



1993

T.C.

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KULAK BURUN BOĞAZ ANABİLİM DALI
ODYOLOJİ, KONUŞMA VE SES BOZUKLUKLARI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**FARKLI ZAMAN ARALIKLARI İLE TEKRARLANAN BAŞ
HAREKETLERİNİN VIDEO HEAD IMPULSE TEST (vHIT)
ÖLÇÜMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Evren HIZAL

ANKARA, 2015



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

**FARKLI ZAMAN ARALIKLARI İLE TEKRARLANAN BAŞ
HAREKETLERİNİN VIDEO HEAD IMPULSE TEST (vHIT)
ÖLÇÜMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Evren HIZAL

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hatice Seyra ERBEK

ANKARA, 2015

Bu çalışma Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu ve Etik Kurulu tarafından onaylanmış (Proje no: KA14/335) ve Başkent Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir.

ONAY SAYFASI

T.C
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Odyoloji ve Konuşma Ses Bozuklukları Yüksek Lisans Programı çerçevesinde **Evren Hızal** tarafından yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 24/02/2015

Tez Konusu: "Farklı Zaman Aralıkları ile Tekrarlanan Baş Hareketlerinin vHIT (video head impulse test) Ölçümleri Üzerindeki Etkileri "

TEZ DANIŞMANI: Doç. Dr. H. Seyra Erbek

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Prof. Dr. Erol Belgin

Prof. Dr. Armağan İncesulu

Doç. Dr. H. Seyra Erbek

Başkent Üniversitesi

Osmangazi Üniversitesi

Başkent 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 / 02 / 2015 tarih ve 057.. Karar Sayısı ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Rengin ERDAL
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Kulak Burun Boğaz uzmanlık eğitimimde olduğu gibi, yüksek lisans sürecinin her aşamasında beni cesaretlendiren, yönlendiren ve daima destek olan değerli hocam, Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Levent N. Özlüoğlu'na teşekkür ederim.

Odyoloji, Konuşma ve Ses Bozuklukları alanında yetişmemi sağlayan, gerek akademik gerekse insani açıdan yol gösteren, öğreten, değerli hocam Prof. Dr. Erol Belgin'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecinin başından sonuna kadar yanımda olan, mesleki, akademik ve kişisel gelişimimde eşsiz katkıları bulunan, tez danışmanım, değerli hocam, Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı öğretim üyesi, Doç. Dr. H. Seyra Erbek'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında büyük katkıları olan Arş. Gör. Dr. H. Samet Koca, Arş. Gör. Dr. Sebuhi Jafarov ile, Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Erdinç Aydın, Doç. Dr. Selim S. Erbek, Doç. Dr. Fuat Büyüklü ve Yrd. Doç. Dr. Seda Türkoğlu Babakurban'a, diğer araştırma görevlilerine, birlikte çalışmaktan büyük zevk aldığım diğer yüksek lisans öğrencilerine, Odym. Sinem Kapıcıoğlu'na ve Odym. Güldeniz Pekcan'a teşekkür ederim.

Son olarak, yüksek lisans eğitimi ve tez çalışması sürecinde desteklerini esirgemeyen değerli eşime ve aileme teşekkür ederim.

Evren HIZAL

Ankara, 2015

ÖZET

Video baş itme testi (vHIT), vestibüler sistem bütünlüğünün değerlendirilmesinde kullanılan yeni bir yöntemdir. Değişik vHIT cihazları ve uygulayıcılar arasında test tekniği açısından farklılıklar görülebilmektedir. vHIT ölçümleri sırasında yapılan ardışık baş itme hareketleri arasında geçmesi gereken süre net değildir. Bu sürenin ölçüm sonuçlarına bir etkisi olup olmadığı da bilinmemektedir.

Bu çalışmanın amacı, ardışık baş itme hareketleri arasında geçen sürenin vHIT ölçümleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Elde edilecek sonuçlar ayrıca hastaların değerlendirilmesinde referans olarak kullanılabilecek kliniğimize ait normal değerlerin belirlenmesini sağlayacaktır.

Çalışma, Başkent Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı'nda kulak şikayeti olmayan 21 gönüllü, sağlıklı birey ile yürütülmüştür. Gönüllülere vHIT yapılmış, birbirini izleyen ardışık her baş hareketinin başlangıcı arasında yaklaşık olarak 2 saniye, 5 saniye ve 10 saniye beklenerek testler tekrarlanmıştır. Her vHIT testinde, lateral semisirküler kanallar için 40 msn, 60 msn ve 80 msn anlık vestibüloöklüler refleks (VOR) kazançları ile tüm semisirküler kanallar için ortalama kazançlar ve kazanç asimetrisi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırılmış ve 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan baş hareketlerinin VOR kazançları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Lateral semisirküler kanallar için baş itme hareketleri arasında geçen sürenin anlık (40 msn, 60 msn ve 80 msn) ve ortalama kazançlar ile kazanç asimetrisi değerleri üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı etkisi olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Lateral semisirküler kanallar için 80 msn anlık kazancı ve ortalama kazanç değerleri, VOR cevaplarının değerlendirmesinde kullanılabilir. Sağ anterior ($p=0.001$) ve sol posterior semisirküler kanal ($p=0.034$) için ortalama kazançlar 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında farklılık göstermiştir. Vertikal kanallara ait diğer ölçüm sonuçlarının ise 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında farklı olmadığı görülmüştür ($p>0.05$).

vHIT, noninvaziv ve erişkinlerde göreceli olarak hızlı uygulanabilen bir testtir. Ardışık baş hareketleri arasında 2 sn'den az olmamak koşuluyla geçen sürenin lateral semisirküler kanal ölçümleri üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Vertikal kanal ölçümleri, tekrarlanan baş hareketleri arasında geçen süreden etkileniyor olabilir. Ancak, ölçümler test tekniğinden kaynaklanan hatalara açıktır.

Anahtar Kelimeler: Vestibüloöler refleks, vestibüloöler refleks kazancı, baş itme testi, video baş itme test

ABSTRACT

Video head impulse test (vHIT) is a new method for the assessment of vestibular system. The test technique may vary between different vHIT devices and technicians. Time interval that should be left between repetitive head impulses is not clear. Besides, the effect of that time interval on measurement results is not known.

The aim of this study is to investigate the effects of the time interval between repetitive head impulses on vHIT measurements. The results of this study will also allow the detection of normative data of our clinic that can be used as reference values in the assessment of patients.

The study was conducted with twenty-one healthy volunteers with no ear complaints, at Baskent University Department of Otorhinolaryngology. vHIT was applied to the volunteers and the tests were repeated with leaving 2 sec, 5 sec and 10 sec between repetitive head impulses. Instantaneous vestibuloocular reflex (VOR) gains at 40 msec, 60 msec and 80 msec for lateral semi-circular channels and average gain and gain asymmetry values were determined for all semi-circular channels. The data from measurements were compared and the effects of repetitive head impulses with 2 sec, 5 sec and 10 sec time gaps on VOR gains were assessed.

Time period between head impulses were shown to have no statistically significant effect on instantaneous (at 40 msec, 60 msec and 80 msec) and average gains and gain asymmetry values for the lateral semi-circular channels ($p>0.05$). 80 msec instantaneous gain and average gain values can be used for the assessment of VOR responses of lateral semi-circular channels. There were differences among the average gain values between 2 sec, 5 sec and 10 sec measurements of the right anterior ($p=0.001$) and left posterior ($p=0.034$) semi-circular channels. Other results that belong to the vertical channels showed no statistically significant significance between 2 sec, 5 sec and 10 sec measurements ($p>0.05$).

vHIT is a non-invasive test that can relatively be quickly applied in adults. Time intervals more than 2 sec between repetitive head impulses have no significant effect

on the lateral semi-circular channel measurements. Vertical channel measurements may be affected from the time interval between repetitive head impulses. However, measurements are subject to errors that are related to the test technique.

Key words: Vestibuloocular reflex, vestibuloocular reflex gain, head impulse test, video head impulse test

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	x
ŞEKİLLER.....	xii
TABLolar.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Vestibüler Sistem Anatomi ve Fizyolojisi.....	3
2.1.1. Vestibüler Labirentin Embriyogenezi.....	4
2.1.2. Vestibüler Uç Organların Anatomisi.....	6
2.2. Baş İtme Testi (Head Impulse/Head Thrust Test).....	27
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	29
3.1. vHIT Test Tekniği ve Ölçümler.....	29
3.2. İstatistiksel analiz.....	33
4. BULGULAR.....	40
4.1. Gönüllülerin demografik özellikleri.....	40
4.2. Lateral Semisirküler Kanal Kazançları.....	40
4.2.1. 2 saniye aralıklarla yapılan baş itme hareketlerinde lateral kanal kazançları.....	40
4.2.2. 5 saniye aralıklarla yapılan baş itme hareketlerinde lateral kanal kazançları.....	41
4.2.3. 10 saniye aralıklarla yapılan baş itme hareketlerinde lateral kanal kazançları.....	43
4.3. Farklı Zaman Aralıkları ile Tekrarlanan Baş İtme Hareketlerinin Sonuçlara Etkisi.....	44
5. TARTIŞMA.....	47
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	59
7. KAYNAKLAR.....	61

KISALTMALAR ve SİMGELER

°	: Derece (<i>Degree</i>)
µm	: Mikrometre (<i>Micrometer</i>)
a.	: Arter (<i>Arteria, artery</i>)
ASSK	: Anterior semisirküler kanal (<i>Anterior semicircular channel</i>)
BPPV	: Benign paroksizmal pozisyonel vertigo (<i>Benign Paroxysmal Positional Vertigo</i>)
cm	: Santimetre (<i>Centimeter</i>)
cVEMP	: Servikal vestibüler uyarılmış myojenik potansiyeller (<i>Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potentials</i>)
EOG	: Elektrokülografi (<i>Electrooculography</i>)
g	: Gram
HIT	: Baş itme testi (<i>Head Impulse Test</i>)
hVOR	: Horizontal (lateral) vestibülooküler refleks (<i>Horizontal [lateral] vestibuloocular reflex</i>)
Hz	: Hertz
IMU	: Atalet ölçüm ünitesi (<i>Inertial Measurement Unit</i>)
K ⁺	: Potasyum
l	: Litre
LA	: Sol anterior (<i>Left Anterior</i>)
LARP	: Sol anterior – sağ posterior semisirküler kanallar (<i>Left Anterior – Right Posterior semicircular channels</i>)
LED	: Işık yayan diyot (<i>Light Emitting Diode</i>)
LP	: Sol posterior (<i>Left Posterior</i>)
LSSK	: Lateral semisirküler kanal (<i>Lateral semicircular channel</i>)
mEq	: Milieküvalan (<i>Milliequivalent</i>)
mm	: Milimetre (<i>Millimeter</i>)
msec	: Millisecond (<i>Milisaniye</i>)
msn	: Milisaniye (<i>Millisecond</i>)
mV	: Milivolt (<i>Millivolt</i>)
Na ⁺	: Sodyum

OTR	: Oküler tilt (eğilme) reaksiyonu (<i>Ocular tilt reaction</i>)
oVEMP	: Oküler vestibüler uyarılmış myojenik potansiyeller (<i>Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potentials</i>)
PSSK	: Posterior semisirküler kanal (<i>Posterior semicircular channel</i>)
RA	: Sağ anterior (<i>Right Anterior</i>)
RALP	: Sağ anterior – sol posterior semisirküler kanallar (<i>Right Anterior – Left Posterior semicircular channels</i>)
RP	: Sağ posterior (<i>Right Posterior</i>)
Sec	: Second (<i>Saniye</i>)
Sn	: Saniye (<i>Second</i>)
SD	: Standart sapma (<i>Standard Deviation</i>)
SPSS	: Sosyal bilimler için istatistik paketi (<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>)
T1	: Zaman sabiti 1 (<i>Time constant 1</i>)
T2	: Zaman sabiti 2 (<i>Time constant 2</i>)
TM	: Tescilli marka, ticari marka (<i>Trademark</i>)
USB	: Evrensel seri veriyolu (<i>Universal Serial Bus</i>)
vHIT	: Video baş itme testi (<i>Video Head Impulse Test</i>)
VOR	: Vestibülooküler refleks (<i>Vestibuloocular reflex</i>)

ŞEKİLLER

Sayfa No:

Şekil 2.1.	İç kulağın embriyolojik gelişimi	5
Şekil 2.2.	Kemik ve membranöz labirentin yapısı.....	7
Şekil 2.3.	Semisirküler kanalların (SSK) kafa içindeki yerleşimleri. Lateral semisirküler kanallar yatay düzlemle 25-30 derece açı yaparlar. Sağ lateral semisirküler kanal, sol lateral semisirküler kanal ile; sağ posterior semisirküler kanal, sol anterior semisirküler kanal ile; sol posterior semisirküler kanal da sağ anterior semisirküler kanal ile birbirine paralel düzlemlerde yerleşir	7
Şekil 2.4.	Membranöz labirentin yapısı ile kristaların ve makülaların yerleşimleri	8
Şekil 2.5.	Vestibüler reseptör hücrelerinin (tüylü hücreler) yapısı. Sol tarafta Tip I, sağ tarafta ise Tip II tüylü hücre resmedilmiştir. Tüylü hücrelerin apikal uçlarından yukarı doğru uzanan stereosilyumların dizilim özellikleri ve kinosilyumla ilişkileri görülebilir	10
Şekil 2.6.	Krista ampullarisin yapısı ile kupulanın endolenf etkisi ile temsili hareketi. Kesikli çizgi ile kupulanın istirahat pozisyonu gösterilmiştir.....	12
Şekil 2.7.	Kafanın hareket yönü ile, semisirküler duktus içindeki endolenfin bunun tersi yönde ampullaya doğru olan hareketi (ampullopetal akım) ve kupulanın yer değiştirmesi	13
Şekil 2.8.	Otolitik organlarda yer alan makülanın temsili yapısı	16
Şekil 2.9.	Utrikül ve sakkülün yerleşim düzlemleri. Kesikli çizgiler, striolayı temsil etmektedir. Oklar, sakküldeki tüylü hücrelerin kinosilyumları strioladan uzağa doğru bakacak şekilde, utriküldeki tüylü hücrelerin ise kinosilyumları striolaya doğru bakacak şekilde yerleştiğini göstermektedir.....	18
Şekil 2.10.	İç kulağın arteriel kanlanması.	19
Şekil 3.1.	Uygun yerleştirme pozisyonunda bir vHITgözlüğünün görüntüsü.	34
Şekil 3.2.	Gözlük yerleştirilen gönüllü (hasta) ve duvarda önceden belirlenmiş mavi nokta şeklindeki bakış hedefinin görüntüsü.	34

Şekil 3.3.	Lateral semisirküler kanalların ölçümleri sırasındaki uygulayıcı ve gönüllü (hasta) pozisyonu.....	35
Şekil 3.4.	Sağ anterior ve sol posterior semisirküler kanalların (RALP) ölçümleri sırasındaki uygulayıcı ve gönüllü (hasta) pozisyonu.	35
Şekil 3.5.	Ölçümler sırasında kullanılan bilgisayar ekranının test başlamadan önceki görüntüsü. Orta kısımda yer alan grafikte, yapılan baş itme hareketlerinin uygunluğu ve buna cevaben gelişen göz hareketleri gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.....	36
Şekil 3.6.	Lateral semisirküler kanallar için yapılan ölçüm sonuçlarının yer aldığı ekran görüntüsü. Sol üstte, kırmızı renkli kare içinde sağ lateral semisirküler kanal, üst ortada yer alan mavi renkli kare içinde ise sol lateral semisirküler kanala ait baş ve göz hareketleri eğrileri görülmektedir. Baş hareketleri gri renkli eğrilerle, göz hareketleri ise siyah renkli eğrilerle gösterilmiştir. Sol alt köşede sağ lateral semisirküler kanal; bunun yanında, ortada ise sol lateral semisirküler kanal ölçümlerinde saptanan 40 msn, 60 msn ve 80 msn anlık median kazanç değerleri verilmiştir. Sağ alt köşede, ölçümlerde saptanan median kazançların işaretlendiği nokta dağılım grafiği; bunun üstünde ise ortalama kazançları gösteren regresyon eğrileri görülmektedir.....	37
Şekil 3.7.	Sağ anterior ve sol posterior semisirküler kanallar (RALP) için yapılan ölçüm sonuçlarının yer aldığı ekran görüntüsü. Sol üstte, kırmızı renkli kare içinde sağ anterior semisirküler kanal, üst ortada yer alan mavi renkli kare içinde ise sol posterior semisirküler kanala ait baş ve göz hareketleri eğrileri görülmektedir. Baş hareketleri gri renkli eğrilerle, göz hareketleri ise siyah renkli eğrilerle gösterilmiştir. Sağ alt köşede, ölçümlerde saptanan median kazançların işaretlendiği nokta dağılım grafiği; bunun üstünde ise ortalama kazançları gösteren regresyon eğrileri görülmektedir.	38
Şekil 3.8.	Tüm semisirküler kanallara ait ölçüm sonuçlarının özetlendiği rapor görüntüsü.....	39

TABLÖLAR

Sayfa No:

Tablo 4.1.	2 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde lateral kanal kazançlarının karşılaştırılması.....	40
Tablo 4.2.	5 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde lateral kanal kazançlarının karşılaştırılması.....	42
Tablo 4.3.	10 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde lateral kanal kazançlarının karşılaştırılması.....	43
Tablo 4.4.	2, 5 ve 10 saniye aralıklarla tekrarlanan baş itme hareketlerinin vHIT sonuçlarına etkisi	44

1. GİRİŞ

İç kulakta yer alan vestibüler uç organların ve merkezi sinir sisteminin bunlarla ilişkili yapılarının sağlıklı ve birbiriyle uyum içinde çalışması, dengenin korunması için şarttır. Bu yapıların işleyişini etkileyen herhangi bir sorun, genel bir ifadeyle vestibüler sistem bozukluğuna yol açar. Benign paroksizmal pozisyonel vertigo (BPPV), vestibüler nörit, Meniere Hastalığı, labirentit, perilemf fistülü gibi hastalıklar, vestibüler sistem bozukluklarının en sık karşılaşılan sebeplerindendir. Bununla birlikte, vestibüler organların kanlanma bozuklukları, vestibüler schwannom/akustik nörinom, ototoksisite, superior semisirküler kanal dehissansı, geniş vestibüler akuadukt, hareket hastalığı gibi sorunlar da vestibüler sistem bozukluklarına yol açabilirler. Merkezi sinir sistemi yapılarını etkileyen hastalıklar, migren, otoimmün hastalıklar, görme veya proprioseptif duyu bozuklukları, allerjiler, infeksiyon hastalıkları, hormonal bozukluklar, kan basıncı bozuklukları, kalple ilişkili sorunlar ve daha birçok durum da vestibüler sistemin işleyişini olumsuz etkileyebilir.

Vestibüler sistem bozukluklarının ana belirtisi dengesizlik veya baş dönmesidir. Dengesizlik veya baş dönmesi, hemen herkesin en az bir kez yaşadığı, sık karşılaşılan ve çoğu zaman değerlendirilmesi güç bir sağlık sorunudur. Basit ve geçici sebeplerden, yaşamı tehdit eden ve acil müdahale edilmesi gereken hastalıklara kadar farklı birçok durum, baş dönmesi veya denge bozukluğuna neden olabilir. Önemli olan, bu belirtinin neden ortaya çıktığının belirlenmesidir. Vestibüler sistem bozukluklarında, öykü ve muayene bulguları çoğu zaman sorunun nedenine yönelik fikir verir. Bazı olgularda ise, doğru tanıyı koymak ve tedaviyi düzenleyebilmek için çeşitli tetkikler ile ileri odyolojik ve vestibüler testler gerekebilir.

Halmagyi ve Curthoys tarafından 1988 yılında klinik kullanıma sokulan baş itme testi (head thrust test, HIT), baş dönmesine neden olan durumun tespiti için kullanılan testlerden biridir. Test, tekrarlanan hızlı baş itme hareketlerine cevaben gelişen göz hareketlerinin incelenmesi ve bu yolla vestibülooküler refleks (VOR)

bütünlüğünün değerlendirilmesi temeline dayanır. Yatak başında ve kolay uygulanabilen bir test olarak HIT, özellikle periferik vestibüler hastalıklarla merkezi sinir sistemi kaynaklı hastalıkların ayırıcı tanısının yapılmasına yarar; ancak sonuçlar, uygulayıcı bağımlıdır ve sayısal olarak ifade edilemez. Kamera ve dijital işleme teknolojisindeki gelişmeler, yüksek hızlı video kayıtları alınabilmesinin ve göz pozisyonlarının hassas şekilde belirlenebilmesinin önünü açmış; bu sayede, HIT ölçümlerinin sayısal olarak ifade edilebilmesini sağlayan video baş itme testi (video head impulse test, vHIT) geliştirilmiştir. Vestibüler sistem bozukluklarının değerlendirilmesinde göreceli olarak kolay olan, yatak başında uygulanabilen yeni bir yöntem olan vHIT, giderek yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, temelde aynı olan ölçüm tekniği bazı durumlarda farklı vHIT cihazları ve uygulayıcılar arasında değişebilmektedir. Örneğin, vHIT ölçümleri sırasında yapılan ardışık baş itme hareketleri arasında geçmesi gereken süre net değildir. Bu sürenin ölçüm sonuçlarına bir etkisi olup olmadığı da bilinmemektedir.

Bu çalışmanın amacı, klinik pratikte hızlı bir şekilde yapılan ardışık baş itme hareketleri arasında geçen sürenin, vHIT ölçüm sonuçları üzerindeki etkisini araştırmaktır. Sağlıklı gönüllülerde yapılacak ölçümler, ayrıca, tüm semisirküler kanallar için VOR kazançlarının incelenmesini ve kliniğe başvuran hastaların değerlendirilmesinde referans olarak kullanılabilecek normal değerlerin belirlenmesini sağlayacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Vestibüler Sistem Anatomi ve Fizyolojisi

Hareket etme ve denge, tüm canlılar için olduğu gibi, iki ayağı üzerinde duran insanlar için de vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Denge, vestibüler sistem başta olmak üzere vücuttaki birçok sistemin birbiriyle uyum içinde çalışmasına bağımlı olan, karmaşık bir yetenektir (1-4).

Vestibüler sistem, yerçekimini, kafanın boşluktaki konumunu, vücudun her türlü hareketini ve konum değişikliğini hisseden özelleşmiş yapılardan oluşur. Konum ve harekete yönelik bilgiler, esas olarak her iki iç kulakta yer alan vestibüler uç-organlar tarafından sağlanır. Bununla birlikte, gözler, deri, tendonlar, kaslar ve eklemlerden de bilgi toplanır. Bu bilgiler, merkezi sinir sisteminde işlenir, bütünleştirilir ve vücudun konumuna ve her türlü hareketine uyumlu olacak şekilde duruşu sağlayan kaslara komutlar gönderilir. Neticede, gözlerin bakılan noktada sabitlenmesi, çeşitli vücut kaslarının tonusunun ayarlanması gibi çeşitli refleksif mekanizmalarla vücut pozisyonu korunur, denge sağlanır (2-7).

Vestibüler sistemin işleyişini daha iyi anlamak açısından, kafanın her türlü hareketi “açısal hareketler” ve “doğrusal hareketler” olmak üzere temelde ikiye ayrılabilir. Kafa sabit tutularak herhangi bir yöne doğru çevrilmeden, vücudun ileri-geri, sağa-sola, yukarı-aşağı yönlü hareket etmesi, doğrusal (*linear*) hareket olarak tanımlanır. Örneğin, bir arabada kafamız sabit şekilde otururken yolculuk yapma; kafamızı hiç oynatmadan bir tekerlekli sandalye üzerinde veya patenle kayma; düz durur ve karşıya bakarken asansörle yukarı çıkma veya aşağı inme sırasında doğrusal hareket gerçekleşir. Kafanın sağa veya sola çevrilmesi, öne-arkaya veya yanlara doğru eğilmesi ise açısal (*angular*) veya rotasyonel hareket olarak tanımlanır. Vestibüler sistem, tüm bu doğrusal ve açısal hareketleri her bir taraftaki iç kulakta bulunan 5 adet uç-organla tespit eder. Bunlar “sakkül (*saccul*)” ve “utrikül (*utricle*)” ile “anterior, posterior ve lateral semisirküler kanallar”dır. Yerçekiminin ve hareketlerin yarattığı fiziksel uyarılar, bu organlarda elektrokimyasal uyarılara

dönüştürülerek merkezi sinir sistemi tarafından kullanılabilir bilgiye çevrilir. “Otolit organlar” da denilen sakkül ve utrikül, yerçekimi etkisini ve doğrusal hareketleri; semisirküler kanallar ise açısal hareketleri sağlarlar (2-7).

Vestibüler uç organların işlevleri, embriyolojik gelişimleriyle, anatomik yapılarıyla ve yerleşimleri ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, öncelikle vestibüler organların anatomisi ve gelişimi üzerinde durulacaktır.

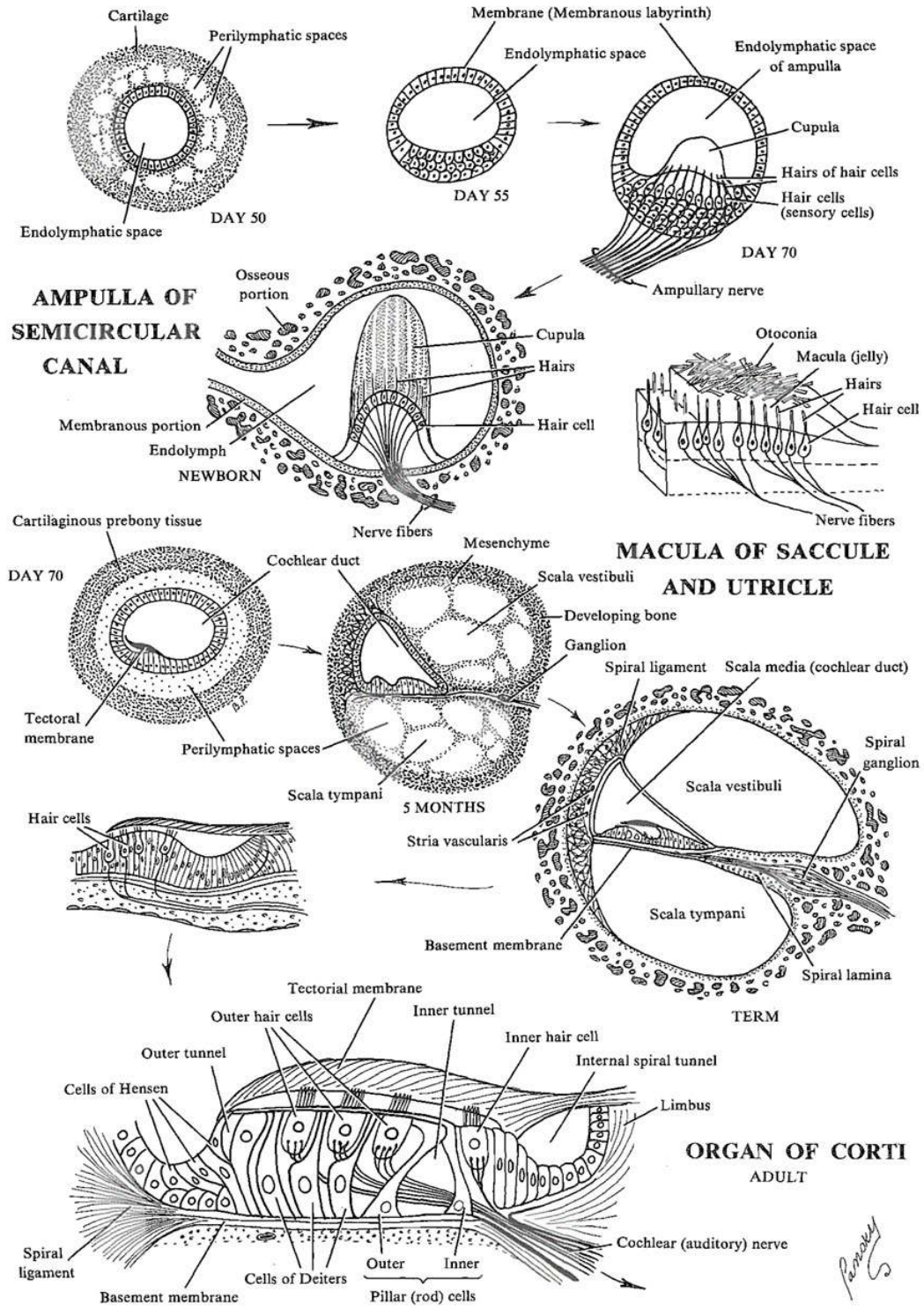
2.1.1. Vestibüler Labirentin Embriyogenezi

Vestibüler uç organlar gebeliğin 3. haftasından 25. haftasına kadar gelişir. 3-4. haftalarda nöroektoderm ve ektodermden otik plakod oluşur. 4. 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 (2, 6, 8-10).

Vestibüler duyu epiteli ektodermden köken alır. 14-16. haftalarda, her bir semisirküler kanal duktusun ampullasında birer adet olmak üzere üç ampuller krista; biri utrikülde diğeri de sakkülde olmak üzere iki maküla gelişimi gerçekleşir. Önce otik vezikülün iç yanı kalınlaşarak ortak maküla oluşur. Maküla üçüncü haftada belirir ve 14-16. haftalarda erişkindeki boyutuna ulaşır. Sonra maküla ikiye bölünerek sakkül ve utriküler maküla ayrılmış olur. Onbirinci haftada maküladaki duyu epiteli ve destek hücreleri ayrılarak otolitler oluşur (Şekil 2.1.) (2, 6, 8-10).

Koklear duktus boyunca bir bazal membran ayrımlaşır. Endolenfatik boşluk, ektoderm kökenli epitelle örtülüdür. Otik veziküle ilk ulaşan lifler efferent liflerdir. Afferent uçların nörosensöriyal epitele gelmesi ile saçlı hücre gelişimi başlar. Krista 23. haftada, korti organı ise yirmi beşinci haftada erişkin şekillerine ulaşır. Labirentin geri kalan kısmı prenatal yaşamın ortasında yetişkindeki boyutuna ulaşsa da

aqueductus vestibuli ve endolenfatik kese postnatal dönemde gelişmeye devam ederler (2, 6, 8-10).



Şekil 2.1. İç kulağın embriyolojik gelişimi. [Resim, (11) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

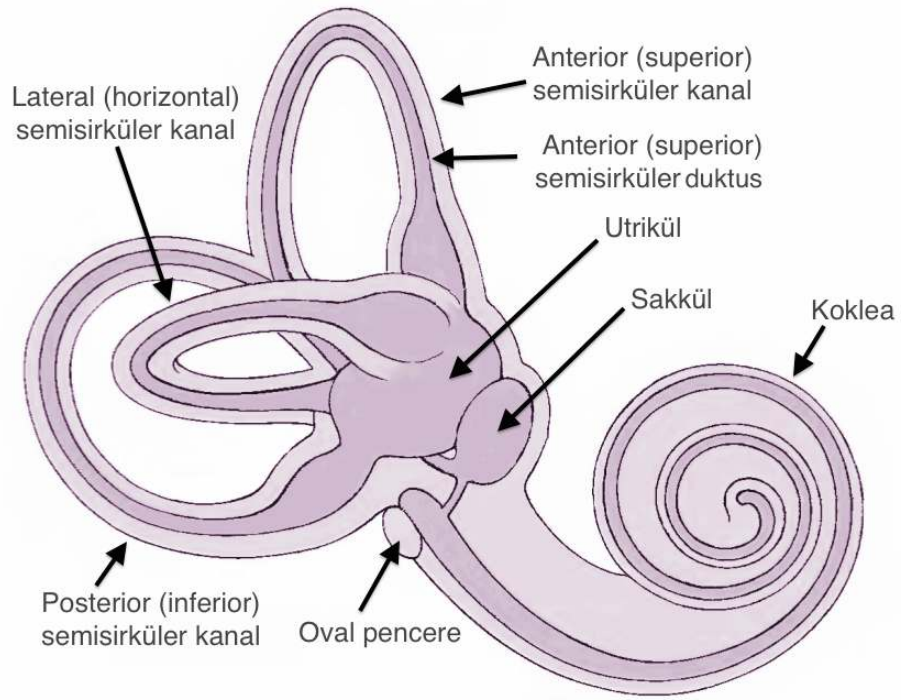
2.1.2. Vestibüler Uç Organların Anatomisi

Vestibüler uç-organlar, işitme duyusunun algılandığı koklea ile birlikte kemik labirent içinde bulunur. Kemik labirent, temporal kemiğin petröz parçasında yer alan, birbirleriyle bağlantılı kıvrımlı borular, odacık ve kanallardan oluşan, karmaşık bir anatomiye sahip kemik yapıya verilen isimdir. Bu kemik yapının medialinde, içinden fasiyal ve vestibülokoklear sinirlerin geçtiği internal akustik (*auditory*) kanal; lateralinde, mastoid hava hücreleri, mastoid antruma açılan açıklık (*aditus ad antrum*) ve orta kulak boşluğu bulunur. Kemik labirent, kranial yüzünde yaklaşık olarak temporal lob posterior yüzü ile komşudur.

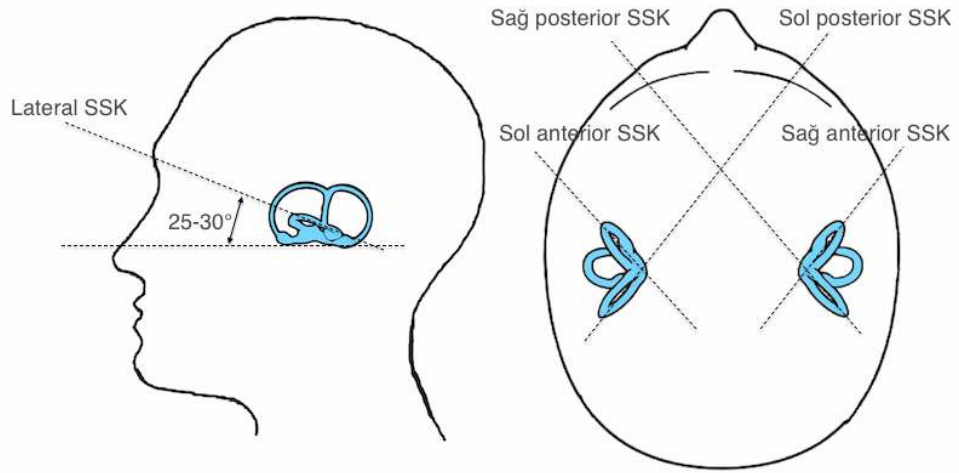
Membranöz labirent kemik labirent ile yakın komşuluk gösterir. Membranöz labirent ile kemik labirent arasında perilenfatik sıvı bulunur. Destekleyici konnektif doku kan damarları kemik labirent periosteumu ve membranöz labirent arasındadır. Membranöz labirent endolenfatik sıvıyı içerir.

Kemik labirent, kabaca üç kısma ayrılabilir. Anteriorda, koklea; posteriorda, semisirküler kanallar (yarım daire kanalları); bu ikisinin ortasında ise vestibül yer alır (Şekil 2.2) (2-4, 6, 9, 12, 13).

Kelime itibarı ile “giriş, açıklık, antre, hol” anlamlarına gelen vestibül, kemik labirentin orta kısmında bulunur. İç kulağın anterior ve posterior kısımları arasında bağlantıyı sağlayan bir boşluk olarak vestibül, lateral duvarındaki oval pencere yoluyla aynı zamanda orta kulak ile iç kulağın bağlantısını da sağlar. Vestibüler uç-organlardan utrikül ve sakkül, vestibülde yer alırlar (Şekil 2.2) (2-4, 6, 9, 12, 13).

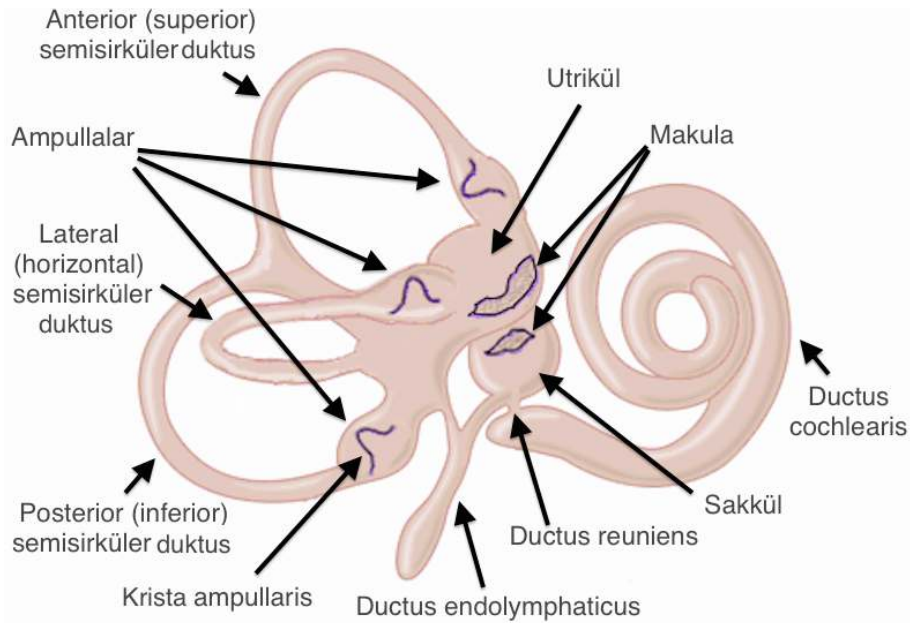


Şekil 2.2. Kemik ve membranöz labirentin yapısı. [Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]



Şekil 2.3. Semisirküler kanalların (SSK) kafa içindeki yerleşimleri. Lateral semisirküler kanallar yatay düzlemle 25-30 derece açı yaparlar. Sağ lateral semisirküler kanal, sol lateral semisirküler kanal ile; sağ posterior semisirküler kanal, sol anterior semisirküler kanal ile; sol posterior semisirküler kanal da sağ anterior semisirküler kanal ile birbirine paralel düzlemlerde yerleşir. [Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

Her bir taraftaki iç kulakta, vestibülün posteriorunda üç adet kemik semisirküler kanal (yarım daire kanalı) bulunur. Bunlar anterior, posterior ve lateral kanal olarak isimlendirilmiştir. Anterior semisirküler kanal için “superior”, posterior semisirküler kanal için “inferior”, lateral semisirküler kanal için ise “horizontal” terimleri eş anlamlı olarak kullanılabilir. Semisirküler kanalların üçü de birbirlerine yaklaşık olarak dik açılarla yerleşmişlerdir. Oturur ya da ayakta iken ve kafa tam karşıya doğru bakar pozisyonda iken, lateral semisirküler kanallar yatay düzlemle yukarıya doğru 25-30 derece açı yapacak şekilde durur. Bir başka ifadeyle, lateral semisirküler kanal, baş öne doğru 25-30 derece kadar eğildiğinde yatay düzlemle paralel hale gelir (Şekil 2.3). Anterior semisirküler kanallar dikey düzlemde öne ve dışa doğru 45 derece açı yapacak şekilde, karşı taraftaki posterior kanala paralel konumda; posterior semisirküler kanallar ise geriye ve dışa doğru 45 derece açı yapacak şekilde, karşı taraftaki anterior kanala paralel konumda yerleşmişlerdir (Şekil 2.3). Anterior ve posterior semisirküler kanalların arka bacakları birbiriyle birleşerek; lateral semisirküler kanalın arka bacağı ise bağımsız şekilde vestibüle açılır (Şekil 2.2, 2.4). Her semisirküler kanalın ön ucunda ise ampulla adı verilen şişkinlikler bulunur; ampullaların bulunduğu bu ön bacaklar da vestibüle açılırlar (Şekil 2.2, 2.4) (2, 7, 9, 12, 13).



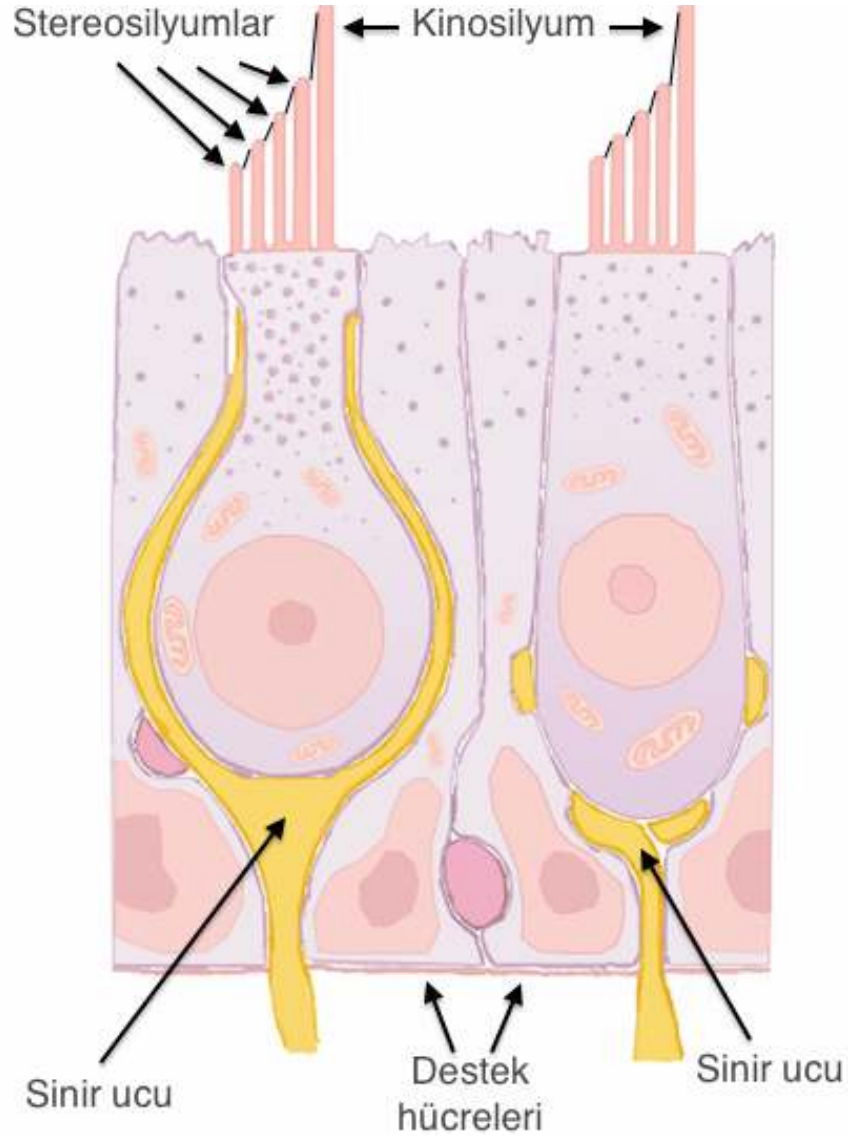
Şekil 2.4. Membranöz labirentin yapısı ile kristaların ve makülaların yerleşimleri.
[Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

Kemik labirentin içinde, duvarları zarımsı yapıda olan membranöz labirent bulunur (Şekil 2.2, 2.4). Vestibüler uç organlar esas olarak membranöz labirent tarafından oluşturulurlar. Membranöz labirentin vestibülün içindeki kısmında, birbirine bağlı iki kese şeklinde utrikül ve sakkül yerleşir. Utrikül, sakkülden daha büyüktür ve vestibülün üst-arka kısmında yerleşir (13). Membranöz labirentin kemik semisirküler kanalların içindeki kısımları da “semisirküler duktus (*ductus*)” olarak isimlendirilir. Bunların şekilleri ve isimleri, içinde bulundukları kemik semisirküler kanallarla aynıdır (anterior, posterior ve lateral semisirküler duktuslar) (Şekil 2.2., 2.4.)(2, 6, 7, 9, 12, 13).

Membranöz labirentin içi “endolenf”, membranöz labirent ile kemik labirent arası ise “perilenf” adı verilen, elektrolit içerikleri birbirinden farklı sıvılar ile doludur. Perilenf, sodyumdan zengindir, elektrolit bileşimi hücre dışı (ekstrasellüler) sıvıya ve serebrospinal sıvıya benzer ($[K^+]=10$ mEq/l; $[Na^+]=140$ mEq/l); venüller ve orta kulak mukozasını drene eder. Endolenfin bileşimi ise hücre içi (intraseellüler) sıvıya benzer ($[K^+]=144$ mEq/l; $[Na^+]=5$ mEq/l); kokleadaki stria vascularis tabakasında yer alan hücreler tarafından perilenften sentezlenir. Her iki sıvı kompartmanındaki 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 (1, 2, 6, 7, 9, 12, 13).

Vestibüler reseptör hücreler (Tüylü hücreler): Vestibüler duyunun algılandığı temel birimler olan vestibüler reseptör hücreler, kokleadaki reseptör hücreler gibi tüylü hücrelerdir. Tüyler, reseptör hücrenin üst kısmından yukarı doğru çıkan ve yapılarında aktin filamanları bulunan uzantılardır. Her bir tüylü hücrede, hücrenin apikal ucundan kaynaklanan 20-200 arası stereosilyum (*stereocilium*) adı verilen küçük tüycük ve 1 adet kinosilyum (*kinocilium*) adı verilen büyük tüy bulunur (Şekil 2.5) (2, 6, 7, 12, 13). Bu tüyler tüm hücrelerde özel bir dizilimle yerleşirler. Kinosilyum her zaman en kenarda yer alır. Kinosilyumun olduğu kenardan diğer kenara doğru gidildikçe stereosilyumlar da uzundan kısaya doğru

dizilir. Bir başka ifadeyle stereosilyumlar, en uzun olanı kinosilyuma en yakın olacak şekilde dizilmişlerdir. 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 bağlar (Şekil 2.5). Stereosilyumlar, tepelerindeki bu küçük bağlantılar sayesinde hep birlikte eşgüdüm içinde hareket ederler (2, 14).



Şekil 2.5. Vestibüler reseptör hücrelerinin (tüylü hücreler) yapısı. Sol tarafta Tip I, sağ tarafta ise Tip II tüylü hücre resmedilmiştir. Tüylü hücrelerin apikal uçlarından yukarı doğru uzanan stereosilyumların dizilim özellikleri ve kinosilyumla ilişkileri görülebilir. [Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

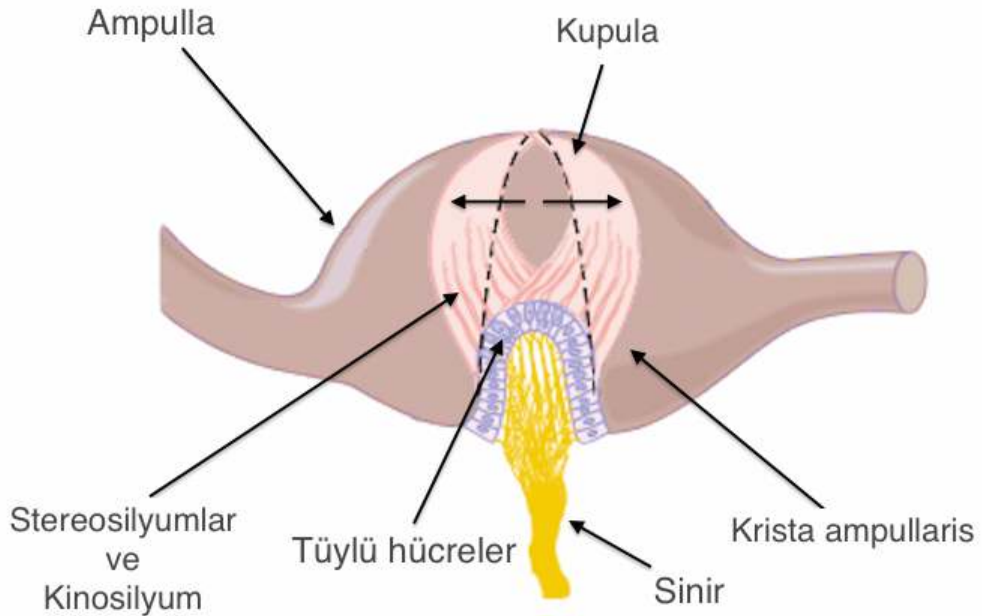
Stereosilyumların tek bir hareket yönü vardır, sadece kinosilyuma doğru veya kinosilyumdan uzağa doğru eğilebilirler. Stereosilyumlar, kinosilyuma doğru eğildiğinde ipliksi bağlantılar stereosilyumları hücre gövdesinden dışa doğru çeker. Bu hareket, stereosilyumların tabanına doğru hücre zarında bulunan yüzlerce iyon kanalının açılmasına neden olur. 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 (7). Bir başka ifadeyle, stereosilyumların kinosilyuma doğru eğilmesi uyarılmayı sağlayan (eksitator) bir sinir uyarım potansiyeli oluştururken; stereosilyumların kinosilyumdan karşı tarafa doğru eğilmesi uyarılmayı önleyici (inhibitör) potansiyel oluşturur. Oluşan bu potansiyel, stereosilyumların hareket yönü ile olduğu kadar, eğilme derecesi ile de orantılıdır. Uyarımın olduğu düzlemde stereosilyumların 3 derece kadar küçük yer değiştirme hareketi, maksimum uyarıya neden olur. Vestibüler reseptör hücrelerinin membran istirahat potansiyeli -40 ile -60 mV arasında değişir. Hücre, eksitator uyarıyla 5-20 mV civarı depolarize; inhibitör uyarıyla ise -64 mV'a kadar hiperpolarize olur (6). Tüylü hücrelerin kenarlarında ve taban kısımlarında, vestibüler siniri meydana getiren sinir liflerinin duyuşal uçları bulunur. Tüylü hücrelerdeki uyarımlar bu sinir uçları ile merkezi sinir sistemine iletilir (1-7, 13).

Vestibüler reseptör hücreler, istirahat koşullarında bile sürekli olarak saniyede yaklaşık 100 kadar uyarı üretir. Stereosilyumlar kinosilyuma doğru eğildiğinde uyarı hızı saniyede birkaç yüz olacak şekilde artar. Tersine, stereosilyumlar kinosilyumdan uzaklaşırsa (ters taraf doğru eğilirlerse) uyarı hızı azalır, hatta hiç uyarı çıkmaz. Kafanın boşluktaki konumu her değiştiğinde ve dolayısıyla stereosilyumlar her eğildiğinde uyarı hızında değişiklik olur, bu değişiklikler beyne iletilir ve konum değişikliği hissedilir (1-7, 13).

Vestibüler labirentte birbirinden farklı iki tipte tüylü hücre tanımlanmıştır. Tüm vestibüler uç-organlarda, her iki tipteki hücrelerden de bulunur. Tip I tüylü hücreler kadeh şeklindeki, Tip II tüylü hücreler daha düz ve silindirik yapıdadır (Şekil 2.5). Tip I tüylü hücrelerde geniş bir çanak şeklinde afferent sinir ucu

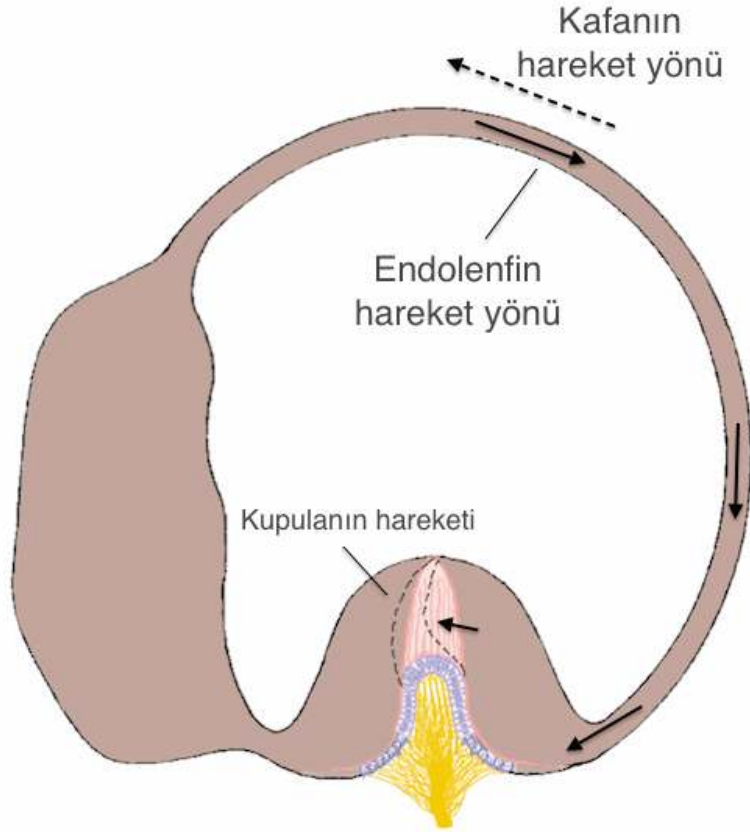
bağlantısı bulunur. Tip II tüylü hücrelerin sinir bağlantıları ise daha basit ve düğme şeklindedir. Tip I tüylü hücreler morfolojik olarak daha büyük ve düzensiz ateşlenme özelliği bulunan sinir uçlarına sahipken; Tip II hücrelerde düzenli ateşlenme özelliğine sahip daha küçük sinir uçları bulunur. Vestibüler reseptör hücrelerin çalışma prensipleri tüm vestibüler uç-organlarda aynıdır. Ancak, bu hücrelerin yerleşim özellikleri, semisirküler duktuslar ile utrikül ve sakkülde farklılık gösterir. Semisirküler kanallarda bulunan özelleşmiş vestibüler duyu epiteline “krista (*crista*) ampullaris”; sakkül ve utrikülde bulunan özelleşmiş vestibüler duyu epiteline ise “maküla (*macula*)” adı verilir (1-7, 12, 13).

Krista (*crista*) ampullaris: Her semisirküler duktusun ucundaki ampullanın içinde, vestibüler duyu hücreleri (tüylü hücreler) ile destek hücrelerinin yerleştiği “krista ampullaris” adı verilen kabarık, tepeye benzeyen bir bölge bulunur (Şekil 2.4, 2.6). Kristaların kabarık tepe bölgelerinde daha çok Tip I vestibüler duyu hücreleri bulunurken; kenarlarına doğru daha çok Tip II vestibüler duyu hücreleri görülür (2, 6).



Şekil 2.6. Krista ampullarisin yapısı ile kupulanın endolenf etkisi ile temsili hareketi. Kesikli çizgi ile kupulanın istirahat pozisyonu gösterilmiştir. [Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

Krista ampullarisin üst kısmı, kubbe şeklinde jelatinöz bir madde olan “kupula (*cupula*)” ile kaplıdır. Krista ampullaristeki vestibüler duyu hücrelerinin tüyleri, üstlerini örten kupulanın içine doğru uzanır (Şekil 2.7). Kupula, tavanda ve tabanda ampullanın duvarlarına bağlıdır. Endolenfatik sıvının semisirküler duktuslar ve ampulla içinde hareket etmesi kupulayı da oynatır (Şekil 2.7). Kupulanın bu hareketi de, içinde gömülü halde bulunan vestibüler reseptör hücrelerin 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 (6, 7). 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 (1-7, 12, 13).



Şekil 2.7. Kafanın hareket yönü ile, semisirküler duktus içindeki endolenfin bunun tersi yönde ampullaya doğru olan hareketi (ampullopetal akım) ve kupulanın yer değiştirmesi. [Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

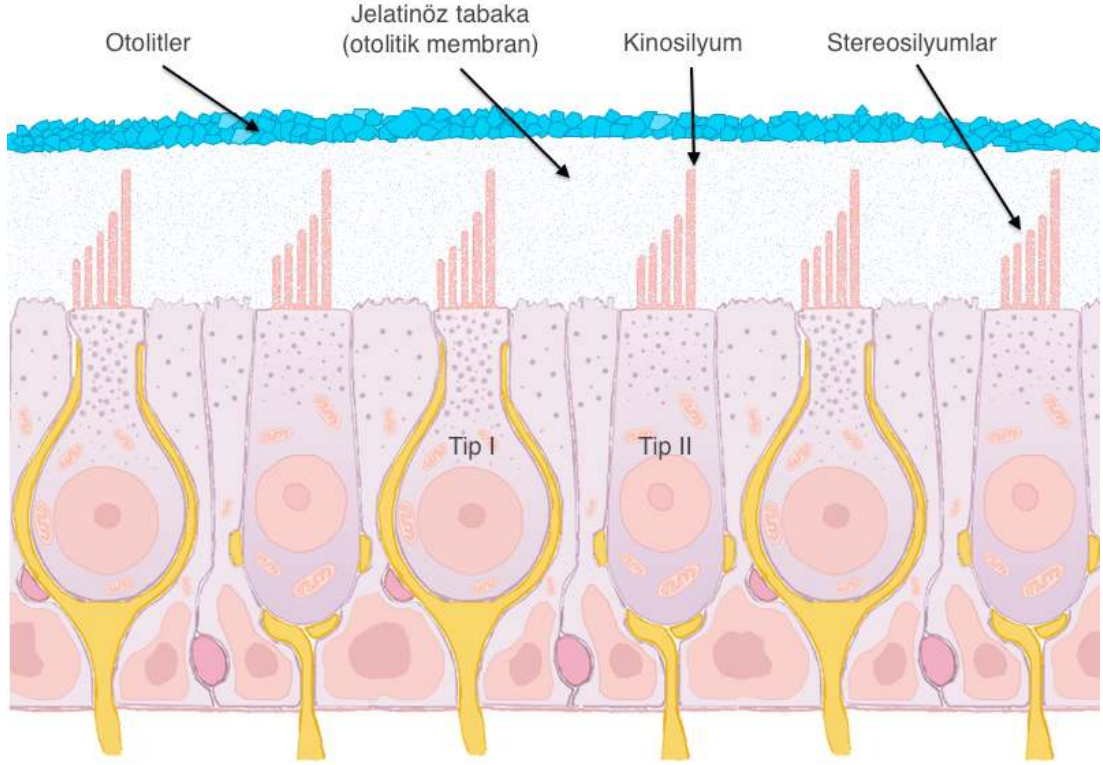
Kafa bir yöne doğru çevrildiğinde (açısal hareket), semisirküler duktusların içindeki endolenf eylemsizlik nedeniyle hareketsiz kalma eğiliminde olur. Semisirküler duktuslar kafayla birlikte hareket ettiği, içindeki sıvı ise hareketsiz kaldığı için kafanın çevrildiği yönün tersine doğru göreceli bir sıvı hareketi gerçekleşir (Şekil 2.7). Örneğin, kafa sağa doğru çevrildiğinde, sağ lateral semisirküler duktusun içindeki endolenf sola (ampullaya) doğru hareket ediyormuş gibi olur. İstirahat durumunda iken (hareket yokken), tüylü hücrelerin saniyede yaklaşık 100 civarı uyarı ürettiğini belirtmiştik. Kafa sağa doğru çevrilmeye başladığında sağ lateral semisirküler kanalda ampullaya doğru olan endolenf akımı, kupulayı ve dolayısıyla tüylü hücreleri, kinosilyumun olduğu tarafa doğru iter ve uyarı sıklığı artar. Kafanın dönme hareketi devam ederse, tüylü 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. Dönme hareketi aniden durursa, bu sefer olaylar tam ters şekilde gelişir. Semisirküler kanallar durmasına rağmen endolenfatik sıvı hareket etmeye devam eder. Kupula bu sefer tam ters yönde eğilir ve tüylü hücrelerden çıkan uyarıların tamamen kesilmesine neden olur. Birkaç saniye sonra endolenfatik sıvı da durur ve kupula yavaş yavaş istirahat konumuna döner; tüylü hücrelerden çıkan uyarılar da artarak tekrar istirahat halindeki uyarı şiddetine ulaşır. Kısaca, semisirküler kanallar kafa çevrilmeye başladığında bir yöne doğru hareket uyarısı iletirken, kafa durduğunda bir süre daha aksi yöne hareket devam ediyormuş gibi uyarı iletirler (2, 6, 7, 13).

Semisirküler duktusların kristalları hareketin gerçekleştiği kanal düzlemindeki açısal harekete duyarlıdır. Her bir kulaktaki semisirküler kanallar karşı kulaktaki eşleri ile simetrik çalışırlar. Sağ lateral semisirküler kanal ile sol lateral semisirküler kanal, sağ posterior semisirküler kanal ile sol anterior semisirküler kanal, sağ anterior semisirküler kanal ile sol posterior semisirküler kanal birbirinin karşıt eşi gibidir. Bir taraftaki semisirküler kanaldaki uyarım artışı varsa, karşı kulaktaki eşinde uyarımda azalma mevcuttur. Benzer şekilde, bir taraftaki semisirküler kanalda uyarımda azalma varsa, karşı kulaktaki eşinde uyarım artışı görülür (1-7).

Tüylü hücrelerin kinosilyumları kupulanın içinde hep aynı yöne doğru bakacak şekilde yerleşmiştir. Lateral semisirküler duktusların kristalarındaki tüylü hücrelerin kinosilyumları, utriküle yakın konumda yer alır. Bu nedenle örneğin kafa sağa doğru çevrildiğinde sağ lateral semisirküler duktus kristasında uyarım artışı (eksitasyon), bunun karşılığı olan sol lateral semisirküler duktus kristasında ise uyarımda azalma (inhibisyon) görülür. Bir başka ifadeyle, lateral kanallarda semisirküler duktusun içinde ampullopetal (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 (ampullopetal) olan akım sonucu uyarımda azalma (inhibisyon) görülür (1-7, 13).

Semisirküler kanallardaki tüylü hücreler bu şekilde üç boyutlu boşluktaki tüm yönlerde (x, y, z eksenleri gibi düşünülebilir) açısal hareket değişikliklerini; bir başka ifadeyle kafanın her türlü dönme, eğilme, çevrilme hareketini ve hareket hızını algılayarak vestibüler sinir yoluyla merkezi sinir sistemine iletirler. Utrikül ve sakküldeki tüylü hücrelerin yerleşimleri ve işleyişi ise daha farklıdır (1-7).

Maküla: Her utrikül ve sakkülün iç yüzünde, duvarın kalınlaşmış küçük bir bölümünde yerleşen, çapı yaklaşık 2 mm kadar olan ve maküla (*macula*) olarak isimlendirilen küçük bir duyu alanı bulunur. Maküla, binlerce tüylü hücreden, bunların üzerini örten jelatinöz bir tabakadan ve bu tabakanın üzerinde gömülü halde bulunan çok sayıda küçük kalsiyum karbonat kristallerinden oluşur. Tüylü hücrelerin stereosilyumları ve kinosilyumları bu jelatinöz tabakanın içine doğru uzanır (Şekil 2.8) (1-7, 12, 13).



Şekil 2.8. Otolitik organlarda yer alan makülanın temsili yapısı. [Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

Kalsiyum karbonat kristallerine statoconia, otoconia veya otolit adı verilir. Makülalarının yapısında otolitler bulunduğu için sakküle ve utriküle “otolitik organlar” da denilir. Memelilerde her makülada yaklaşık 200,000 adet otolit bulunur; otolitlerin boyutları 0.5-30 μm arasında değişir. Jelatinöz tabaka içindeki otolitlerin özgül ağırlığı, etraflarındaki endolenfin 2-3 katı kadardır. Bu nedenle otolitler normalde endolenf içinde yüzmeyiz, maküladaki jelatinöz tabakaya gömülü halde bulunurlar (Şekil 2.8). Otolitlerin ağırlığı, jelatinöz tabaka içine doğru uzanan sillerin yerçekimine doğru eğilmesine neden olur (2, 6, 7, 12, 13).

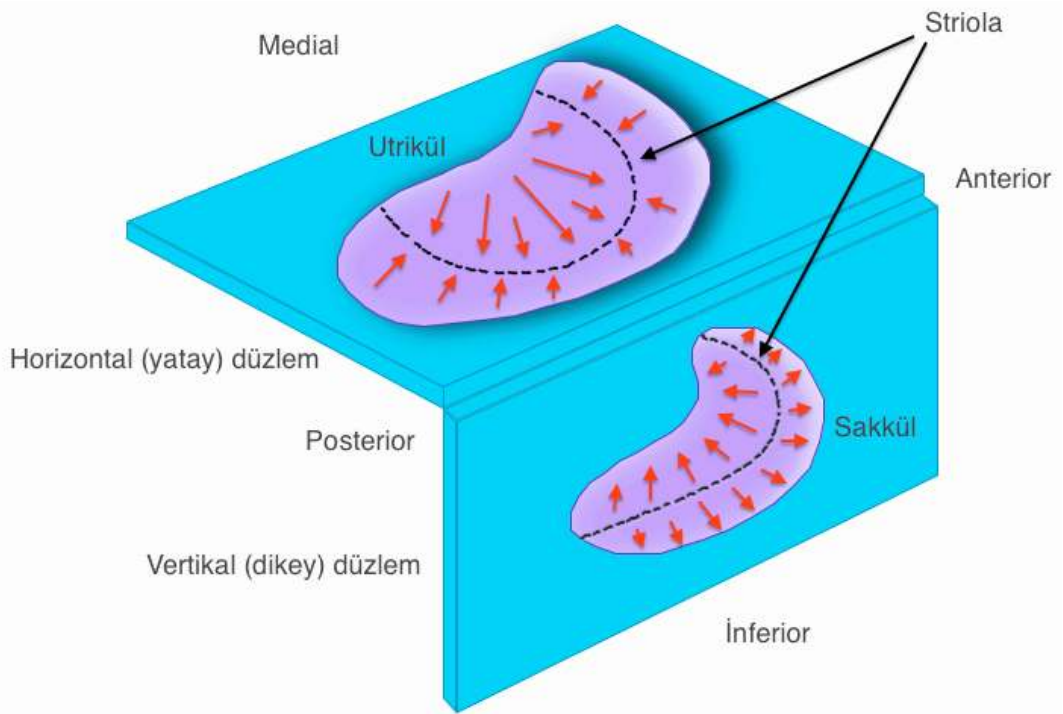
Jelatinöz tabakaya statoconial membran veya otolitik membran adı da verilir. Otolitik membran, yapısal olarak glikoprotein ve glikozamin moleküllerinden oluşur. Üst kısımda gömülü halde bulunan otolitler, otolitik membranın ağırlığını, ve bu sayede eylemsizlik özelliğini (bir harekete karşı mevcut konumunu koruma) artırır. Otolitik membranın otolitleri destekleyen dış kısmı daha yoğun, stereosilyum ve kinosilyumları örten iç kısmı ise daha elastik ve esnek özellik taşır. Tabakanın bu

yapısı, üst kısımdaki otolitlerin ağırlığı ve eylemsizliği nedeniyle oluşan kuvvetin, alt kısımdaki stereosilyumlara eşit ve hassas bir biçimde aktarılabilmesini sağlar (7, 13).

Her makülada, tüylü hücrelerin her biri tüyleri değişik yönlerde doğru bakacak şekilde dizilmiştir. Makülanın içinde, bir yöne doğru bakacak şekilde dizilmiş tüylü hücreleri, farklı yönde yerleşen hücrelerden ayıran, merkezde bulunan eğri bir hat bulunur. Bu hatta striola denir. Sakküler makülada, tüylü hücreler kinosilyumları strioladan uzağa doğru bakacak şekilde konumlanırken; utriküler makülada tüylü hücreler kinosilyumları striolaya yakın olacak şekilde yerleşmişlerdir (Şekil 2.9). 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 hassastır (2, 6, 7).

Hem utrikül makülasında hem de sakkül makülasında tüylü hücrelerin yerleşim yönlerinin hep farklı olması son derece önemlidir. Baş öne doğru hareket ettiğinde bazı tüylü hücreler, baş arkaya doğru hareket ettiğinde başka tüylü hücreler, baş sağa veya sola doğru hareket ettiğinde farklı tüylü hücre grupları daha fazla uyarılır. Bu nedenle, yer çekiminin olduğu her ortamda kafanın her konumu için maküler sinir liflerinde farklı çeşitte uyarılar ortaya çıkar. Bununla birlikte, utrikül ve sakkülün yerleşimleri nedeniyle bazı hareketler utrikül, bazı hareketler ise sakkül tarafından daha kolay tanınır. Utrikülün makülası, utrikülün inferior yüzünde ve esas olarak yatay düzlemde yerleşir; sakkülün makülası ise dikey düzlemde bulunur (Şekil 2.9). Kişi dik dururken, utrikül makülasındaki reseptör hücrelerin tüyleri yatay düzleme dik, sakkül makülasındaki reseptör hücrelerin tüyleri ise yatay düzleme paralel uzanırlar. Kafa herhangi bir yöne doğru çevrilmeden, ileriye doğru bir hareket başladığında otolitik membran eylemsizlik nedeniyle geride kalır; dolayısıyla utriküldeki reseptör hücrelerin tüyleri arkaya doğru eğilir. Bu durumu, bir arabanın içinde giderken araba aniden hızlandığında, başımızın ve gövdemizin bir anlık arkaya doğru yatmasına benzetebiliriz. Geriye doğru hareket başladığında ise bunun tersi olur ve otolitik membranın eylemsizliği nedeniyle utrikül makülasındaki reseptör hücrelerin tüyleri öne doğru eğilir. Bunu ise, yine bir arabanın içinde giderken ani fren yapıldığında başımızın ve vücudumuzun öne doğru eğilmesine benzetebiliriz. Yüksek bir yerden aşağı atlandığında, otolitik membranın

eylemsizliği, sakküldeki reseptör hücrelerin tüylerinin yukarı doğru eğilmesine neden olur. Asansörün içinde yukarı doğru çıkarken ise, sakküldeki reseptör hücrelerin tüyleri aşağı (yerçekimine) doğru eğilirler. 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 (arabada giderken olduğu gibi), sağa-sola (tekerlekli bir 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 edebilir (2, 6, 7, 12, 13).



Şekil 2.9. Utrikül ve sakkülün yerleşim düzlemleri. Kesikli çizgiler, striolayı temsil etmektedir. Oklar, sakküldeki tüylü hücrelerin kinosilyumları strioladan uzağa doğru bakacak şekilde, utriküldeki tüylü hücrelerin ise kinosilyumları striolaya doğru bakacak şekilde yerleştiiğini göstermektedir. [Resim, (2) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

Vestibüler labirentin kan akımı: Vestibüler uç organlar, a. labirinthi (a. auditiva interna veya *internal auditory artery* olarak da isimlendirilir) tarafından beslenir (Şekil 2.10). Bu damar, genellikle a. cerebelli inferior anterior'un (*anterior inferior cerebellar artery*) bir dalıdır; ancak a. basilaris (*basilar artery*) ve nadiren de a. cerebelli superior'dan (*superior cerebellar artery*) köken alabilir. İç kulağa girerken a. labirynthi, a. vestibularis anterior (*anterior vestibular artery*) ve a. cochlearis communis (*common cochlear artery*) dallarına ayrılır. A. cochlearis communis, a. vestibulocochlearis (*vestibulocochlear artery*) olarak devam eder; a. vestibulocochlearis ise a. vestibularis posterior (*posterior vestibular artery*) dalını verir. A. vestibularis anterior, anterior ve lateral semisirküler kanalları, 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 değişkenlikler gösterir (2, 6, 9, 12, 15).

Şekil 2.10. İç kulağın arteriel kanlanması. [Resim, (16) no.lu kaynaktan alınmıştır.]

Vestibüler sinirler: Tüylü hücrelerden çıkan uyarılar, bu hücrelerin etrafında bulunan sinir uçları tarafından alınır. Bu sinir uçları birleşerek sinir liflerini oluştururlar. Anterior ve lateral semisirküler kanal ampullaları ile utrikül makülasından kaynaklanan lifler, superior vestibüler siniri meydana getirirler. Posterior semisirküler kanal 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 (6, 13).

Superior ve inferior vestibüler sinirler, kokleadan gelen koklear sinir ile birlikte vestibülokoklear siniri meydana getirir. Vestibülokoklear sinir, “VIII. kranial sinir”, “işitme ve denge siniri” veya “statoakustik sinir” olarak da isimlendirilir. Vestibülokoklear sinir, fasiyal sinirle birlikte internal akustik kanal içinden geçerek vestibüler çekirdeklere ulaşır. Internal akustik kanal içinde, superior vestibüler sinir arka-üstte, inferior vestibüler sinir arka-altta, koklear sinir ön-altta, fasiyal sinir ise ön-üstte bulunur. Vestibüler sinir, vestibüler çekirdeklere girerken semisirküler kanallardan gelen sinir lifleri sinirin rostral yarısında, sakkülden ve utrikülden gelen sinir lifleri ise kaudal yarısında kalır (6, 13).

Vestibülokoklear sinir, sensöriyel (duyusal) afferent liflerden oluşur. Bununla birlikte bazı kaynaklarda vestibüler efferent liflerin de olduğu, beyin sapından çıkan bu efferent liflerin koklear efferentlerle birlikte (olivo-koklear demet) sekizinci kranial sinir içinde seyrettiği ve her iki labirentteki vestibüler yapılarla sinaps yaptığı belirtilmiştir. Ancak, efferent sistemin ne işe yaradığı henüz anlaşılamamıştır (6).

Vestibüler nöronlar bipolar nöronlardır. İlk sıra vestibüler nöronların distal uçları tüylü hücrelerin etrafında, gövdeleri ise vestibüler ganglionda (Scarpa ganglionu) bulunur. İlk sıra nöronların diğer uçları ise, ikinci sıra nöronların bulunduğu vestibüler çekirdekler ve serebelluma uzanır. Vestibüler sinir liflerinin çoğu beyin sapında vestibüler çekirdeklerde sonlanır. Bazı lifler ise, sinaps yapmadan direkt olarak beyin sapındaki retiküler çekirdeklere ve serebellumun fastigial, uvular ve flocculonodular lob çekirdeklerine giderler. Vestibüler çekirdeklerde sonlanan lifler, yine serebellum, vestibülospinal traktus, medial longitudinal fasikulus ve özellikle retiküler çekirdekler olmak üzere beynin diğer

bölgelerine giden ikinci sıra nöronlarla sinaps yaparlar. Bu bağlantılar sayesinde göz hareketleri ile boyun, gövde, bacaklar ve kollardaki kas tonusu düzenlenir, dengede kalınması ve bir hareket sırasında görme alanının bozulmaması sağlanır (6, 7, 13).

Vestibüler çekirdekler: Vestibüler çekirdekler beyin sapında, yaklaşık olarak medulla ile pons arasında yerleşirler. Her bir tarafta superior, inferior, medial ve lateral olmak üzere dört adet vestibüler çekirdek bulunur (6, 7, 13).

Superior vestibüler çekirdek 4. ventrikülün rostral tabanına yerleşir. Superior vestibüler çekirdek, semisirküler kanallardan kaynaklanan vestibülo-oküler refleks (VOR) için ana yönlendirme çekirdeğidir. Esas olarak semisirküler kanalların kristalarından gelen lifleri alır, efferentleri ise her iki tarafta medial longitudinal fasikulus ve oküler motor çekirdeklere gider. Serebelluma giden efferentleri de bulunur (6).

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 tractusa vestibüler sinyalleri yönlendirir. Örneğin, lateral kanal kristasının uyarılması ile ipsilateral kas tonusunda artma, kontralateral kas tonusunda ise azalma görülür. Bu, postür koruyucu, düzeltici refleksler için önemlidir. Özellikle de hızlı ve beklenmedik kafa hareketleri sırasında postürün korunması için önem taşır (6).

Inferior vestibüler çekirdek, lateral vestibüler çekirdeğin kaudalinde yer alır ve morfolojik olarak komşu medial vestibüler çekirdek ile karışır. Inferior vestibüler çekirdek geniş bir afferent sinir ağına sahiptir; aynı zamanda serebellum, spinal kord ve diğer vestibüler çekirdeklere efferentleri bulunur. Bu geniş afferent ve efferent ağıyla inferior vestibüler çekirdeğin diğer vestibüler yapılar arasındaki bütünleşmeyi sağladığı düşünülmektedir (6).

Lateral vestibüler çekirdek, veya Deiter's çekirdeği, ventral yüzünde utrikülden gelen, dorsal yüzünde ise serebellumdan gelen bilgileri alır. Serebellumdan gelen bilgiler, serebellar korteksten, ipsilateral anterior vermisten,

fastigial çekirdekten, flocculustan ve paraflokkulustan kaynaklanır. Lateral vestibüler çekirdekten çıkan ana efferentler, aşağı doğru uzanarak lateral vestibülospinal traktusu oluşturur (6).

Vestibüler çekirdeklere gelen afferentlerin çoğu, serebellumdan gelir. Bunu, vestibüler sinir ve spinal kordtan gelen primer vestibüler afferentler izler (6).

Vestibüler kortikal algı: Primatlardaki çalışmalar, serebral kortekste dengeyle ilgili bölgelerin, hem vestibüler labirent hem de görsel ve somatosensör sistemlerden bilgi aldığını göstermiştir. Primer kortikal denge merkezinin, parietal lobda sylvian fissürün derininde, superior temporal gyrusun işitme alanı fissürünün karşı tarafında bulunduğu bildirilmiştir (6, 7).

Serebellum: Serebellum çoğu hızlı vücut hareketi için olduğu gibi dengeyi sağlamada da bir öngörücü organ gibi çalışır. Serebellumun flocculonodüler lobları özellikle semisirküler kanallardan gelen dinamik denge uyarıları ile ilişkilidir. Bu lobların hasarı, semisirküler kanalların hasarı ile gelişen belirtilerin neredeyse aynısına yol açar. Bir başka deyişle, flocculonodular lobların ya da semisirküler kanalların zarar görmesi hareket yönünün hızlı değişikliklerinde dinamik dengenin bozulmasına, ancak statik durumlarda dengenin çok fazla etkilenmemesine neden olur. Serebellumun uvulasının ise statik dengede önemli rol oynadığı düşünülmektedir (6, 7).

Vestibülo-oküler refleks (VOR): Vestibülo-oküler refleks (VOR), net bir görüş sağlamak için kafanın dönme hareketlerine karşılık göz hareketleri oluşmasını sağlayan ve çok hızlı çalışan bir reflekstir. Bir nesnenin görülebilmesi için, gözlerin nesne üzerinde kısa bir süre de olsa odaklanması, nesnenin retinadaki görüntüsünün sabitlenmesi, bir başka ifadeyle bakışın sabitlenmesi gerekir. Kafa, öne, arkaya ya da yanlara doğru eğildiğinde veya sağa ya da sola çevrildiğinde gözlerin bakış yönünün düzeltilmesi ve görüntünün retinada sabit tutulması için otomatik bir düzenleme mekanizmasının devreye girmesi gerekir. Vestibülo-oküler refleks; baş hareketleri ile koordine düzgün konjuge göz hareketleri olmasını sağlar ve gözün bakışını sabit tutmada rol oynar. Aynı tarafı aktive ederken diğer planda relaksasyona yol açar.. Semisirküler kanallar kafa pozisyonu her değiştiğinde bu

değişikliği algılayarak; gözlerin kafa hareket yönünün tam tersi yöne doğru ve kafa hareketinin büyüklüğüne eşit şekilde kaymasını sağlayacak uyarılar iletirler. Her iki taraftaki semisirküler kanallar ve otolit organ dinamik VOR'da rol alırken, statik VOR'da otolit aktivite yer almaktadır. Her bir semisirküler kanal kendi planında olacak şekilde iki ekstraoküler kası innerve eder. Bu düzenleme, uyarıların vestibüler çekirdekler ve medial longitudinal fasikulus yoluyla, gözleri hareket ettiren kaslara iletilmesi sayesinde gerçekleşir. VOR, refleks yollarının köken aldığı vestibüler duyuşal yapılara göre kanal-oküler ve otolit-oküler refleksler gibi alt başlıklarda incelenebilir (6, 7, 10, 12).

Kanal-oküler refleks: Kanal-oküler refleks, semisirküler kanalın ampullasının uyarılması ile başlar. Bir kanalın uyarılması, o kanalın düzlemindeki kas kontraksiyonuna yol açar (Flourens kanunu). Bir başka ifadeyle, hangi kanal uyarılırsa gözler o kanal düzleminde hareket eder (6).

Horizontal VOR direkt eksitator projeksiyonu lateral semisirküler kanal, medial vestibüler nükleus, assenden vestibüler trakt, medial longitudinal fasikulus ve ipsilateral medial rektus kas yolunu izler. Direkt eksitator yollardan bir diğeri de kontralateral abduşens çekirdeğe ve oradan lateral oküler kasa gider. Bu basit refleks arkı 3-4 nörondan oluşur. Bir başka ifadeyle, lateral semisirküler kanalda uyarı artışı olduğunda, sinyaller ipsilateral medial vestibüler çekirdeğe, buradan da ipsilateral okülomotor çekirdeğe ve kontralateral abduşens çekirdeğe gider. Sonuçta, ipsilateral medial rektus ve kontralateral lateral rektus kasları kasılır ve gözler karşı tarafa doğru konjuge şekilde hareket eder (4-6, 10).

Anterior semisirküler kanalda uyarı artışı olduğunda, sinyaller ipsilateral superior vestibüler çekirdeğe, buradan da kontralateral okülomotor çekirdeğe gider. Sonuçta, ipsilateral superior rektus kası ile kontralateral inferior oblik kasları kasılır ve gözler yukarı ve karşı tarafa doğru torsiyonel şekilde döner (4-6, 10).

Posterior semisirküler kanalda uyarı artışı olduğunda, sinyaller ipsilateral medial vestibüler çekirdeğe, buradan da kontralateral trochlear çekirdeğe ve kontralateral okülomotor çekirdeğe gider. Sonuçta, ipsilateral superior oblik kası ile kontralateral inferior rektus kasları kasılır ve gözler aşağı ve karşı tarafa doğru

torsiyonel şekilde döner (4-6, 10).

Yavaş faz göz hareketi hızının, başlangıç değerinin %37'sine düşmesine kadar geçen süre zaman sabiti (time constant) olarak adlandırılır (17). Semisirküler kanallarda baş hareketlerine karşı oluşan cevap süresi iki farklı zaman sabiti ile ifade edilir. Baş hareketine karşılık olarak cupula'nın bükülmesi için geçen zaman T1, cupulanın istirahat halindeki pozisyonuna geri dönmesi için geçen zaman sabiti ise T2 olarak tanımlanmıştır (4). Cupula, baş hareketine çok kısa süre içinde bükülerek cevap verir; dolayısıyla, T1 çok kısadır. Karşı yöne doğru olan baş hareketlerinde de aynı süre cevabı görülür. Kalorik testte esas olarak T2 baskındır; ancak bunun tanısal amaçlı kullanılması önerilmez çünkü kalorik uyarım sırasında ısı iletiminin süresi hayli değişkendir ve hastadan hastaya değişir. Lateral semisirküler kanal için cupulanın T2 zaman sabiti, 5-10 saniye arasında değişir. Bir başka ifadeyle, açısız baş hareketine çok kısa sürede cevap veren cupulanın istirahat haline dönmesi 5-10 saniye sürer. Bununla birlikte, baş hızındaki ani değişimlere cevaben gelişen nistagmusun zaman sabiti ise çok daha uzundur. Normal bireylerde postrotatuvar nistagmus 18-30 saniye devam eder; bu ise cupulanın normal pozisyonuna dönme süresinin neredeyse üç katıdır. Süredeki farklılık, afferent sinir tarafından oluşturulan uyarımın, beyin sapı ve serebellar devreler tarafından tekrarlanmasına bağlanmış ve sisteme "hız depolama mekanizması" (*velocity storage mechanism*) adı verilmiştir. Vestibüler sistem, 0.003 ile 5 Hz arasındaki girdi frekanslarına cevap verebilir (çok yavaş bir postüral sallanma sırasında yaklaşık 0.01 Hz, yürürken ani baş çevirme hareketi sırasında ise yaklaşık 5 Hz frekansında girdi gerçekleşir). Cupulanın mekanik özelliklerinden dolayı sistem, 0.8 Hz'ten küçük ve 5 Hz'ten büyük girdi frekanslarına karşı duyarsızdır. Ancak, hız depolama mekanizması aracılığı ile vestibüler sistemin düşük frekans hassasiyeti artırılır. Hız depolama mekanizmasının merkezi sinir sistemindeki bağlantıları halen tam olarak anlaşılamamıştır, ancak optokinetik sistemle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Tek taraflı periferik vestibüler bozukluklar, lezyon tarafına doğru baş hareketi sonucu oluşan nistagmus zaman sabitinin azalmasına ve cupula zaman sabitine yaklaşmasına neden olurlar. Serebellar nodulusu tutan lezyonlarda ise postrotatuvar nistagmusun zaman sabiti, normal değerlerin de üstüne çıkar (4, 17).

Ewald kanunları: Semisirküler kanalların düzlemi, endolenf akımının yönü ve bu etkenlerin göz hareketlerinin yönü ile ilişkisini ortaya koyan üç adet önemli kural vardır. Bunlar, Ewald kanunları adıyla bilinirler. Ewald'ın birinci kanunu Fluoren'in kanununa benzer: Kanalın uyarılması sonucu ortaya çıkan göz hareketleri, o kanalın düzleminde ve endolenf akımı yönündedir. Ewald'ın ikinci kanunu, "Lateral semisirküler kanalda ampullopetal endolenf akımı, ampullofugal endolenf akımına oranla daha büyük cevap doğurur" şeklindedir. Ewald'ın üçüncü kanunu ise, "Anterior ve posterior kanallarda ampullofugal endolenf akımı, ampullopetal endolenf akımına göre daha büyük cevap doğurur" şeklindedir (6).

Otolit-oküler refleks: Otolit organ kaynaklı oküler reflekslerin olduğu bilinmektedir. Ancak otolit-oküler refleks yolu, kanal-oküler refleks yolu kadar net anlaşılamamıştır. Otolit organların, doğrusal hareketler ve yerçekimine tepki verdiğini belirtmiştik. Doğrusal kafa hareketlerinde, gözlerin bakılan nesneler üzerinde daha kolay sabitlenebileceği ve açısal hareketlere kıyasla bakış stabilizasyonunun daha kolay sağlanacağı; bu nedenle, otolit organ kaynaklı oküler refleks cevaplarının, semisirküler kanal kaynaklı oküler refleks cevaplarına göre daha az belirgin oldukları düşünülebilir. Ancak, otolit-oküler refleksler de bakış stabilizasyonunun sağlanmasında önemli rol oynarlar.

Sakküler ve utriküler uyarıların göreceli olarak küçük vertikal göz hareketi cevaplarına neden oldukları; otolit-oküler reflekslerin gözlerin aynı yatay düzlemde hizalanmasını sağladığı düşünülmektedir. Otolit ve vertikal kanal yolaklarında sorun olduğunda, patolojik "oküler tilt reaksiyonu" (*ocular tilt reaction, OTR*) olarak isimlendirilen bir bulgu görülür. Oküler tilt cevabı, bir gözün yukarı, diğerinin aşağı doğru kayması (vertical skew deviation); kafanın, altta kalan kulağa doğru eğilmesi ve altta kalan kulağa doğru olan dairesel torsiyonel göz hareketi şeklinde üç bileşenden oluşur (6).

Otolit organların uyarılması ile tetiklenen ve bazı kasların kasılması ya da gevşemesi ile sonuçlanan refleks cevapları ölçülerek klinik amaçlı kullanılabilir. Ses, titreşim, galvanik (elektriksel) akım gibi fizyolojik olmayan uyarılar kullanılarak ortaya çıkarılan bu cevapların boyun kaslarından ölçülmesi, "servikal vestibüler uyarılmış miyogenik potansiyeller" (*cervical vestibular evoked myogenic potentials*,

cVEMP)”; ekstraoküler kaslardan ölçülmesi ise “oküler vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyeller (*ocular vestibular myogenic potentials, oVEMP*)” isimli testlerin temelini oluşturur. *cVEMP* ve daha yakın zamanda tanımlanmış *oVEMP*, vestibüler sistem bütünlüğünün değerlendirilmesinde giderek yaygın şekilde kullanılan testlerdir.

Vestibülospinal refleksler: Vestibüler organlarda oluşan uyarılar, vestibülokolik, vestibülospinal ve retikülospinal traktuslar yoluyla aşağı spinal korda doğru gider. Bu refleksler, postür değişimleri sırasında dengenin devamını sağlarlar. Spinal korda giden bilgiler, yerçekimine karşı çalışan vücuttaki birçok kasın kasılma gevşeme düzenini sağlamada ve dengenin otomatik olarak korunmasında etkili olur (6, 7, 13).

Yerçekimine karşı koyan kaslara giden eksitator uyarılar, ipsilateral lateral vestibüler çekirdekten (Deiter’s çekirdeği) çıkan lateral vestibülospinal tractus ile taşınır. Ayrıca, her bir taraftaki medial vestibüler çekirdekten çıkan bir medial vestibülospinal yol da bulunur. Retiküler çekirdeklerden çıkan uyarılar ise retikülospinal tractus yoluyla spinal korda iletilir. Bu yollar, dengenin sağlanması için önemlidir. Örneğin, tek taraflı vestibüler kayıp olduğunda, ipsilateral olarak azalmış kas tonusu ve genellikle lezyon tarafına doğru düşme eğilimi görülür (6, 7, 13).

Vestibülokolik refleks yolu, sakkülden kaynaklanan geçici inhibitör sinyalleri ipsilateral boyun kaslarına taşır; vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyellerde bu refleks arkı ile çıkan cevap ölçülür.

Vestibülotalamik uzanımlar: Medial ve superior vestibüler çekirdeklerden çıkan vestibüler lifler santral lateral, ventral posterolateral ve ventrolateral talamik çekirdeklere medial longitudinal fasikulus, Deiters traktusu ve superior serebellar pedünkül yoluyla uzanır. İnferior vestibüler çekirdekten çıkan lifler medial longitudinal fasikulus, superior serebellar pedünkül ve lateral lemnisküs yoluyla rostral dorsal medial geniculate çekirdeğe uzanır (6).

Proprioseptif duyu (Derin duyu): Bir kas veya tendondaki gerilim değişikliklerini hissedebilen duyuşal sinir uçlarına proprioseptör (*proprioceptor*) 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 iletebilir (7, 13).

Boyundaki proprioseptörler, dengenin sağlanabilmesi için çok önemlidir. Boyun bükülerek baş herhangi bir yöne doğru eğildiğinde, boyundaki proprioseptörlerden gelen uyarılar vestibüler organların verdiği 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 hissedir. Eksteroseptif (*exteroceptive*) 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 (7).

2.2. Baş İtme Testi (Head Impulse/Head Thrust Test)

Halmagyi ve Curthoys tarafından 1988 yılında tariflenen baş itme testi, hızlı, pasif baş hareketleri kullanılarak VOR'un değerlendirildiği, kolay uygulanabilen bir testtir (18). Hasta, testi yapan kişinin önünde oturtularak başı 30° kadar önce doğru eğilir ve lateral semisirküler kanallar yer düzlemi ile paralel hale getirilir. Hastadan, testi yapanın burnu ya da alnı 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 dereceden daha az açılı olmalıdır. Testi yapan, 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 hastalar, baş hasarlı labirent yönünde itildiğinde gözlerini hedeften kaçırarak ve baş itildiği sırada veya hemen sonra gözlerde düzeltici bir sakkad gözlenecektir. Örneğin, sol taraflı vestibüler kaybı olan bir hasta başı sola itildiğinde görsel fiksasyonu sağlayamayacak ve hedefi gözleriyle tekrar yakalamak için sağa doğru düzeltici sakkad hareketi ortaya çıkacaktır. Bunun sebebi, ipsilateral kulakta VOR'un nöral katkısının zayıflamış olması ve kontralateral kulaktan kaynaklanan inhibitör sinyalin rotasyon sırasında bakış stabilitesini sağlamaya yetmemesidir. Böylelikle gözler ilk olarak başla birlikte hareket ederler ve hedefi tekrar yakalamaları için düzeltici bir hareket (sakkad) gerekir. Belirgin bir vestibüler kayıp yoksa, hareket yönündeki VOR normale veya normale yakınsa gözler hedefte kalacak ve düzeltici yakalama sakkadları gerekmeyecektir. Yatay düzlemde bu şekilde yapılan baş itme hareketleri ile lateral semisirküler kanallar değerlendirilebilir. Anterior ve posterior kanallar da, bulundukları düzleme uygun şekilde yapılan baş itme hareketleri ile test edilebilir (19).

Baş itme testi sırasında videonistagmografi kullanılarak daha doğru sonuçlar alınabilir (20, 21). 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 teste, görüntüler bir video kamera ile alındığı için video Head Impulse Test (vHIT) adı verilmiştir. Göz hareketlerini kayıt eden kamera sistemleri temel olarak iki farklı şekilde çalışabilmektedir. Bunların ilkinde harici bir kamera hastanın yüzüne dönük şekilde uzağa yerleştirilmekte ve göz hareketlerini kaydetmektedir. İkinci yöntemde ise, kamera hastanın başına takacağı bir gözlüğün üzerine yerleştirilmektedir. 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 daha önce gösterilmiştir (22). Bu çalışmada kullanılan vHIT cihazında da göz hareketleri, gözlük üzerine yerleştirilen bir kamera sistemi ile kayıt edilmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu ve Etik Kurulu tarafından onaylanmış (Proje No: KA14/335) ve Başkent Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir. 21 sağlıklı erişkin gönüllü çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmaya katılan bireylerden bilgilendirilmiş gönüllü olur formu alınmıştır. Çalışma, Başkent Üniversitesi Ankara Hastanesi Kulak Burun Boğaz Bölümü'nde yürütülmüştür.

Çalışmaya alınma kriterleri olarak, baş dönmesi yakınması veya öyküsü olmaması, son 2 hafta içinde herhangi bir ilaç kullanılmamış olması, bilinen sistemik hastalık olmaması, kafa travması veya geçirilmiş kulak cerrahisi öyküsü olmaması, servikal vertebra veya boyun ile ilgili rahatsızlık olmaması, görme veya gözlerle ilgili bir sorun olmaması, kulak muayenesinin ve spontan nistagmus kayıtlarının normal olması, pozisyonel vestibüler testler ve post-head shaking testinde patoloji bulunmaması belirlenmiştir. Bu kriterlerin herhangi birine uymayan gönüllüler çalışma dışı bırakılmıştır.

3.1. vHIT Test Tekniği ve Ölçümler

vHIT ölçümleri EyeSeeCam vHIT (Interacoustics, A/S DK-5610, Assens, Danimarka) cihazı ile yapılmış, ve OtoAccessTM bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan sistem, yapılan testler sırasındaki göz hareketlerinin ve ölçüm grafiklerinin eş zamanlı izlenmesine olanak tanıyacak şekilde ve göreceli olarak basit bir kullanıcı arayüzüne sahiptir. Çalışmada kullanılan vHIT gözlüğü, eğimli, bükülebilir bir çerçevesi olan, lastik bant ile başa oturtulan bir yapıya ve 40 gr ağırlığa sahiptir (23). Gözlük üzerinde ağırlığı 32 gr olan, sağ ve sol gözlük tarafı arasında değiştirilebilen monoküler kamera ve 6 serbestlik dereceli bir atalet ölçüm ünitesi (*inertial measurement unit, IMU*) bulunmaktadır. Pupil pozisyonları kamera görüntüsünün koordinat sisteminde belirlenmekte ve piksel

birimleri olarak tanımlanmaktadır. Gözlük, veri aktarımını sağlayan bir USB 2.0 kablo ile bilgisayara bağlanmaktadır (Şekil 3.1).

Gönüllü, düz renkli olan ve üzerine göz hizasında bir hedef yapıştırılmış duvara 1,5 metre mesafede oturtulmuştur (Şekil 3.2). İlk olarak, gönüllünün başına gözlük yerleştirilmiş; gözlüğün, baş hareketleri sırasındaki olası kaymaları önleyecek kadar sıkı şekilde takılmış olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.1). Daha sonra, gözlük üzerinde bulunan ve hareket edebilen kameranın konumu ayarlanarak göz, ekran üzerinde ortalanmış ve kalibrasyon aşamasına geçilmiştir.

Kalibrasyon başlarken, gözlük üzerine yerleştirilmiş olan lazer kaynağından gönüllünün baktığı duvarın üzerine yansıyan, 8.5° açılarla yerleşmiş 5 adet lazer ışığı noktası belirlemektedir. Gönüllüden, duvara yansıyan bu noktalardan ortadakini, duvarın üstünde olan hedefin üzerine getirmesi ve başını oynatmaması istenmiştir. Hangi noktaya bakılması gerektiği, bilgisayar ekranında uygulayıcı tarafından izlenerek sesli bir şekilde gönüllüye söylenmiştir. Bakış sırası değişebilmekte ve rastgele olabilmektedir. Cihazın verdiği komutlara göre 1'er saniye aralarla sağ-sol-orta-yukarı ve aşağıda bulunan lazer noktalarına bakılması istenmiş, yaklaşık 24 saniye içinde göz hareketlerinin kalibrasyonuna yönelik bu işlem tamamlanmıştır. Standart göz kalibrasyonu bittikten sonra ise, baş hareketlerinin kalibrasyonuna geçilmiştir. Bu amaçla aktif baş hareketleri kullanılmış, gönüllüden duvardaki hedefe bakarken başını “evet” der gibi yukarı aşağı ve “hayır” der gibi sağa sola beşer kez çevirmesi istenmiştir. Yaklaşık 15 saniye içinde baş hareketlerinin kalibrasyonu aşaması da tamamlanmıştır. Göz ve baş hareketlerinin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra baş itme testine geçilmiştir. Her gönüllüde, her vHIT testi öncesinde kalibrasyon işlemi tekrarlanmıştır.

Test edilen semisirküler kanala göre, test sırasında gönüllünün başı uygulayıcı tarafından tutularak yaklaşık 15 derece açı ile rastgele sağa, sola öne veya arkaya doğru hızlı bir şekilde itilmiş, bu sırada gönüllünün başını rahat bırakması, boynunu kasmaması ve bakmakta olduğu noktadan gözünü kaçırmamaya çalışması istenmiştir. Lateral semisirküler kanal ölçümleri sırasında gönüllünün başı 30 derece kadar öne eğilmiş, arkada ayakta bulunan uygulayıcı tarafından mandibula kavranarak sağa ve sola rastgele hızlı baş itme hareketleri uygulanmıştır (Şekil 3.3).

Vertikal kanallar (anterior ve posterior semisirküler kanallar), iki farklı yöntemle test edilebilmektedir. Bunlardan ilkinde, orta hattaki hedefin sağında ve solunda olacak şekilde iki ek hedef daha belirlenir ve hastanın (gönüllünün) başı 45 derece kadar sağa veya sola çevrilip bu hedeflere bakması istenerek vertikal kanalların bakış düzlemi ayarlanır. İkinci yöntemde ise, hasta (gönüllü) orta hattaki hedefe bakarken başı vertikal kanal düzlemlerinde itilir. Bu çalışmada, vertikal kanallar ikinci yöntem kullanılarak test edilmiştir. Aynı düzlemde yer aldıkları için sağ anterior (RA) ve sol posterior (LP) semisirküler kanallar (RALP) ile sol anterior (LA) ve sağ posterior (RP) semisirküler kanallar (LARP) birlikte test edilmektedir. Baş itme aksının test edilen kanalın bulunduğu düzleme göre daha iyi ayarlanabilmesi amacıyla, uygulayıcı gönüllünün arkasında ve sağ ya da sol tarafında durmuştur (Şekil 3.4.). Lateral kanallarda olduğu gibi vertikal kanallarda da her kanal için en az 7-10 baş itme hareketi yapılarak test sonlandırılmıştır.

Doğru yönde baş itme hareketinin yapıldığını teyit etmek amacıyla, kanalların yerleşim düzlemleri ile yapılan baş hareketinin bu düzlemin içinde yer alıp almadığı bilgisayar ekranından takip edilebilmektedir (Şekil 3.5). Test sırasında yapılan baş itme hareketinin kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığı cihaz tarafından tespit edilebilmekte ve ölçüm ekranında bir yeşil onay veya kırmızı çarpı işareti ile belirtilmektedir. Kabul edilebilir bir baş hareketi için, baş hızının tepe noktası baş hareketi başladıktan sonraki ilk 150 ms içinde ve 70 °/s'den fazla olmalıdır. Baş ivmesi 1000 °/s²'den büyük olmalıdır. Hareket başlangıcından 50 ms önceki baş hızı 20 °/s'yi aşmamalı; baş hızının hareket sırasındaki yönü değişmemelidir. Baş hareketi başlamadan önce, göz ve baş hızları arasındaki maksimum fark, 20 °/s'yi aşmamalıdır. En yüksek hızdaki baş rotasyon aksının yönü, istenen yönün $\pm 45^\circ$ içinde olmalıdır. *Inter-quartile* aralığın 1,5 katından daha hızlı baş hareketleri de hesaplama dışı bırakılmaktadır. Baş itme hareketinin, baş hızı 20 °/s'yi geçtiği zaman başladığı kabul edilmektedir. Bu gereksinimleri karşılayan baş hareketlerine cevaben gelişen göz hareketi kayıtları, bilgisayar ekranında görülebilmektedir. Baş hareketleri gri renkli, göz hareketleri ise siyah renkli eğrilerle gösterilmektedir. Kullanım kılavuzunda belirtildiği üzere, her yönde en az 7-10 adet kabul edilebilir baş hareketi yapıldıktan sonra test sonlandırılmıştır. Bilgisayar programı, bu eğrilerin içinden gürültülü veya artefaktlı olanlarını otomatik olarak eleyerek, son değerlendirmeye

almamakta ve rapora dahil etmemektedir. Bu düzeltme işlemi, istenildiği takdirde elle de yapılabilir. Bazı hastaların ölçüm sonuçlarında elle düzeltme işlemine ihtiyaç duyulmuş ve uygulanmıştır.

Baş itme hareketine cevaben oluşan VOR, vHIT gözlüğünün bağlı olduğu bilgisayar tarafından ölçülerek bir grafik halinde izlenebilmekte ve VOR'a ilişkin sayısal değerler bilgisayar tarafından saptanmaktadır (Şekil 3.6, 3.7). Her iki tarafta yer alan toplam 6 semisirküler kanalın hepsi test edildikten sonra sonuçların toplu halde izlenebildiği bir rapor çıktısı alınabilmektedir (Şekil 3.8). Bu raporda, her kanal için baş göz hareket eğrileri, baş itme hareketi süresindeki hız değişimini gösteren bir regresyon eğrisi, kazanç değerleri (lateral kanallar için 60 msn'deki kazanç ile vertikal kanallar için ortalama regresyon eğrisi kazancı), kanal kazançlarının karşılaştırılabileceği bir dairesel kazanç grafiği ve vertikal baş hareketlerinin yönlerini gösteren bir başka grafik bulunmaktadır. Tüm testler sırasında gerçekleşen göz hareketlerinin video kayıtları da alınabilmektedir.

Baş hareketleri arasında geçen sürenin test sonuçlarına etkisini değerlendirmek amacıyla, birbirini izleyen her baş hareketinin başlangıcı arasında yaklaşık olarak 2 saniye, 5 saniye ve 10 saniye beklenerek testler tekrarlanmış, böylelikle her bir gönüllüye toplamda 3 kez vHIT testi yapılmıştır. Her vHIT testinde aşağıda belirtilen değişkenler hesaplanarak not edilmiştir:

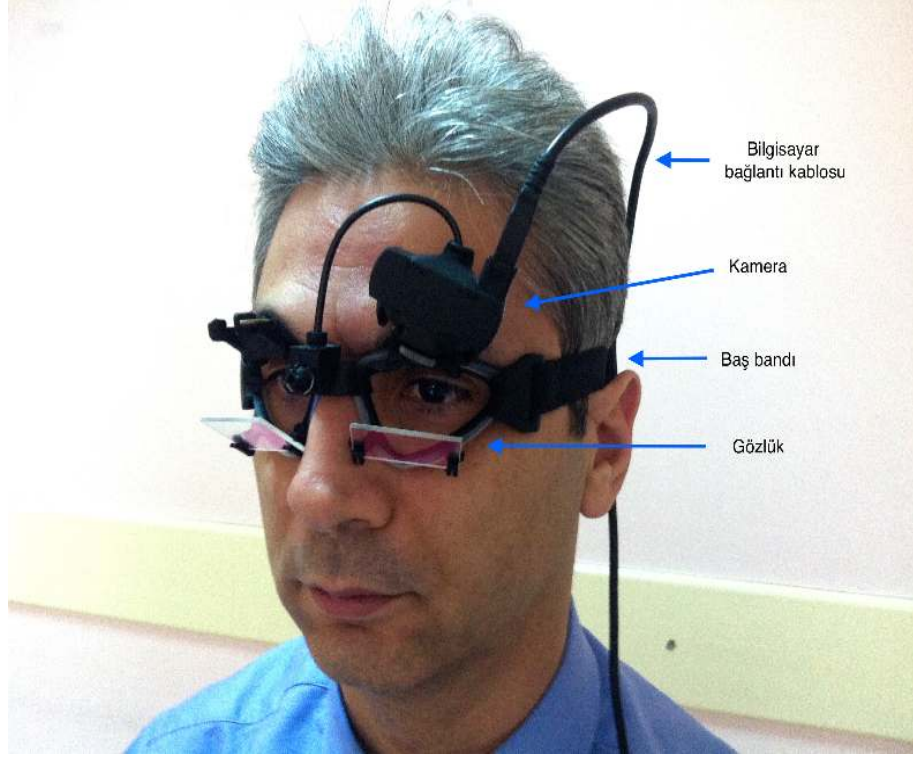
- Sağ lateral semisirküler kanal için 40 msn, 60 msn ve 80 msn'lerdeki anlık median kazanç değerleri ile ortalama regresyon eğrisi (kazanç) değeri
- Sol lateral semisirküler kanal için 40 msn, 60 msn ve 80 msn'lerdeki anlık median kazanç değerleri ile ortalama regresyon eğrisi (kazanç) değeri
- Lateral semisirküler kanallar için kazanç asimetrisi değeri
- Sağ anterior semisirküler kanal için ortalama regresyon eğrisi (kazanç) değeri

- Sol posterior semisirküler kanal için ortalama regresyon eğrisi (kazanç) değeri
- Sağ anterior ve sol posterior semisirküler kanallar için (RALP) kazanç asimetrisi değeri
- Sol anterior semisirküler kanal için ortalama regresyon eğrisi (kazanç) değeri
- Sağ posterior semisirküler kanal için ortalama regresyon eğrisi (kazanç) değeri
- Sol anterior ve sağ posterior kanallar için (LARP) kazanç asimetrisi değeri

Her vHIT testinden elde edilen sonuçların dökümü alınarak karşılaştırılmış ve 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan baş hareketlerinin VOR kazançları, dolayısıyla vHIT ölçümleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

3.2. İstatistiksel analiz

Verilerin değerlendirilmesinde SPSS 20 (IBM Corp. Released 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.) istatistik paket programı kullanılmıştır. Değişkenler ortalama±standart sapma ve medyan (maksimum-minimum) şeklinde ifade edilmiş; yüzde ve frekans değerleri kullanılmıştır. Değişkenler normallik, varyansların homojenliği ön şartlarının kontrolü yapıldıktan sonra (Shapiro Wilk ve Levene Testi) değerlendirilmiştir. Veri analizinde; parametrik test önşartları sağlanmadığı için Mann whitney-U testi, Friedman testi ve ardından çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Dunn testi kullanılmıştır. p değerinin 0,05'in altında olması anlamlı kabul edilmiştir.



Şekil 3.1. Uygun yerleştirme pozisyonunda bir vHITgözlüğünün görüntüsü.



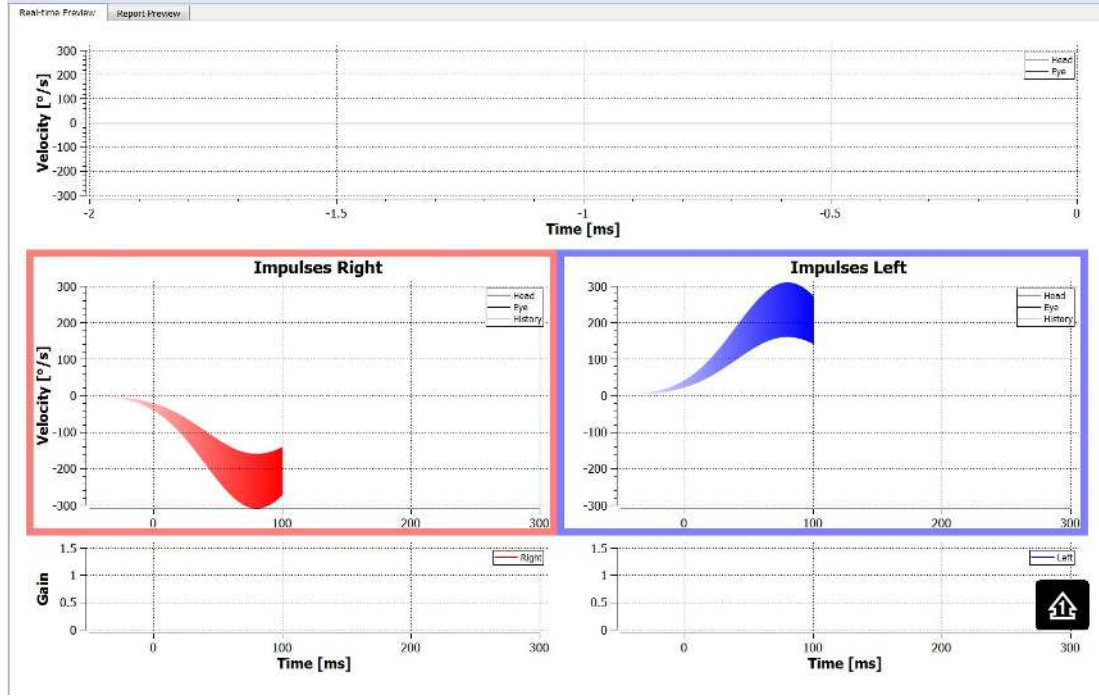
Şekil 3.2. Gözlük yerleştirilen gönüllü (hasta) ve duvarda önceden belirlenmiş mavi nokta şeklindeki bakış hedefinin görüntüsü.



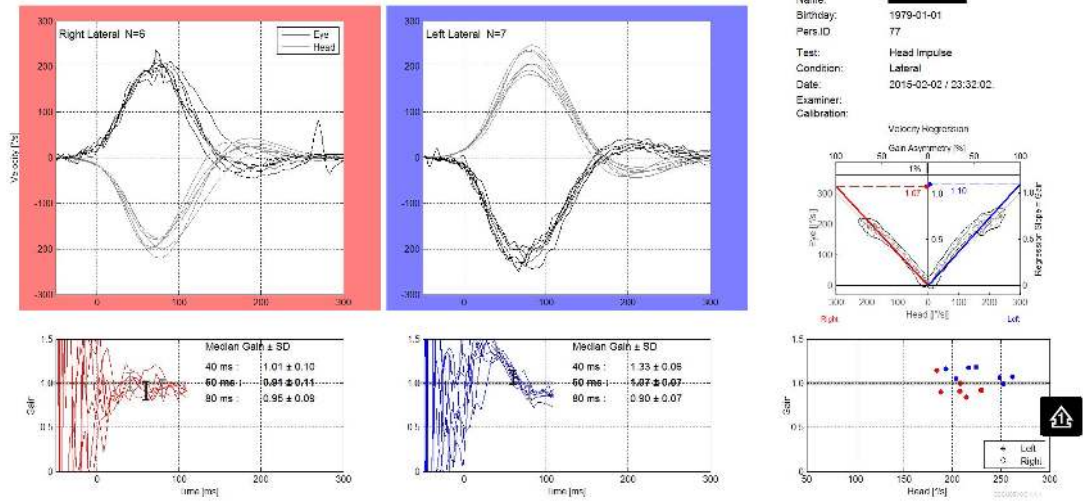
Şekil 3.3. Lateral semisirküler kanalların ölçümleri sırasındaki uygulayıcı ve gönüllü (hasta) pozisyonu.



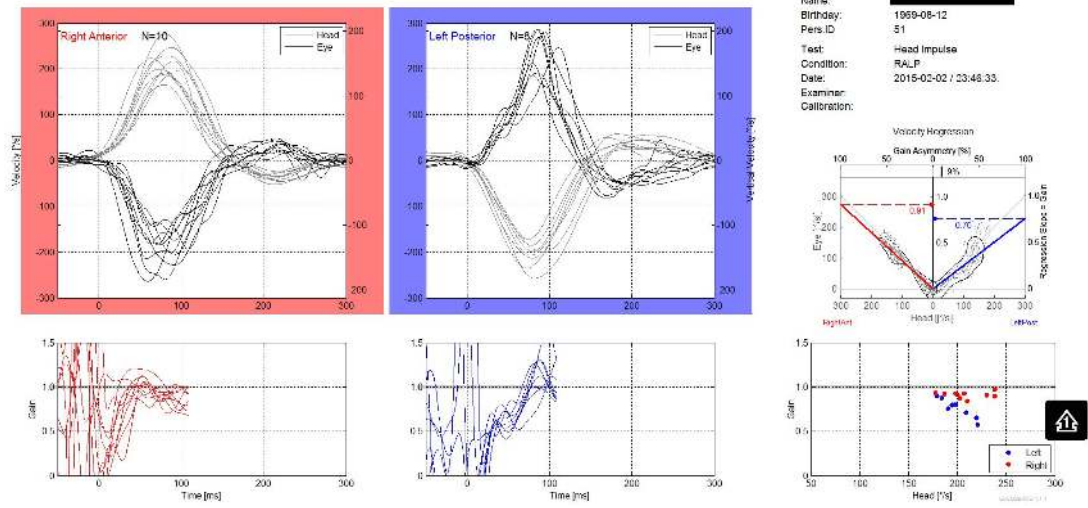
Şekil 3.4. Sağ anterior ve sol posterior semisirküler kanalların (RALP) ölçümleri sırasındaki uygulayıcı ve gönüllü (hasta) pozisyonu.



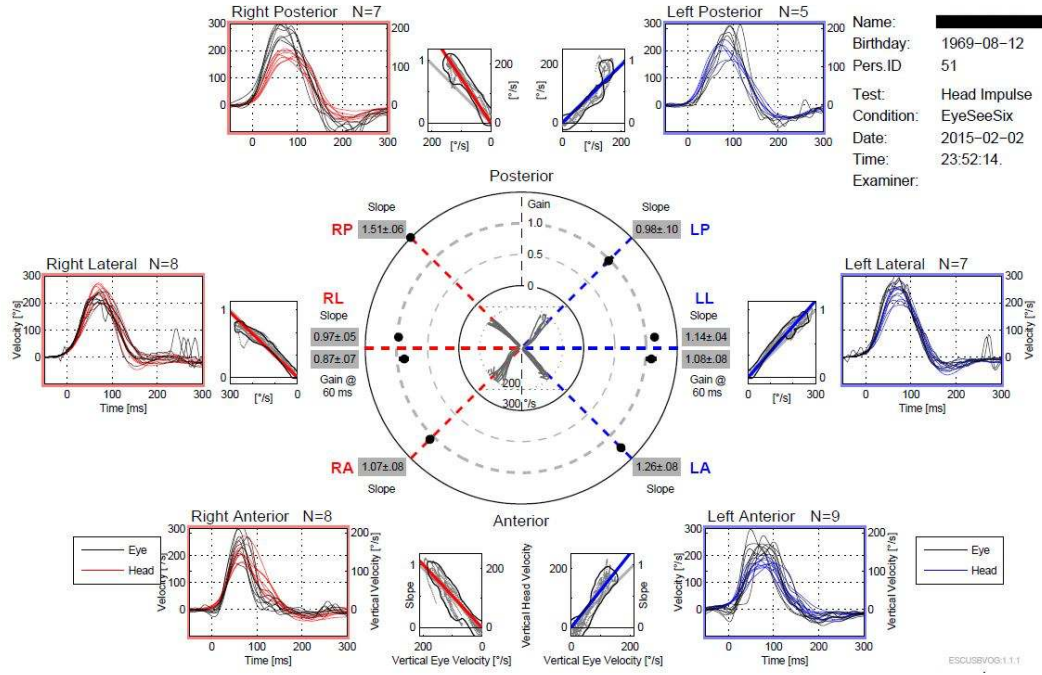
Şekil 3.5. Ölçümler sırasında kullanılan bilgisayar ekranının test başlamadan önceki görüntüsü. Orta kısımda yer alan grafikte, yapılan baş itme hareketlerinin uygunluğu ve buna cevaben gelişen göz hareketleri gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.



Şekil 3.6. Lateral semisirküler kanallar için yapılan ölçüm sonuçlarının yer aldığı ekran görüntüsü. Sol üstte, kırmızı renkli kare içinde sağ lateral semisirküler kanal, üst ortada yer alan mavi renkli kare içinde ise sol lateral semisirküler kanala ait baş ve göz hareketleri eğrileri görülmektedir. Baş hareketleri gri renkli eğrilerle, göz hareketleri ise siyah renkli eğrilerle gösterilmiştir. Sol alt köşede sağ lateral semisirküler kanal; bunun yanında, ortada ise sol lateral semisirküler kanal ölçümlerinde saptanan 40 msn, 60 msn ve 80 msn anlık median kazanç değerleri verilmiştir. Sağ alt köşede, ölçümlerde saptanan median kazançların işaretlendiği nokta dağılım grafiği; bunun üstünde ise ortalama kazançları gösteren regresyon eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.7. Sağ anterior ve sol posterior semisirküler kanallar (RALP) için yapılan ölçüm sonuçlarının yer aldığı ekran görüntüsü. Sol üstte, kırmızı renkli kare içinde sağ anterior semisirküler kanal, üst ortada yer alan mavi renkli kare içinde ise sol posterior semisirküler kanala ait baş ve göz hareketleri eğrileri görülmektedir. Baş hareketleri gri renkli eğrilerle, göz hareketleri ise siyah renkli eğrilerle gösterilmiştir. Sağ alt köşede, ölçümlerde saptanan median kazançların işaretlendiği nokta dağılım grafiği; bunun üstünde ise ortalama kazançları gösteren regresyon eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.8. Tüm semisirküler kanallara ait ölçüm sonuçlarının özetlendiği rapor görüntüsü.

4. BULGULAR

4.1. Gönüllülerin demografik özellikleri

Çalışmaya 21 sağlıklı birey alındı. Katılımcıların 10'u erkek, 11'i kadın idi. Yaş ortalaması $33,2 \pm 7,0$ (23-50) idi.

4.2. Lateral Semisirküler Kanal Kazançları

2, 5 ve 10 sn aralıklarla yapılan baş itme hareketleri için, lateral semisirküler kanallara ait 40, 60 ve 80 msn'lerdeki anlık VOR kazançları hesaplanmış ve ortalama kazançlarla karşılaştırılmıştır. Bilgisayar yazılımı sadece ortalama kazanç değeri verdiği için vertikal semisirküler kanallar ait bu karşılaştırmalar yapılamamıştır.

4.2.1. 2 saniye aralıklarla yapılan baş itme hareketlerinde lateral kanal kazançları

Yaklaşık 2 saniye aralıklarla tekrarlanan baş itme hareketlerine cevap olarak gelişen göz hareketlerinin 40 msn, 60 msn ve 80 msn'deki anlık kazançları ile ortalama kazanç değerleri, ölçüm yapılan kanal ile birlikte Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. 2 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde lateral kanal kazançlarının karşılaştırılması

Test parametresi	40 msn kazanç	60 msn kazanç	80 msn kazanç	Ortalama kazanç	p*
Sağ lateral kanal	1,180 (0,81 - 1,40)	0,940 (0,77 - 1,09)	0,900 (0,73 - 1,05)	1,040 (0,88 - 1,12)	<0.001
Sol lateral kanal	1,35 (0,96 - 1,51)	1,1 (0,85 - 1,24)	0,93 (0,67 - 1,15)	1,09 (0,82 - 1,18)	<0.001
p**	0.001	<0.001	0.305	0.476	

* Friedman testi

** Wilcoxon testi

Sağ lateral semisirküler kanal kazançları birbiriyle karşılaştırıldığında değerler arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$). Farkın hangi değerden kaynaklandığını belirlemek için yapılan post-hoc analizde ise 60 msn ile 80 msn anlık kazançları arasında anlamlı fark olmadığı ($p=1,000$), 40 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=0.219$), bunun dışındaki tüm ikili karşılaştırmalarda tüm kazanç değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Sol lateral semisirküler kanal kazançları birbiriyle karşılaştırıldığında değerler arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$). Farkın hangi değerden kaynaklandığını belirlemek için yapılan post-hoc analizde ise 60 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=1,000$); bunun dışındaki tüm ikili karşılaştırmalarda kazanç değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Sağ lateral semisirküler kanal ile sol lateral semisirküler kanal arasında, 40 msn ($p=0.001$) ve 60 msn'lerdeki (<0.001) anlık kazançların farklı olduğu; 80 msn'deki anlık kazanç ($p=0.305$) ile ortalama kazançların ($p=0.476$) ise istatistiksel açıdan anlamlı derecede farklı olmadığı saptanmıştır. Buna göre, ölçümler normal bireylerde yapıldığı ve lateral kanallar arasında anlamlı fark beklenmediği için 2 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde 80 msn veya ortalama kazanç değerlerinin kullanılmasının daha sağlıklı sonuç vereceği söylenebilir.

4.2.2. 5 saniye aralıklarla yapılan baş itme hareketlerinde lateral kanal kazançları

Yaklaşık 5 saniye aralıklarla tekrarlanan baş itme hareketlerine cevap olarak gelişen göz hareketlerinin 40 msn, 60 msn ve 80 msn'deki anlık kazançları ile ortalama kazanç değerleri, ölçüm yapılan kanal ile birlikte Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. 5 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde lateral kanal kazançlarının karşılaştırılması

Test parametresi	40 msn kazanç	60 msn kazanç	80 msn kazanç	Ortalama kazanç	p*
Sağ lateral kanal	1,150 (0,81 – 1,36)	0,92 (0,69 – 1,15)	0,860 (0,47 – 1,30)	1,01 (0,80 – 1,23)	<0.001
Sol lateral kanal	1,260 (0,90 – 1,55)	1,05 (0,82 – 1,20)	0,900 (0,60 – 1,14)	1,06 (0,91 – 1,17)	<0.001
p**	0.001	0.001	0.808	0.113	

* Friedman testi

** Wilcoxon testi

Sağ lateral semisirküler kanal kazançları birbiriyle karşılaştırıldığında değerler arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$). Farkın hangi değerden kaynaklandığını belirlemek için yapılan post-hoc analizde ise 60 msn ile 80 msn anlık kazançları arasında anlamlı fark olmadığı ($p=1,000$), 40 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=0.253$), bunun dışındaki ikili karşılaştırmalarda tüm kazanç değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Sol lateral semisirküler kanal kazançları birbiriyle karşılaştırıldığında değerler arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$). Farkın hangi değerden kaynaklandığını belirlemek için yapılan post-hoc analizde ise 60 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=1,000$); bunun dışındaki tüm ikili karşılaştırmalarda kazanç değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Sağ lateral semisirküler kanal ile sol lateral semisirküler kanal arasında, 40 msn ($p=0.001$) ve 60 msn'lerdeki ($p=0.001$) anlık kazançların farklı olduğu; 80 msn'deki anlık kazanç ($p=0.808$) ile ortalama kazançların ($p=0.113$) ise istatistiksel açıdan anlamlı derecede farklı olmadığı saptanmıştır. Ölçümler normal bireylerde yapıldığı ve lateral kanallar arasında anlamlı fark beklenmediği için 5 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde 80 msn veya ortalama kazanç değerlerinin kullanılmasının daha sağlıklı sonuç vereceği söylenebilir.

4.2.3. 10 saniye aralıklarla yapılan baş itme hareketlerinde lateral kanal kazançları

Yaklaşık 10 saniye aralıklarla tekrarlanan baş itme hareketlerine cevap olarak gelişen göz hareketlerinin 40 msn, 60 msn ve 80 msn'deki anlık kazançları ile ortalama kazanç değerleri, ölçüm yapılan kanal ile birlikte Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. 10 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde lateral kanal kazançlarının karşılaştırılması

Test parametresi	40 msn kazanç	60 msn kazanç	80 msn kazanç	Ortalama kazanç	p*
Sağ lateral kanal	1,110 (0,96 – 1,31)	0,960 (0,88 – 1,14)	0,920 (0,74 – 1,06)	1,01 (0,86 – 1,16)	<0.001
Sol lateral kanal	1,330 (0,90 – 1,58)	1,04 (0,77 – 1,28)	0,900 (0,50 – 1,14)	1,04 (0,90 – 1,15)	<0.001
p**	0.002	0.012	0.161	0.055	

* Friedman testi

** Wilcoxon testi

Sağ lateral semisirküler kanal kazançları birbiriyle karşılaştırıldığında değerler arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$). Farkın hangi değerden kaynaklandığını belirlemek için yapılan post-hoc analizde ise 60 msn ile 80 msn anlık kazançları arasında anlamlı fark olmadığı ($p=1,000$), 40 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=0.640$), 60 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=0.061$), bunun dışındaki ikili karşılaştırmalarda tüm kazanç değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Sol lateral semisirküler kanal kazançları birbiriyle karşılaştırıldığında değerler arasında anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$). Farkın hangi değerden kaynaklandığını belirlemek için yapılan post-hoc analizde ise 60 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=1,000$), 40 msn anlık kazancı ile ortalama kazanç arasında anlamlı fark olmadığı ($p=0.061$); bunun dışındaki tüm ikili

karşılaştırmalarda kazanç değerlerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Sağ lateral semisirküler kanal ile sol lateral semisirküler kanal arasında, 40 ms ($p=0.002$) ve 60 ms ($p=0.012$) anlık kazançların farklı olduğu; 80 ms'deki anlık kazanç ($p=0.161$) ile ortalama kazançların ($p=0.055$) ise istatistiksel açıdan anlamlı derecede farklı olmadığı saptanmıştır. Ölçümler normal bireylerde yapıldığı ve lateral kanallar arasında anlamlı fark beklenmediği için 10 saniye aralıklarla yapılan vHIT ölçümlerinde 80 ms veya ortalama kazanç değerlerinin kullanılmasının daha sağlıklı sonuç vereceği söylenebilir.

4.3. Farklı Zaman Aralıkları ile Tekrarlanan Baş İtme Hareketlerinin Sonuçlara Etkisi

2 saniye, 5 saniye ve 10 saniye aralıklarla yapılan baş itme hareketleri sonucunda elde edilen değerler ve karşılaştırma sonuçları Tablo 4.4.'te verilmiştir.

Tablo 4.4. 2, 5 ve 10 saniye aralıklarla tekrarlanan baş itme hareketlerinin vHIT sonuçlarına etkisi

	2 saniye	5 saniye	10 saniye	p
Sağ LSSK 40 ms kazanç	1,180 (0,81 - 1,40)	1.150 (0,81 – 1,36)	1,110 (0,96 – 1,31)	0,116
Sağ LSSK 60 ms kazanç	0,940 (0,77 – 1,09)	0,92 (0,69 – 1,15)	0,960 (0,88 – 1,14)	0,553
Sağ LSSK 80 ms kazanç	0,900 (0,73 – 1,05)	0,860 (0,47 – 1,30)	0,920 (0,74 – 1,06)	0,115
Sol LSSK 40 ms kazanç	1,35 (0,96 – 1,51)	1,260 (0,90 – 1,55)	1,330 (0,90 – 1,58)	0,557
Sol LSSK 60 ms kazanç	1,1 (0,85 – 1,24)	1,05 (0,82 – 1,20)	1,04 (0,77 – 1,28)	0,151
Sol LSSK 80 ms kazanç	0,93 (0,67 – 1,15)	0,900 (0,60 – 1,14)	0,900 (0,50 – 1,14)	0,149

Tablo 4.4 (Devam). 2, 5 ve 10 saniye aralıklarla tekrarlanan baş itme hareketlerinin vHIT sonuçlarına etkisi

	2 saniye	5 saniye	10 saniye	p
Sağ LSSK ortalama kazancı	1,040 (0,88 – 1,12)	1,01 (0,80 – 1,23)	1,01 (0,86 – 1,16)	0,317
Sol LSSK ortalama kazancı	1,09 (0,82 – 1,18)	1,06 (0,91 – 1,17)	1,04 (0,90 – 1,15)	0,059
LSSK kazanç asimetrisi	4 (0 – 10)	3 (0 – 10)	3 (0-8)	0,559
Sağ ASSK ortalama kazancı	0,99 (0,66 – 1,24)	1,07 (0,76 – 1,39)	1,13 (0,40 – 1,44)	0,001*
Sol PSSK ortalama kazancı	0,910 (0,68 – 1,37)	0,970 (0,61 – 1,22)	1,03 (0,77 – 1,30)	0,034**
Sağ ASSK – Sol PSSK kazanç asimetrisi	9 (0 – 17)	8 (1 – 29)	7 (0 – 17)	0,952
Sol ASSK ortalama kazancı	1,22 (0,66 – 1,59)	1,320 (0,70 – 1,98)	1,260 (0,59 – 1,84)	0,988
Sağ PSSK ortalama kazancı	1,24 (0,66 – 1,58)	1,23 (0,64 – 1,60)	1,26 (0,57 – 1,87)	0,269
Sol ASSK – Sağ PSSK kazanç asimetrisi	6 (0 – 23)	10 (0 – 34)	8 (0 – 21)	0,199

Kazanç değerleri, median (en düşük – en yüksek); kazanç asimetrisi değerleri yüzde (%) olarak ifade edilmiştir. (LSSK: Lateral semisirküler kanal; ASSK: Anterior semisirküler kanal; PSSK: Posterior semisirküler kanal)

Lateral semisirküler kanallar için baş itme hareketleri arasında geçen sürenin anlık (40 msn, 60 msn ve 80 msn) ve ortalama kazançlar ile kazanç asimetrisi değerleri üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı etkisi olmadığı görülmüştür ($p>0.05$) (Tablo 4.4).

2, 5 ve 10 sn aralıklarla yapılan baş itme hareketlerine cevaben ortaya çıkan sağ anterior semisirküler kanal ortalama kazançları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olduğu görülmüştür ($p=0.001$). Farklılığın nereden kaynaklandığına dair

yapılan post-hoc analizde, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan testlerde ortalama kazançların birbirinden farklı olmadığı ($p=0,569$), 2 sn ile 5 sn aralıklarla yapılan testlerde ($p=0.041$) ve 2 sn ile 10 sn aralıklarla yapılan testlerde ($p<0.001$) ortalama kazançların istatistiksel açıdan birbirinden farklı olduğu saptanmıştır.

2, 5 ve 10 sn aralıklarla yapılan baş itme hareketlerine cevaben ortaya çıkan sol posterior semisirküler kanal ortalama kazançları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olduğu görülmüştür ($p=0.034$). Ancak, farklılığın nereden kaynaklandığına dair yapılan post-hoc analizde, ikili gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı saptanmıştır (2 sn - 5 sn için $p=1.000$, 2 sn - 10 sn için $p=0.135$, ve 5 sn - 10 sn için $p=0.050$).

Değerlendirilen diğer vertikal semisirküler kanallardaki ortalama kazançlar ve kazanç asimetrisi değerleri açısından 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında anlamlı fark olmadığı görülmüştür (Tablo 4.4).

5. TARTIŞMA

Akut vertigo, bulantı/kusma ve denge bozukluğu ile başvuran hastaların çoğunda neden periferiktir (BPPV, vestibüler nörit, labirentit, endolenfatik hidrops gibi). Ancak, hayatı tehdit edici bazı beyin sapı veya serebellum kaynaklı inmeler, periferik vestibüler hastalıkları taklit edebilir. Vestibüler fonksiyonların değerlendirilmesinde kullanılan testlerden biri de baş itme testidir (Head Impulse Test, HIT). Horizontal (lateral) HIT, akut periferik vestibülopati ile merkezi sinir sistemi kaynaklı bozuklukların ayırıcı tanısının yapılmasında kullanılabilecek pratik bir yöntem olarak bilinmektedir. Pozitif bir HIT (anormal VOR cevabı), akut periferik vestibülopati lehine yorumlanır. Normal şartlarda, uzaktaki bir hedefe bakılırken baş pasif olarak aniden bir tarafa doğru itilirse, gözler hedefe bakmaya devam eder. Bu durum, gözlerin baş hareketine ters yönde ve neredeyse baş hareketi ile aynı hızda hareket etmesi sonucu gerçekleşir. Gözlerdeki bu telafi edici yavaş-faz hareketi, her iki taraftaki lateral (horizontal) semisirküler kanalların uyarılması ve disinaptik VOR sisteminin devreye girmesi ile sağlanır. Bu sistem, baş-itme testinin temelini oluşturur. VOR kazancı 1'den küçükse, hızlı baş çevirme hareketi, bakışın hedeften kaymasına neden olacak ve hedefi tekrar yakalamak için baş hareketine ters yönde düzeltici sakkad hareketi görülecektir.

Sakkadik hareketler, baş hareketi durduktan sonra ortaya çıkıyorsa deneyimli bir uygulayıcı tarafından çıplak gözle fark edilebilir. “Overt (açık, belli, aleni)” sakkad olarak isimlendirilen bu sakkadlar tek taraflı kanal parezisinin klinik bulgusu olarak kullanılabilir. Öte yandan, yakalama sakkadları baş halen hareket halinde iken ortaya çıkıyorsa, deneyimli bir uygulayıcı tarafından bile fark edilemeyebilir. “Covert (gizli, saklı, örtülü)” sakkad olarak isimlendirilen bu sakkadlar, yalancı negatif sonuçlara neden olur ve çıplak gözle yapılan HIT'in ilk zayıf yönünü oluştururlar. Covert sakkadlar, bunları takip eden overt sakkadların amplitüdünü düşürebilir. HIT'in ikinci olumsuz yönü, baş itme hareketlerinin, bir başka ifadeyle uyarıların ölçülebilir olmamasıdır. Baş itme hareketleri, küçük amplitüdlü (10-20 derece), ancak yüksek ivmeli ($3000-6000 \text{ derece/s}^2$) ve yüksek hızlı (150-300 derece/s) olmalıdır. HIT'in üçüncü olumsuz yönü ise göz hareketlerinin bir başka

ifadeyle cevapların kayıt edilememesi ve kantitatif olarak değ erlendirilememesidir. Klinikte  ıplak gözle yapılan HIT testlerinde kantitatif bir veri analizi yapılamamakta, sadece VOR bozukluğunun dolaylı bir belirtisi olan düzeltici sakkadlar saptanabilmekte, deneyimli ellerde dahi testin duyarlılığı düşük olmaktadır. Nitekim, yatakbaşında çıplak gözle yapılan HIT'in, ayırıcı tanıda mutlak başarılı olmadığı gösterilmiştir. Newman-Toker ve ark., inme geçirdiği gösterilmiş hastaların %9'unda HIT'in pozitif olduğunu belirtmiş; HIT'in çok yararlı bir yatakbaşı test olduğunu, ancak tek başına santral/periferik ayrımı yapmak için yeterli olmadığını vurgulamıştır (24).

Bilimsel açıdan geçerli ve kabul edilebilir sayısal ölçümler yapabilmek amacıyla, yatay ve dikey düzlemdeki göz hareketlerini ölçmek için elektrookülografi (EOG), scleral search coil, ve fotoelektrik teknikler gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Yüzey elektrotları kullanılarak yapılan EOG'nin olumsuz tarafı, 2 'den daha k  k hareketleri tespit edememesidir. EOG  l  mleri ayrıca diğer elektrofizyolojik artefaktlardan ve etraftaki elektromanyetik kaynaklardan olumsuz etkilenmektedir. Sinyal kaymaları, gözün kesin pozisyonunun belirlenmesini güçleştirmekte, vertikal göz konumları ise net  l  lemeyebilmektedir. Fotoelektrik teknikler EOG'a göre daha yüksek derecede hassas ölçümler yapabilmektedir (0.25 derece hassasiyete kadar). Ancak bu tekniklerde sıklıkla sadece yatay düzlemdeki göz hareketi bileşeni ölçülebilmektedir. Topikal anestezi altında scleraya yerleştirilen elektrotlar kullanılan ve halen altın standart olarak kabul edilen scleral search coil yöntemi ile bu göz hareketleri oldukça hassas şekilde kayıt edilebilmektedir. Ancak, daha çok akademik amaçlarla kullanılan bu yöntem, uygulama güçlüğü nedeniyle rutin klinik kullanım için uygun değildir. Görüntü yakalama ve işlemele teknolojisinin gelişmesi ile k  k boyutlu, yüksek çözünürlüklü görüntüler kaydedebilen; hızlı veri aktarımı yapabilen arabirimlerle bu görüntüleri bilgisayara aktarabilen kameralar ortaya çıkmış ve ok lometrik ölçümler için kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler göz hareketlerini serbest şekilde ve yüksek hassasiyetle (0.1-0.5 derece)  l ebilmekte, gözlerin kesin konumu hakkında bilgi verebilmekte ve kolay uygulanabilmektedir. Aynı sistemlerin, HIT sırasındaki göz hareketlerini belirlemek için kullanılması video baş itme testi (video Head Impulse Test, vHIT)

olarak tanımlanan yöntemin gelişmesini; kolay uygulanabilen, zaman ve maliyet açısından kazanç sağlayan, yüksek doğrulukta ölçümler yapılmasını sağlamıştır.

vHIT ölçümleri, göz hareketlerinin küçük, hafif, yüksek hızlı bir dijital kamera ile kayıt edilmesi temeline dayanmaktadır. Kamera, baş hareketleri sırasında kaymaması için tasarlanan ve göz çevresine sıkıca oturan bir gözlüğün üzerine yerleştirilmiştir. Tek gözün hareketlerini kaydedebilen ve normalde sol tarafta bulunan kamera, ihtiyaç halinde yerinden çıkarılarak gözlüğün sağ tarafına yerleştirilebilmekte ve böylece sağ gözün hareketlerini kaydedebilmektedir. Gözler infrared ışık ile aydınlatılmakta ve gözlerin görüntüsü, bir ayna ile kameraya yansıtılmaktadır. Baş hızı, gözlüğe yerleştirilmiş bir üç-boyutlu ivme ölçer ve ve iki adet iki-boyutlu *gyroscope*'tan oluşan atalet ölçüm ünitesi (*inertial measurement unit, IMU*) tarafından belirlenmektedir. Göz konumları, ağırlık merkezi algoritmasına dayanan bir pupil belirleme yazılımı tarafından bilgisayar programı ile belirlenmektedir.

Geçtiğimiz yıllarda geliştirilen ve kullanımı giderek yaygınlaşan vHIT, HIT ölçümlerinin sayısal sonuçlarla ifade edilebilmesini sağlamıştır (18, 25-28). Taşınabilir bir dizüstü bilgisayara bağlı sistemler sayesinde sadece donanımın bulunduğu klinikte değil, yatak başında ve acil servis gibi yerlerde değerlendirme yapılabilmesi mümkün hale gelmiştir. vHIT'in kullanımının yaygınlaşması ile HIT'in yalancı pozitif ve yalancı negatif sonuçlarının azalması ve ayırıcı tanıda daha güvenilir şekilde kullanılması beklenebilir. Nitekim, Perez ve ark., çeşitli vestibüler hastalıkları bulunan 179 hastada, yatak başında uygulanan ve çıplak gözle yapılan HIT ile vHIT'i karşılaştırmış, testlerin %32,1'inde her iki test arasında farklı bulgular saptandığını, yatak başı HIT duyarlılığının vHIT'e göre daha düşük olduğunu belirtmiştir (29).

VOR kazancı, göz hareketi hızının baş hareketi hızına oranı şeklinde ifade edilebilir. VOR bütünlüğünün ve simetrisinin değerlendirilmesinde anlık kazançlar ve ortalama kazançlar gibi farklı kazanç değerleri kullanılabilir. Anlık kazanç, hareket başladıktan sonraki belirli bir anda göz hareketi hızının baş hareketi hızına oranıdır. Bu çalışmada kullanılan cihazın yazılımı, baş hareketi başladıktan 40, 60 ve 80 msn (± 10 msn) sonraki anlık kazançların median değerini vermektedir. Bu

yöntem, geçerliliği retinal search coil kayıtları için gösterilmiş bir algoritmaya dayandırılmıştır. Ortalama VOR kazançları ise, baş hareketi hızına karşılık göz hareketi hızının belirtildiği grafiklerde eğri altında kalan alan hesaplanarak belirlenebilir. Çalışmada kullanılan bilgisayar programı ayrıca, göz hızı ile baş hızı arasındaki ilişkiyi regresyon eğrisi şeklinde hesaplayarak ortalama VOR kazancını belirleyebilmektedir. Bir başka ifadeyle, sistem hem 40, 60 ve 80 msn'lerdeki anlık kazançları hem de 100 msn'ye kadar olan ortalama kazanç değerlerini vermektedir. Regresyon eğrisi, 0 ms ile 100 ms arasında kalan zaman dilimi için hesaplanmaktadır. 100 ms'den sonra VOR yanında görsel sistem de smooth pursuit ve optokinetik göz hareketleri yoluyla devreye girmektedir. Bu nedenle, 100 ms'den sonraki göz hareketleri, VOR kazancı hesaplamalarına dahil edilmemekte ve regresyon analizinde yer almamaktadır. Göz hızının baş hızına eşit olduğu ideal şartlarda, regresyon eğrisinin eğim değeri 1,0'dir. Göz hızı ile baş hızı arasında uyumsuzluk varsa, bu değer değişecektir. Örneğin, göz hızı baş hareket hızından geri kalıyor ve gözler baş hareketini yeterince iyi takip edemiyorsa, VOR kazancı (regresyon eğrisi değeri) $<1,0$ olacaktır. Literatürde hangi kazanç değerinin VOR bütünlüğünü değerlendirmek için kullanılması gerektiği konusunda net bir bilgi yoktur. Bu çalışmada da, farklı zaman aralıkları ile tekrarlanan baş itme hareketlerinin kazançlara etkisini değerlendirmek amacıyla hem anlık hem de ortalama kazançlar karşılaştırılmıştır.

Lateral semisirküler kanallar için VOR kazancının sağlıklı bireylerde 0.7'nin üstünde olması beklenmekte, bu değer altındaki kazançlar anormal kabul edilmektedir (22, 30). 12 sağlıklı birey üzerinde yapılan çalışmada search coil yöntemi ile ortalama kazancın 0.81 ± 0.068 SD olduğu, vHIT ile de normal insanlarda horizontal VOR hız kazancının 0.68 ve üzerinde olması gerektiği bildirilmiştir (27, 31). vHIT'in geliştirilmesini sağlamış olan ekibin yaptığı bu çalışmalarda vHIT ölçümleri 90 cm uzaklıktaki hedeflere bakarken yapılmış, lateral kanal cevapları ölçülmüş ve vertikal kanallar değerlendirilmemiş, ortalama kazanç hesaplanırken en tepe baş ivmesinin olduğu 40 ms'nlik penceredeki hızlar değerlendirmeye alınmıştır. Mossman ve ark.'nın, bu çalışmada da kullanılan vHIT sistemi ile (EyeSeeCam), 60 normal bireyde yaptıkları çalışmada, lateral kanal kazançları ortalama 0.97 ± 0.09 (en yüksek-en düşük, 0.76-1.18) olarak bulunmuş; 1'in üzerindeki kazanç değerlerinin

fizyolojik olmadığı belirtilmiş, bu durum ise temel olarak gözlükteki kayma artefaktına ve teknik nedenlere bağlanmıştır (32). Hirvonen ve ark., elle yapılan baş itme testlerinde uygulayıcılar arası farklılıklar olduğunu, aynı uygulayıcıda dahi tekrarlanan hareketlerde baş hızlarının değişebileceğini belirtmiş, HIT testi sırasında baş hareketlerini ve uyarımları standardize etmek amacıyla motorlu bir baş itici tasarlamıştır (33). Bu baş iticiyi kullanarak 22 gönüllü ile yaptıkları çalışmada, iki farklı uzaklıktaki (140 cm ve 15 cm) hedeflere bakılırken hVOR cevaplarını elektrookülografi ile ölçmüş, yakındaki hedef için ortalama kazancı 1.26 ± 0.10 , uzaktaki hedef için ortalama kazancı ise 1.08 ± 0.10 olarak belirlemişlerdir (33). Aynı çalışmada, iki taraf arasındaki hVOR ortalama kazanç asimetrisi $\%3.7 \pm \%2.8$; ortalama hVOR latansı ise 3.4 ± 6.3 msn olarak belirlenmiştir. Aynı yazarlar, vestibüler schwannomu olan 38 hastada ise ortalama kazancı 0.83 ± 0.08 olarak ölçmüşlerdir (34).

Vertikal kanallar için normal kazanç değerleri ise net değildir, ancak 1'in altında olması beklenir. Çoğunlukla lateral (horizontal) semisirküler kanalların değerlendirilmesi için kullanılan vHIT, çok yakın zamanda vertikal semisirküler kanalların değerlendirilmesi için de kullanılmaya başlanmıştır (35, 36). MacDougall ve ark., vertikal semisirküler kanalların olduğu düzlemde (sağ anterior-sol posterior semisirküler kanal düzlemi [RALP] - ile sol anterior sağ posterior semisirküler kanal düzlemi [LARP]) yapılan baş itme hareketlerine cevaben gelişen VOR'un ölçülebileceğini göstermiş; search coil kayıtları ile vHIT kayıtlarının vertikal semisirküler kanallar için de benzer olduğunu bildirmişlerdir. Bu yazarların, değişik nedenlerle unilateral veya bilateral vestibüler kaybı bulunan 12 hastada ve 7 sağlıklı bireyde yaptıkları çalışmada, vHIT ile search coil kayıtlarının vertikal kanallar için 1'e yakın bir korelasyon katsayısı ile birbirine yakın sonuçlar verdikleri ve overt ve covert sakkadları benzer şekilde tespit ettikleri gösterilmiştir. Aynı çalışmada, vertikal kanallar için kazançların bazı durumlarda beklenenden yüksek çıkması, gözlükteki kayma artefaktına ve sakkadların etkisine bağlanmış; kazanç hesabı, tepe baş hareketi hızının 60 msn öncesinden başlayan ve baş hareketi durduğunda sonlanan bir pencere dahilinde, eğri altında kalan alan hesaplanarak yapılmıştır (36).

Bu çalışmada saptanan ortalama kazançlar, 1 değerine daha yakın olsa ve daha yüksek gibi görünse de literatürde bildirilenlerle uyumludur. Bazı ölçümlerde, VOR kazançlarının 1'in üstünde değerler aldığı gözlenmiştir. Aşırı VOR kazancı olarak yorumlanabilecek bu durum birkaç etken nedeniyle ortaya çıkabilir. Baş itme hareketi sırasında cildin kaymasına bağlı olarak gözlüğün oynaması bu durumun öncelikli sebebidir. Diğer sebepler, bakış hedefinin 70 cm'den daha yakın olması, kalibrasyon hatası, yaşlı hastalarda presbyopia için kullanılan gözlüklerin büyüteç etkisi olarak sayılabilir. Bu çalışmada gönüllüler önceden belirlenmiş bakış hedefine 150 cm uzaklıkta oturtulmuş, yapılan tüm vHIT testlerinden önce kalibrasyon tekrarlanmış ve testler sırasında herhangi başka bir gözlük kullanılmamıştır. Dolayısıyla, 1.00'ın üzerinde tespit edilen VOR kazançlarının gözlükteki kayma hareketi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmüştür. Özellikle saç uzun olan bayan hastalarda baş itme hareketi sırasında gözlüğün tam olarak sabit kalması zor olmaktadır. Gözlükteki oynama, özellikle vertikal kanal ölçümlerinin sağlıklı yapılmasını güçleştirmektedir. 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan baş itme hareketlerinin ölçümleri etkilememesi, yalnızca sağ anterior semisirküler kanal ile sol posterior semisirküler kanal ortalama kazançlarının farklı saptanması da, vertikal kanal ölçümlerinin test tekniğinden olumsuz etkilendiğini düşündürmektedir.

VOR kazançlarını ve ölçümlerin doğruluğunu etkileyen bir diğer husus da, baş itme hareketlerinin yönü ve arada geçen süredir. Hızlı aralıklarla ve belirli bir düzen içinde, örneğin bir sağa bir sola şeklinde yapılan hareketlerde, hasta bir sonraki hareketin ne tarafa doğru olacağını bilerek başını kendisi oynatabilir veya gözlerini baştan önce hareket ettirebilir. Bu durum, bir önceki baş itme hareketine karşılık gelişen göz hareketi ile bir sonraki baş itme hareketine karşılık gelişen göz hareketi arasında etkileşime neden olabilir ve hatalı sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, ardışık baş hareketleri arasında en az 1 saniye beklenmeli, bekleme süresi de her hareket arasında farklı ve öngörülemez olmalıdır. Örneğin, ilk iki baş itme hareketi arasında 2 saniye geçmiş ise, bir sonraki itme hareketi 3 saniye, bir sonraki itme hareketi 5 saniye, bir sonraki ise 2 saniye gibi rastgele sürelerde beklenerek yapılmalıdır. Baş itme hareketinin yönü de, süre için olduğu gibi, her harekette rastgele olmalıdır.

Sağ ve sol taraftaki semisirküler kanallara ait VOR simetrisinin değerlendirilebilmesi için kazanç asimetrisi değeri kullanılmaktadır. Kazanç asimetrisi, Jongkees formülüne göre hesaplanmakta [Kazanç asimetrisi = (Sol taraf kazancı – Sağ taraf kazancı) / (Sol taraf kazancı + Sağ taraf kazancı)] ve yüzde olarak ifade edilmektedir. Referans olarak alınan search coil sistemi ile yapılan kayıtlarda lateral kanallar için kazanç asimetrisinin normatif değer aralığı $\pm 5,6$ olarak belirlenmiştir. Video-okülografi (vHIT) ile search coil kayıtlarının benzer sonuçlar verdiği düşünüldüğünde kazanç asimetrisi değerinin de benzer olması beklenebilir. Bu çalışmada da, lateral semisirküler kanallar için kazanç asimetrisi değerleri 0-10 arasında değişmiş (ort. 3-4), 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümlerin kazanç asimetrisi üzerinde anlamlı farklılık yaratmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, vertikal kanallarda (RALP ve LARP) kazanç asimetrisi değerlerinin biraz daha yüksek olduğu ve 34'lere kadar ulaştığı gözlenmiştir. Normal bireylerde beklenmeyen bir durum olan bu bulgu, vertikal kanallar için yapılan kazanç ölçümlerinin, gözlükteki kayma artefaktlarından ve test tekniği hatalarından etkilenmesi sonucu ortaya çıkmış olabilir.

Yaşla birlikte ve nörodejeneratif sürecin etkisiyle VOR kazançlarının düşmesi beklenebilir. Mossman ve ark., lateral semisirküler kanal kazançlarının normal bireylerde yaşla birlikte bir miktar düştüğünü, ancak bu düşüklüğün belirgin olmadığını ve kazancın her şartta 0.76'nın üstünde olduğunu belirtmişlerdir (32). Agrawal ve ark. da, yaşları 70'in üzerinde olan (71-80 yaş) 6 gönüllüde bir gözden vHIT diğer gözden eş zamanlı search coil kayıtları almış; vHIT ölçümlerinin yaşlılarda da güvenilir sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (37). Bu çalışmaya alınan gönüllülerin yaş ortalaması 33.2 olduğu için, yaşın sonuçlara etkisi değerlendirilmemiştir.

Literatürde, vHIT'in klinik etkinliği, ölçüm tekniği ve hataların olası sebepleri üzerine yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bartl ve ark., scleral search coil yöntemi ile vHIT cevaplarını karşılaştırmış, vHIT'in hem yatak başı ölçümlerde hem de akademik çalışmalarda kullanılabileceğini belirtmiş; horizontal kanallarda yüksek kazanç görülmesini saç bandının gevşekliğine veya gözlüğün kaymasına

bağlamış ve bu sorunun geliştirilen bilgisayar modeli ile düzeltilebileceğini bildirmiştir (38).

Weber ve ark., tek taraflı vestibüler deafferantasyon uygulanmış 15 hasta ile vestibüler nöritli 13 hastada search coil yöntemi ile lateral kanallar için HIT yapmış; baş itme hareketinin ivmesi arttıkça ($750-6000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$) lezyon tarafındaki kazançların düştüğünü (0,59'dan 0,29'a), overt sakkadların daha iyi saptanabildiğini, covert sakkadların daha sık ortaya çıktığını ve neticede VOR'daki kayıpların daha iyi tespit edilebildiğini göstermişlerdir (27).

Leveque ve ark., tedaviye dirençli Meniere Hastalığı nedeniyle vestibüler nörektomi uygulanmış 24 hastada, cerrahiden ortalama 1 yıl sonra vestibüler fonksiyonları değerlendirmiş; bu hastaların 23'ünde cerrahi yapılan tarafta tüm kanallarda vHIT ile yanıt alınmazken 1 hastada posterior ve anterior semisirküler kanallarda normal VOR kazancı görüldüğünü bildirmiştir (39).

MacDougall ve ark., vHIT'in periferik vestibülopatideki tanısal değerini ölçtükleri çalışmada 8 sağlıklı gönüllü, 6 vestibüler nörit hastası, 1 tek taraflı intratimpanik gentamisin uygulanmış hasta ve 1 bilateral gentamisin vestibülotoksitesi olan hastayı değerlendirmişlerdir. Tüm deneklerin eş zamanlı search coil ve vHIT kayıtlarının alındığı bu çalışmada, 60 g ağırlığında gözlük kullanılmış, vHIT'in duyarlılığı ve özgüllüğünün search coil yöntemindekine benzer olduğu bildirilmiştir (22).

Ramaioli ve ark., parenteral remifentanil (opioid) verilerek vestibüler fonksiyonları geçici olarak bozulan sağlıklı bireylerde, ilaç öncesi lateral kanal ortalama kazançlarının 0.87 ± 0.08 , ilaç etkisi ile deneklerin çoğunda düştüğünü göstermişlerdir (30).

Kremmyda ve ark., serebellar ataksisi olan 16 hastada lateral kanal vHIT ve kalorik test cevaplarını ölçmüş, hastaların yarısında normal kalorik cevap ve hafif azalmış VOR kazancı (ortalama $\pm$ SD, 0.73 ± 0.15) olduğunu, azalmış kalorik cevap bulunan diğer yarısında ise VOR kazançlarının daha düşük olduğunu bildirmişlerdir (40).

Bartolomeo ve ark., 29 vestibüler nöritli hastada vHIT'in tanısal değerini kalorik testle karşılaştırmış; %40'ın altında kalorik zayıflığı olan hastalarda vHIT'in normal sonuç verdiğini ve özgüllüğünün %100 olduğunu, %62,5 üstünde kalorik zayıflığı olan hastalarda vHIT'in anormal olduğunu, %40-62,5 arasında kalorik zayıflık tespit edilen hastalarda ise vHIT özgüllüğünün %86-100, duyarlılığının ise %87-100 olduğunu bildirmişlerdir (41). Kalorik testle ortaya konmuş unilateral veya bilateral vestibüler hipofonksiyonu göstermede, baş itme testinin özgüllüğünün (specifity) iyi (>%82), duyarlılığının (sensitivity) ise değişken olduğu (%45-84) gösterilmiştir (42, 43). Kalorik test ile baş itme testi arasındaki bu fark, her iki testte kullanılan uyarıların farklı olmasına, özellikle de uyarı frekansının farklı olmasına bağlanabilir. Literatürde genel olarak, baş itme testinin duyarlılığının periferik vestibüler sistemdeki hasar derecesi arttıkça özellikle de kalorik zayıflığın %40'ın üzerinde olması durumunda arttığı belirtilmiştir. Mahringer ve ark., kalorik test, HIT ve vHIT'i karşılaştırmış ve kalorik testte %25'ten daha fazla unilateral zayıflık tespit edilen hastaların %41'inde patolojik vHIT cevabı olduğunu; akut vestibüler semptomları olan hastaların %63'ünde, semptomları 5 günden daha uzun süren ve akut olmayan hastaların ise %33'ünde patolojik vHIT cevapları saptamışlardır (44). Bu yazarlar, vHIT'in duyarlılığının hastalığın derecesine, kalorik testteki unilateral zayıflığın derecesine ve testin kendisine bağlı olduğunu belirtmişlerdir (44).

Blödow ve ark., vestibüler nörit, vestibüler schwannoma, Meniere Hastalığı ve bilateral vestibülopati tanıları almış 117 hasta ve 20 kişilik kontrol grubunda horizontal VOR'u (hVOR) değerlendirmiş; hastaların %79.1'inde anormal vHIT bulguları saptamış, normal grupta hVOR kazancı 0.96 ± 0.08 ; hasta grubunda hVOR kazancı ise 0.44 ± 0.20 olarak hesaplanmıştır (45). Aynı çalışmada, vestibüler nörit hastalarının %94.2'sinde, vestibüler schwannom hastalarının %61.3'ünde, Meniere hastalarının %54.5'inde ve bilateral vestibülopati hastalarının %91.7'sinde vHIT bulgularının anormal olduğu bildirilmiştir (45).

Walther ve ark., rekürren ataklar nedeniyle intratimpanik gentamisin yapılan bir Meniere hastasında hVOR kazancının 4 hafta içinde giderek düştüğünü, overt (açık) ve covert (gizli) düzeltici sakkadların ortaya çıktığını göstermiş; vHIT'in

intratimpanik gentamisin tedavisine cevabı göstermede objektif olarak kullanılabilecek araçlardan biri olduğunu belirtmiştir (46).

Walther ve Blödown, akut vestibüler nörit hastalarında havayolu ile ses uyarını vererek oküler ve servikal vestibüler uyarılmış myojenik potansiyelleri (oVEMP ve cVEMP) ölçmüş, sonuçları aynı hastalarda yapılan vHIT ölçümleri ile birleştirmiş ve vHIT'in vestibüler nöritin kaynaklandığı yer hakkında ek bilgi verdiğini belirtmiştir (47).

vHIT ölçümlerinin doğru yapılabilmesi için bazı hususlara dikkat edilmelidir. Baş hareketlerine cevaben gelişen göz hareketlerinin doğru ölçülebilmesi bir çok etkene bağlıdır. Öncelikle uygulayıcının, gözlüklerin iyi yerleştiğini kontrol etmesi; hastanın başını nasıl tutacağını ve yüksek ivmeli yüksek hızlı baş hareketlerini nasıl yapacağını bilmesi; baş hareketleri sırasında baş cildinde ve dolayısıyla gözlükte gelişebilecek oynamaları, kaymaları engellemesi gerekmektedir. Test, hastaya anlatılmalı, dikkat etmesi gereken hususlar belirtilmelidir. Baş itme hareketleri sırasında çene hareketini önlemek ve başa doğrudan kuvvet uygulayabilmek amacıyla çene kapalı ve dişler hafif sıkılı durumda tutulmalıdır. Boyun rahat bırakılmalı, boyun kasları kasılmamalı, başın kontrolü tamamen uygulayıcıya bırakılmalı, istemli olarak oynatılmamalıdır. Kalibrasyon öncesi, pupil görüntü alanının merkezinde konumlandırılmalı, gerekirse kamera açısı düzeltilmeli, LED ışık yansımalarının pupil sahası üzerine düşmemesine dikkat edilmeli, kalibrasyon tamamlandıktan sonra gözlük sıkısa dahi yerinden oynatılmamalıdır. Ölçümler sırasında gözler açık ve hedefte tutulmaya çalışılmalı, sık göz kırpma hareketinden kaçınılmalıdır. Gerek HIT, gerekse vHIT ölçümleri sırasındaki baş itme hareketleri, test edilmek istenen kanal düzleminde ve hasta tarafından beklenmedik şekilde yapılmalı, birkaç defa tekrar edilmelidir.

Uygulayıcının pozisyonu da ölçümlerin doğruluğu için önemlidir. Ölçülmek istenen kanal düzlemine göre uygulayıcının bulunması gereken pozisyon farklıdır. Lateral kanallar için, uygulayıcı hastanın arkasında bulunmalıdır. Eller gözlük bandının üzerinden hastanın başını kavrar pozisyonda tutulabilir. Ancak bu pozisyonun, itme hareketleri sırasında gözlüğün kaymasına ve sistematik ölçüm hatalarına yol açma ihtimali yüksektir. Düzgün baş itme hareketi yapabilmek için,

eller her iki tarafta angulus mandibula çevresine yaslanarak arkaya doğru baş kavranmalı, gözlük bandından uzak durulmalıdır. Vertikal kanallar için, pratikte farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bunların ilkinde, hastanın başı 45° sağa veya sola çevrilir ve hastanın orta hattaki hedefe bakması istenir. Uygulayıcı, hastanın başını öne arkaya iterek vertikal kanal cevaplarını ölçmeye çalışır. Bu yöntemin olumsuz tarafları, baş bir tarafa doğru 45° çevrili haldeyken hastanın orta hattaki hedefe bakışta zorlanması, daha kolay yorulabilmesi ve pupilin kamera alanının dışında kalması ile göz hareketlerinin tespit edilememesi olarak sayılabilir. Diğer bir yöntemde ise uygulayıcı, hastanın başı düz pozisyonda ve orta hattaki hedefe bakıyor iken, ölçülmek istenen kanal düzleminde başa itme hareketi uygular. Örneğin, sağ anterior/sol posterior semisirküler kanal ölçülüyorsa uygulayıcı hastanın arka sol yanında durur, bir el sağ frontal bölgede veya mandibulada, diğer el ise sol parietookspital bölgede olacak şekilde baş kavranır ve gözlük hareket ettirilmeden kanalların bulunduğu düzlemde itme hareketi uygulanır. Bu yöntemde hastanın başının bir tarafa çevrilmemesi avantajdır. Bu çalışmada da vertikal kanal ölçümleri ikinci yöntem kullanılarak yapılmıştır.

vHIT sırasında yapılan baş itme hareketlerinin arasında geçen sürenin düzensiz ve test edilen açılarından beklenmedik olması önemlidir. Buunla birlikte, tekrarlanan baş hareketleri arasında geçmesi gereken süre ile ilgili literatürde herhangi bir veriye rastlanmamıştır. Çalışmamızda kullanılan cihazın kullanım kılavuzunda da bu konuda bilgi verilmemiş; ancak sonradan güncellenen bir ek bilgi kılavuzunda, etkileşimleri önlemek için en az 2 saniye bırakılması gerektiği belirtilmiştir. Baş hareketleri arasında geçmesi gereken net süre ve bu sürenin ölçümlere etkisi üzerine başka bir bilgi bulunmamaktadır. Öngörülebilir baş itme hareketlerinin göz hareketlerinin hızını etkileyebileceği ve VOR kazançlarını fizyolojik olmayan değerlere yükseltebileceği (1.35'e kadar) daha önce bildirilmiştir (48). Bu çalışmada, baş hareketleri arasında geçen sürenin VOR üzerindeki etkisi değerlendirildiği için, her gönüllüde yaklaşık olarak 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralarla baş itme hareketleri tekrarlanmıştır. Baş itme yönü rastgele olmasına rağmen, bazı gönüllülerde ve bazı testlerde 1'in üzerinde kazanç değerleri saptanmasının bir nedeni de gönüllülerin, baş itme hareketini öngörmesi ve kendini buna göre hazırlaması olabilir. 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümlerde, lateral

semisirküler kanallardaki 40 msn, 60 msn, 80 msn anlık kazançları ile ortalama kazançların bazı durumlarda birbirinden anlamlı olarak farklı olmadıkları, ancak genel olarak istatistiksel açıdan birbirlerinden farklı oldukları görülmüştür. Bu durum, VOR cevaplarının dinamik ve sürekli değişken karakterde olduğunu, ölçülen farklı kazanç değerlerinin ise genel olarak bu değişkenliği yansıttığını düşündürmektedir. 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümlerde, 40 msn ve 60 msn anlık kazançlarının sağ ve sol lateral semisirküler kanallar arasında birbirinden farklı olduğu; 80 msn anlık kazancı ile ortalama kazançların ise sağ ve sol lateral semisirküler kanallar arasında istatistiksel açıdan birbirinden farklı olmadığı görülmüştür. Ölçümler sağlıklı bireylerde yapıldığı ve lateral semisirküler kanallar arasında anlamlı fark beklenmediği için, lateral semisirküler kanal vHIT ölçümlerinde 80 msn anlık kazancının veya ortalama kazancın VOR cevaplarını daha iyi yansıttığı söylenebilir.

Göz hareketlerinin doğru bir şekilde kayıt edilebilmesi ve yüksek ivmeli baş itme hareketleri sırasında gözlükteki kaymaya bağlı olarak artefaktların oluşmaması için gözlüğün sıkı bir şekilde başa oturması şarttır. Gözlükteki kaymalar hem baş rotasyon hareketinin hem de gözlerdeki rotasyon hareketinin yanlış ölçülmesine yol açar (28). Gözlük yapısı ve ağırlığının da ölçüm sonuçları üzerinde son derece önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Weber ve ark., yüzücü gözlüğü kullanarak tasarlanmış ve yaklaşık ağırlığı 150 gr olan bir vHIT sisteminde silikon başlık ve ağırlık nedeniyle hareket sırasında belirgin kayma artefaktları görüldüğünü belirtmiş; kayma artefaktlarına daha az yol açan ve yaklaşık 60 gr ağırlığı bulunan başka bir gözlük tasarımı ile lateral semisirküler kanallarda search coil kayıtları ile benzer başarıda ölçümler yapılabildiğini bildirmişlerdir (28, 49). Bu çalışmada kullanılan vHIT gözlüğünün üretici firma tarafından bildirilen ağırlığı (gözlük ve kameranın toplam ağırlığı) ise 72 gr'dır. Bu ağırlık, baş bandındaki kayma hareketleri nedeniyle bazı ölçümlerde saptanan aşırı kazanç değerlerinden kısmen sorumlu olabilir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada 21 sağlıklı bireyde vHIT testi yapılmış, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Lateral semisirküler kanallar için baş itme hareketleri arasında geçen sürenin anlık (40 msn, 60 msn ve 80 msn) ve ortalama kazançlar ile kazanç asimetrisi değerleri üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı etkisi olmadığı görülmüştür ($p>0.05$).
2. Lateral semisirküler kanallar için 80 msn anlık kazancı ve ortalama kazanç değerleri, VOR cevaplarının değerlendirmesinde kullanılabilir.
3. Sol anterior semisirküler kanal ve sağ posterior semisirküler kanal için, ortalama kazançlar açısından 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0.05$).
4. Sağ anterior semisirküler kanal ortalama kazançları açısından, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında fark olmadığı ($p=0,569$); 2 sn ve 5 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında ($p=0.041$) ve 2 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında ($p<0.001$) ise istatistiksel açıdan anlamlı fark olduğu saptanmıştır.
5. 2, 5 ve 10 sn aralıklarla yapılan baş itme hareketlerine cevaben ortaya çıkan sol posterior semisirküler kanal ortalama kazançları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olduğu görülmüş ($p=0.034$); ancak, farklılığın nereden kaynaklandığına dair yapılan post-hoc analizde, ikili gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı saptanmıştır (2 sn - 5 sn için $p=1.000$, 2 sn - 10 sn için $p=0.135$, ve 5 sn - 10 sn için $p=0.050$).
6. Tüm vertikal kanallar için kazanç asimetrisi değerleri açısından 2 sn, 5 sn ve 10 sn aralıklarla yapılan ölçümler arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0.05$).

7. vHIT ölçümlerindeki ardışık baş hareketleri arasında geçmesi gereken sürenin lateral semisirküler kanal ölçümleri üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Klinik pratikte, en az 2 saniye aralıklarla baş itme hareketleri tekrarlanarak hızlı ölçümler yapılabilir; hasta ve uygulayıcı açısından zaman kaybı önlenabilir, test konforu artırılabilir.
8. Vertikal kanal ölçümleri, tekrarlanan baş hareketleri arasında geçen süreden etkileniyor olabilir. Bununla birlikte, ölçümler test tekniğinden kaynaklanan hatalara açıktır. Vertikal kanallar vHIT ölçümleri lateral kanal ölçümlerine göre pratik açıdan daha zordur; ölçümler, test tekniğinden ve özellikle uzun saçlı bireylerde gözlük kayma artefaktlarından daha kolay etkilenmektedir. Bu nedenle, vertikal kanallara ait sayısal değerler klinik pratikte kullanılırken dikkatli olunmalıdır.
9. vHIT, noninvaziv ve erişkinlerde göreceli olarak hızlı uygulanabilen bir testtir. Çalışmadan elde edilen değerler, erişkin hastalar için kliniğimizin normatif değerleri olarak kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Baloh RW, Honrubia V. Vestibular physiology. In: Cummings CWea, editor. Otolaryngology Head and Neck Surgery. 3rd edition ed. St Louis, A.B.D.: Mosby Years Book; 1998. p. 2584-622.
2. Hızal E. Vestibüler sistemin anatomi ve fizyolojisi. In: Belgin E, editor. Temel Odyoloji. Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri; 2015. p. 57-69.
3. Gacek RR. Anatomy of the central vestibular system. In: Jackler RK, Brackmann DE, editors. Neurotology. Philadelphia, USA: Elsevier Mosby; 2005. p. 75-90.
4. Schwarz DWF, Tomlinson RD. Physiology of the vestibular system. In: Jackler RK, Brackmann DE, editors. Neurotology. Philadelphia, USA: Elsevier Mosby; 2005. p. 91-121.
5. Barin K. Clinical neurophysiology of the vestibular system. In: Katz J, editor. Handbook of Clinical Audiology. Philadelphia, USA: Lippincott Williams&Wilkins; 2009. p. 431-67.
6. Fife TD. Overview of anatomy and physiology of the vestibular system. In: Eggers SDZ, Zee DS, editors. Vertigo and imbalance: Clinical neurophysiology of the vestibular system. Handbook of clinical neurophysiology. 9. Amsterdam: Elsevier; 2010. p. 5-17.
7. Guyton AC, Hall JE. Cortical and brain stem control of motor function In: Guyton AC, Hall JE, editors. Textbook of Medical Physiology. Eleventh ed. Philadelphia, USA: Elsevier Saunders; 2006. p. 685-97.
8. Akyıldız AN. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi. 1. Baskı ed. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi; 1998. p. 103-16.
9. Lee KJ. Anatomy of the ear. In: Lee KJ, editor. Otolaryngology Head and Neck Surgery. 8th edition ed. New York, A.B.D.: McGraw Hill; 1989.
10. Erbek HS. Sağlıklı erişkin bireylerde oküler vestibüler uyarılmış miyojenik potansiyel (oVEMP) normal değerleri. Ankara: Baskent Üniversitesi; 2012.
11. Pansky B. The vestibulocochlear system: Histogenesis of the internal ear 2015 [26.01.2015]. Available from: <http://discovery.lifemapsc.com/library/review-of-medical-embryology/chapter-173-the-vestibulocochlear-system-histogenesis-of-the-internal-ear>.
12. Toth M, Csillag A. The organ of hearing and equilibrium. In: Csillag A, editor. Atlas of the sensory organs Functional and clinical anatomy. Totowa, New Jersey: Humana Press; 2005. p. 1-85.

13. Van De Graaff KM. Senses of hearing and balance. In: Van De Graaff KM, editor. *Human Anatomy*. Sixth ed. USA: The McGraw-Hill Companies; 2001. p. 516-30.
14. Assad JA, Shepherd GM, Corey DP. Tip-link integrity and mechanical transduction in vertebrate hair cells. *Neuron*. 1991;7(6):985-94.
15. Mazzoni A. The vascular anatomy of the vestibular labyrinth in man. *Acta otolaryngologica Supplementum*. 1990;472:1-83.
16. Kim JS, Lee H. Inner Ear Dysfunction Due to Vertebrobasilar Ischemic Stroke *Semin Neurol*. 2009;29(5):534-540.: Medscape; [cited 2015 26.01.2015]. Available from: http://www.medscape.com/viewarticle/714338_2.
17. Piker EG, Garrison DB. Clinical neurophysiology of the vestibular system. In: Katz J, editor. *Handbook of Clinical Audiology*. 7th edition ed. Philadelphia, USA: Wolters Kluwer; 2015. p. 381-97.
18. Halmagyi GM, Curthoys IS. A clinical sign of canal paresis. *Archives of neurology*. 1988;45(7):737-9.
19. Aw ST, Halmagyi GM, Haslwanter T, Curthoys IS, Yavor RA, Todd MJ. Three-dimensional 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*. 1996;76(6):4021-30.
20. Hale T, Trahan H, Parent-Buck T. Evaluation of the patient with dizziness and balance disorders. In: Katz J, editor. *Handbook of Clinical Audiology*. 7th edition ed. Philadelphia, USA: Wolters Kluwer; 2015. p. 398-424.
21. Hızal E. Vestibüler sistem bozuklukları: Değerlendirme, tanı ve rehabilitasyon yaklaşımları. In: Belgin E, editor. *Temel Odyoloji*. Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri; 2015. p. 443-67.
22. MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS. The video head impulse test: diagnostic accuracy in peripheral vestibulopathy. *Neurology*. 2009;73(14):1134-41.
23. Interacoustics. Instructions for use. vHIT EyeSeeCam. 03/2014:1-41.
24. Newman-Toker DE, Kattah JC, Alvernia JE, Wang DZ. Normal head impulse test differentiates acute cerebellar strokes from vestibular neuritis. *Neurology*. 2008;70(24 Pt 2):2378-85.
25. Halmagyi GM, Curthoys IS, Cremer PD, Henderson CJ, Todd MJ, Staples MJ, et al. The human horizontal vestibulo-ocular reflex in response to high-acceleration stimulation before and after unilateral vestibular neurectomy. *Experimental brain research*. 1990;81(3):479-90.

26. Black RA, Halmagyi GM, Thurtell MJ, Todd MJ, Curthoys IS. The active head-impulse test in unilateral peripheral vestibulopathy. *Archives of neurology*. 2005;62(2):290-3.
27. Weber KP, Aw ST, Todd MJ, McGarvie LA, Curthoys IS, Halmagyi GM. Head impulse test in unilateral vestibular loss: vestibulo-ocular reflex and catch-up saccades. *Neurology*. 2008;70(6):454-63.
28. Weber KP, MacDougall HG, Halmagyi GM, Curthoys IS. Impulsive testing of semicircular-canal function using video-oculography. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2009;1164:486-91.
29. Perez-Fernandez N, Gallegos-Constantino V, Barona-Lleo L, Manrique-Huarte R. Clinical and video-assisted examination of the vestibulo-ocular reflex: a comparative study. *Acta otorrinolaringologica espanola*. 2012;63(6):429-35.
30. Ramaoli C, Colagiorgio P, Saglam M, Heuser F, Schneider E, Ramat S, et al. The effect of vestibulo-ocular reflex deficits and covert saccades on dynamic vision in opioid-induced vestibular dysfunction. *PloS one*. 2014;9(10):e110322.
31. Weber KP, Aw ST, Todd MJ, McGarvie LA, Curthoys IS, Halmagyi GM. Horizontal head impulse test detects gentamicin vestibulotoxicity. *Neurology*. 2009;72(16):1417-24.
32. Mossman B, Mossman S, Purdie G, Schneider E. Normal horizontal VOR gain with video-oculography (EyeSeeCam VOG). Poster presentation. 27th Barany Society Meeting; Uppsala, Sweden 2012.
33. Hirvonen M, Aalto H, Migliaccio AA, Hirvonen TP. Motorized head impulse rotator for horizontal vestibulo-ocular reflex: Normal responses. *Archives of otolaryngology--head & neck surgery*. 2007;133(2):157-61.
34. Hirvonen M, Aalto H, Petteri Hirvonen T. Motorized head impulse rotator in patients with vestibular schwannoma. *Acta oto-laryngologica*. 2008;128(11):1215-20.
35. MacDougall HG, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS, Weber KP. Application of the video head impulse test to detect vertical semicircular canal dysfunction. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2013;34(6):974-9.
36. Macdougall HG, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS, Weber KP. The video Head Impulse Test (vHIT) detects vertical semicircular canal dysfunction. *PloS one*. 2013;8(4):e61488.
37. Agrawal Y, Schubert MC, Migliaccio AA, Zee DS, Schneider E, Lehen N, et al. Evaluation of quantitative head impulse testing using search coils versus video-oculography in older individuals. *Otology & neurotology : official*

- publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2014;35(2):283-8.
38. Bartl K, Lehnen N, Kohlbecher S, Schneider E. Head impulse testing using video-oculography. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2009;1164:331-3.
 39. Leveque M, Seidermann L, Tran H, Langagne T, Ulmer E, Chays A. Vestibular function outcomes after vestibular neurectomy in Meniere disease: can vestibular neurectomy provide complete vestibular deafferentation? *Auris, nasus, larynx*. 2010;37(3):308-13.
 40. Kremmyda O, Kirchner H, Glasauer S, Brandt T, Jahn K, Strupp M. False-positive head-impulse test in cerebellar ataxia. *Frontiers in neurology*. 2012;3:162.
 41. Bartolomeo M, Biboulet R, Pierre G, Mondain M, Uziel A, Venail F. Value of the video head impulse test in assessing vestibular deficits following vestibular neuritis. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies*. 2014;271(4):681-8.
 42. Perez N, Rama-Lopez J. Head-impulse and caloric tests in patients with dizziness. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2003;24(6):913-7.
 43. Schubert MC, Tusa RJ, Grine LE, Herdman SJ. Optimizing the sensitivity of the head thrust test for identifying vestibular hypofunction. *Physical therapy*. 2004;84(2):151-8.
 44. Mahringer A, Rambold HA. Caloric test and video-head-impulse: a study of vertigo/dizziness patients in a community hospital. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies*. 2014;271(3):463-72.
 45. Blodow A, Pannasch S, Walther LE. Detection of isolated covert saccades with the video head impulse test in peripheral vestibular disorders. *Auris, nasus, larynx*. 2013;40(4):348-51.
 46. Walther LE, Huelse R, Blattner K, Bloching MB, Blodow A. Dynamic Change of VOR and Otolith Function in Intratympanic Gentamicin Treatment for Meniere's Disease: Case Report and Review of the Literature. *Case reports in otolaryngology*. 2013;2013:168391.
 47. Walther LE, Blodow A. Ocular vestibular evoked myogenic potential to air conducted sound stimulation and video head impulse test in acute vestibular neuritis. *Otology & neurotology : official publication of the American*

Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2013;34(6):1084-9.

48. Della Santina CC, Cremer PD, Carey JP, Minor LB. Comparison of head thrust test with head autorotation test reveals that the vestibulo-ocular reflex is enhanced during voluntary head movements. Archives of otolaryngology--head & neck surgery. 2002;128(9):1044-54.
49. MacDougall HG, Moore ST. Functional assessment of head-eye coordination during vehicle operation. Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry. 2005;82(8):706-15.