry Materials for Measuring Speech Recognition Thresholds. Master of Science Thesis, Prova, Brigham Young University, Prova, 2008.
105. Pendrod, JP. Speech threshold and Word recognition /discrimination testing. Handbook of clinical audiology. (Katz J, Ed) Fourth Edition USA, Williams&Wilkins 147-164, 1994.
106. Tsai KS, Tseng LH, Wu CJ. Young ST. Development of a Mandarin Monosyllable Recognition Test. Ear & Hear 30(1):90-99, 2009.
107. Akyıldız AN. İşitme denge organının anatomik ve fonksiyonel muayenesi. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi (Akyıldız AN,ed) Bilimsel Tıp Kitapevi, Ankara,172-173, 1998.
108. Gates GA. Central presbycusis: an emerging view. Otolaryngology Head and Neck Surgery 147(1):1-2, 2012.
109. Çelik O, Şerbetçioğlu MB. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi. Otoloji ve Nöro-Otolojide Öykü, Muayene ve Değerlendirme, 1'inci baskı. İzmir, Asya Tıp Kitapevi. 23-24, 2002
110. Kozak AT, KennethM. Grundfast KM. Hearing loss. Otolaryngol Clin N Am 42:79-85, 2009.
111. Çolpan B. İşitme kayıplarının etiyolojisi. Temel Odyoloji (Belgin E. ed) 1'inci baskı. Ankara, Güneş Tıp Kitabevleri. 257-283, 2015.

112. Murnane O, Mabreyt H, Pearson A. Normative data and test-retest reliability of the SYNAPSYS video head impulse test. *J Am Acad Audiol* 25:244-252, 2014.
113. Siyamak A, Rahbar N, Ahadi M. Normative vestibulo-ocular reflex data in 6-12 year-old children using video head-impulse test. *Aud Vest Res* 26(3):1-7, 2017.
114. Jacobson GP, McCaslin DL, Grantham SL, Piker EG. Significant vestibular system impairment is common in a cohort of elderly patients referred for assessment of falls risk. *J Am Acad Audiol*. 19(10):799–807, 2008.
115. Dewane JA. Dealing with dizziness and disequilibrium in older patients: a clinical approach. *Topics in Geriatric Rehabilitation*. 11(1):30–38, 1995.
116. Cutson TM. Falls in the elderly. *Am Fam Physician*. 49(1):149–156, 1994.
117. Hobeika CP. Equilibrium and balance in the elderly. *Ear Nose Throat J* 78(8):558–562, 565–566, 1999.
118. Maes L, Dhooge I, D’Haenens W. The effect of age on the sinusoidal harmonic acceleration test, pseudorandom rotation test, velocity step test, caloric test, and vestibular-evoked myogenic potential test. *Ear Hear* 31(1):84–94, 2010.
119. Zalewski CK. Aging of the human vestibular system. *Semin Hear* 36:175–196, 2015.
120. Horak F. *Role of the Vestibular System in Postural Control*. Third edition. Philadelphia, PA: F.A. Davis Company. 2008.
121. NIH National Institutes of Deafness and Other Communication Disorders (NIDCD) ; 122, 1997.
122. Halmagyi GM, Chen L, MacDougall HG. The video head impulse test. *Front Neurol*. 8:258, 2017.
123. Zuniga MG, Dinkes RE, Bichara-D M . Association between hearing loss and saccular dysfunction in older individuals. *Otology & Neurotology* 33:1586-1592, 2012.
124. Jones SM, Jones TA, Johnson KR, Yu H, Erway LC, Zheng QY. A comparison of vestibular and auditory phenotypes in inbred Mouse strains. *Brain Res* 1091:40-6, 2006.
125. Shiga A, Nakagawa T, Nakayama M. Aging effects on vestibuloocular responses in C57BL/6 mice: comparison with alteration in auditory function. *Audiol Neurotol*, 10:97-104, 2005.

126. Jones SM, Robertson NG, Given S, Giersch AB, Liberman MC, Morton CC. Hearing and vestibular deficits in the Coch(-/-) null mouse model: comparison to the Coch(G88E/G88E) mouse and to DFNA9 hearing and balance disorder. *Hear Res* 2011;272:8-42, 2011.
127. Mock B, Jones TA, Jones SM. Gravity receptor aging in the CBA/Cal strain: a comparison to auditory aging. *J Assoc Res Otolaryngol* 12:83-173, 2011.
128. Robertson NG, Jones SM, Sivakumaran TA. A targeted Coch missense mutation: a knock-in mouse model for DFNA9 late-onset hearing loss and vestibular dysfunction. *Hum Mol Genet* 17:34-3426, 2008.
129. Igarashi M. Histopathological findings after experimental saccular destruction in the squirrel monkey. *Laryngoscope* 75:61-1048, 1965.
130. Morita N, Kariya S, Farajzadeh Deroee A. Membranous labyrinth volumes in normal ears and Meniere disease: a threedimensional reconstruction study. *Laryngoscope* 119:20-2216, 2009.
131. Gussen R. Saccule otoconia displacement into cochlea in cochleosaccular degeneration. *Arch Otolaryngol* 106:6-161, 1980.
132. Johnsson LG. Degenerative changes and anomalies of the vestibular system in man. *Laryngoscope* 81:94-1682, 1971.
133. Johnsson LG, Hawkins JE Jr. Sensory and neural degeneration with aging, as seen in microdissections of the human inner ear. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 81:93-179, 1972.
134. Ross MD, Peacor D, Johnsson LG, Allard LF. Observations on normal and degenerating human otoconia. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 85(3 Pt 1):26-310, 1976.
135. Rosenhall U, Rubin W. Degenerative changes in the human vestibular sensory epithelia. *Acta Otolaryngol* 79(1-2):67-80, 1975.
136. Jang YS, Hwang CH, Shin JY, BaeWY, Kim LS. Age-related changes on the morphology of the otoconia. *Laryngoscope* 116(6):996-1001, 2006.
137. Rosenhall U. Degenerative patterns in the aging human vestibular neuro-epithelia. *Acta Otolaryngol* 76(2):208-220, 1973.
138. Richter E. Quantitative study of human scarpa's ganglion and vestibular sensory epithelia. *Acta Otolaryngol* 90(3-4):199-208, 1980.
139. Bergstrom B. Morphology of the vestibular nerve. I. Anatomical studies of the vestibular nerve in man. *Acta Otolaryngol* 76(2):162-172, 1973.

140. Bergstrom B. Morphology of the vestibular nerve. II. The number of myelinated vestibular nerve fibers in man at various ages. *Acta Otolaryngology* 76(2):173–179, 1973.
141. Merchant SN, Velazquez-Villasenor L, Tsuji K, Glynn RJ, Wall C III, Rauch SD. Temporal bone studies of the human peripheral vestibular system. Normative vestibular hair cell data. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 181:3–13, 2000.
142. Rauch SD, Velazquez-Villasenor L, Dimitri PS, Merchant SN. Decreasing hair cell counts in aging humans. *Ann N Y Acad Sci* 942:220–227, 2001.
143. Anniko M. The aging vestibular hair cell. *Am J Otolaryngol* 4(3):151–160, 1983.
144. Engstrom H, Bergstrom B, Rosenhall U. Vestibular sensory epithelia. *Arch Otolaryngol*: 100(6):411–418, 1974.
145. Igarashi M, Saito R, Mizukoshi K, Alford BR. Otoconia in young and elderly persons: A temporal bone study. *Acta Otolaryngol Suppl* 504:26–29, 1993.
146. Thalmann R, Ignatova E, Kachar B, Ornitz DM, Thalmann I. Development and maintenance of otoconia: Biochemical considerations. *Ann N Y Acad Sci* 942:162–178, 2001.
147. Chang NY, Hiss MM, Sanders MC. Vestibular perception and the vestibulo-ocular reflex in young and older adults. *Ear Hear* 35(5):565–570, 2014
148. Weber KP, Aw ST, Todd MJ, McGarvie LA, Curthoys IS, Halmagyi GM. Horizontal head impulse test detects gentamicin vestibulotoxicity. *Neurology* 72:24-1417, 2009.
149. Marques P, Manrique-Huarte R, Perez-Fernandez N. Single intratympanic gentamicin injection in Meniere's disease: VOR change and prognostic usefulness. *Laryngoscope* 125:20-1915, 2015.
150. Matino-Soler E, Esteller-More E, Martin-Sanchez JC, Martinez-Sanchez JM, Perez-Fernandez N. Normative data on angular vestibulo-ocular responses in the yaw axis measured using the video head impulse test. *Otology&neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2014
151. Davalos-Bichara M, Agrawal Y. Normative results of healthy older adults on standard clinical vestibular tests. *Otol Neurotol* 35:297–300, 2014.

152. McGarvie LA, MacDougall HG, Halmagyi GM, Burgess AM, Weber KP, Curthoys IS. The Video Head Impulse Test (vHIT) of Semicircular Canal Function - Age-Dependent Normative Values of VOR Gain in Healthy Subjects. *Front Neurol* 6:154, 2015.
153. Mossman B, Mossman S, Purdie G, Schneider E. Age dependent normal horizontal VOR gain of head impulse test as measured with video-oculography. *J Otolaryngol Head Neck Surg* 44:29, 2015.
154. McGarvie LA, Curthoys IS, MacDougall HG, Halmagyi GM. What does the head impulse test versus caloric dissociation reveal about vestibular dysfunction in Meniere's disease? *Ann N Y Acad Sci.* 1343:58–62, 2015.
155. Li C, Layman AJ, Geary R. Epidemiology of vestibulo-ocular reflex function: Data from the baltimore longitudinal study of aging. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 2014.
156. Yang CJ, Lee JY, Kang BC. Quantitative analysis of gains and catch-up saccades of video-head-impulse testing by age in normal subjects. *Clin Otolaryngol* 41:8-532, 2016.
157. Karmali F, Whitman GT, Lewis RF. Bayesian optimal adaptation explains age-related human sensorimotor changes. *J. Neurophysiol.* 119:509–520, 2018.
158. Paige GD. The aging vestibulo-ocular reflex (vor) and adaptive plasticity. *Acta Otolaryngol Suppl* 481:297–300, 1991.
159. Paige GD. Senescence of human visual-vestibular interactions. 1. Vestibulo-ocular reflex and adaptive plasticity with aging. *J Vestib Res* 2(2):133–151, 1992.
160. Furman JM, Redfern MS. Effect of aging on the otolith-ocular reflex. *J Vestib Res* 11(2):91–103, 2001.